НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е.О. ПАТОНА

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
THE E.O. PATON ELECTRIC WELDING INSTITUTE

Международная конференция

International Conference

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES. PRESENT AND FUTURE

Программа и сборник тезисов
стендовых докладов конференции

Program and Abstracts
of Poster Papers for the Conference

25–26 ноября 2013 г., Киев, Украина

25–26 November, 2013, Kiev, Ukraine

Киев 2013 Kiev

Сварка и родственные технологии — настоящее и будущее: Тез. стенд. докл. / Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. — Киев, 2013. — 222 с.

Представлены тезисы стендовых докладов международной конференции, в которых отражены научные достижения в области сварки и родственных технологий за последние годы.

Редактор *Т.В. Юштина*

Электронная верстка *Т.Ю. Снегирева*

Перевод *Т.К. Василенко, Е.С. Курочко, И.Н. Кутьянова, А.А. Фомин, С.А. Фомина*

Свидетельство серия ДК, № 166 от 6 сентября 2000 г.

© Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, 2013

Подписано в печать 07.10.2013. Формат 60×84/8. Бум. офс. Офс. печ. Гарн. Укр. петер. Усл. печ. л. 21,00. Усл. кр.-отт. 23,00. Уч.-изд. л. 34,00. Тираж 450 экз.
Отпечатано в типографии ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ 23

ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 57

Башенко В.В., Охапкин К.А. Влияние основных конструктивно-технологических параметров режима точечной сварки трением на протекание объемного взаимодействия 59

Белоус В.Ю., Ахонин С.В., Селин Р.В., Антонюк С.Л. Сварка высокопрочного титанового сплава Т110 59

Бондарев С.В. Дослідження гідрофобно-гідрофільних властивостей компонентів електродних покриттів 60

Брумм С., Буэркнер Г., Куш М. Дуговая сварка нелегированных сталей плавящимся электродом в среде защитного газа с использованием электродных проволок большого диаметра 61

Владимиров А.В., Хабузов В.А., Максимов С.Ю., Лебедев В.А. Цифровой синтез импульсно-дуговой сварки 61

Гавриш П.А., Тулупов В.И. Совершенствование методов предварительного подогрева сварки меди со сталью 63

Гайворонский А.А., Демченко Ю.В., Панфилов А.И. Технологии восстановления сваркой поврежденных элементов металлоконструкций горно-обогатительного оборудования 63

Головко В.В., Походня І.К. Вплив морфології неметалевих включень на формування мікроструктури металу зварних швів низьколегованих високоміцних сталей 64

Гончаров И.А. Создание сварочных флюсов с прогнозируемыми технологическими и металлургическими свойствами на основе структурных и физико-химических исследований 65

Гончаров С.Н., Шалимов М.П. Выбор методик определения свариваемости высокопрочных сталей 65

Григорьева Е.Г., Чинахов Д.А. Возможность использования сварки с двухструйной газовой защитой для восстановления изношенных поверхностей деталей 66

Гринберг Б.А., Иванов М.А., Рыбин В.В., Пацелов А.М., Бесшапошников Ю.П. Сварка взрывом: процессы и структуры 67

Гринь А.Г., Бойко И.А. Методика определения состава порошковой проволоки 67

Гринь А.Г., Золотопупова Т.Б. Дуговая сварка алитированной стали в защитных газах 68

Демьянченко А.А. Управление структурой зон сварных соединений легированных сталей методами адаптивных импульсных технологий сварки 69

Елагин В.П., Гордань Г.Н. К механизму снижения химической и структурной неоднородности в зоне сплавления аустенитного шва с углеродистой сталью 70

Зайнулин Д.И., Лебедев В.А., Максимов С.В., Пичак В.Г. Уникальный комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях 70

Захаров Л.С., Гаврик А.Р. Разработка технологии сварки разнородных соединений мартенситной стали 10Х9НМФБ с аустенитными хромоникелевыми сталями типа 08Х18Н10Т 71

Илюшенко В.М., Аношин В.А., Бондаренко А.Н., Майданчук Т.Б., Скорина Н.В. Разработка электродных материалов для сварки и наплавки сложнолегированных бронз 72

Илюшенко В.М., Ганчук А.В., Лысенко В.А., Петриченко В.Н., Степченко Д.Н. Высокоэффективная технология дуговой сварки толстого металла 73

Кабыш С.В., Есауленко Г.Б., Менжерес М.Г. Особенности формирования надмолекулярной структуры в зоне соединения при ультразвуковой и тепловой сварке листов из кристаллических полимеров 74

Кассов В.Д., Кущий А.М. Усовершенствование технологии подготовки поверхности металлоконструкций сложной объемно-поверхностной формы под ремонтную сварку 75

Квасницкий В.В., Костин А.М., Лабарткава А.В., Лабарткава Ал.В. Особенности пайки металлокерамических гермовводов 75

Квасницкий В.В., Маркашова Л.И., Квасницкий В.Ф., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Углов В.В., Черенда Н.Н., Левченко И.Л. Диффузионная сварка металлов с применением радиационно-пучковых технологий 76

Квасницкий В.В., Маркашова Л.И., Квасницкий В.Ф., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Углов В.В., Черенда Н.Н., Левченко И.Л. Пайка металлов с применением радиационно-пучковых технологий 77

Коротынский А.Е. Исследование процессов саморегулирования при резонансной дуговой сварке 77

Коротынский А.Е., Вертецкая И.В., Шапка В.А. Использование дифференциального тейлоровского преобразования в задачах исследования процессов в нелинейном колебательном контуре 78

Коротынский А.Е., Драченко Н.П., Шапка В.А. Особенности зарядно-разрядных процессов в суперконденсаторах 78

Кулик В.М., Демченко Э.Л., Васильев Д.В., Елагин В.П. Новые электродные материалы для сварки и наплавки высокопрочных и разнородных сталей 79

Лабур Т.М. Повышение прочности и вязкости сварных соединений алюминиевых сплавов 80

Лебедев В.А., Гедрович А.И., Бородина К.В. Электродуговая сварка плавлением металла малой толщины 80

Лебедев В.А., Гедрович А.И., Сысоев В.Н. Формирование швов при импульсно-дуговой сварке балок в защитных газах 81

Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Лендел И.В. Математическая модель тепловых полей и оптимальных параметров наплавленного валика при управляемых механических воздействиях 82

Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Ярос Ю.А. Источник для дуговой механизированной сварки плавящимся электродом удаленных объектов 82

Лебедев В.А., Плющ Д.В. Технологическая надежность механизированного сварочного оборудования 83

Лебедев В.А., Сорокин М.С., Белов А.А. Совершенствование принципов управления переносом электродного металла при дуговой сварке с короткими замыканиями 84

Лобанов Л.М., Тимошенко О.М., Гончаров П.В. Технологія та устаткування для дугового точкового зварювання в вертикальному положенні 85

Матвиенко М.В., Ермолаев Г.В., Квасницкий В.В. Влияние проскальзывания соединяемых поверхностей разнородных материалов на напряженно-деформированное состояние при диффузионной сварке в вакууме с термоциклированием 86

Мейр П., Куш М., Эберт Л., Подлесак Ф. Влияние сварки плазменной дугой прямого действия с импульсной подачей технологического газа на металлургию сварки сплавов на основе кобальта для твердой наплавки 87

Моравецкий С.И., Царюк А.К., Скульский В.Ю. Аттестация технологии сварки комбинированных роторов из сталей 25Х2НМФА + 20Х3МВФА (ЭИ 415) для паровых турбин 87

Нестеренко Н.П., Гальчун А.Н., Кондратенко В.Ю., Скок А.Г. Об эффективности использования установки с пневмоприводом для сварки встык труб диаметром до 400 мм из кристалло-аморфных полимеров 88

Нестеренко Н.П., Дьяченко С.М., Сенченков И.К. Технология и оборудование для ультразвуковой сварки термостойких композиционных материалов, применяемых в авто- и авиастроении 89

Нестеренко Н.П., Кораб Н.Г., Гальчун А.Н. Экспериментально-теоретическое исследование лазерной сварки тонких полиэтиленовых пленок 89

Нестеренко Н.П., Минеев Э.А. Особенности сварки труб из непластифицированного поливинилхлорида 90

Патон Б.Е., Сараев Ю.Н., Лебедев В.А. Перспективы разработки и практического применения импульсных технологий сварки и наплавки для повышения эксплуатационной надежности металлоконструкций ответственного назначения 91

Патон Б.Е., Ющенко К.А., Лычко И.И., Супрун С.А., Козулин С.М., Клименко А.А. Исследование процессов образования металла сварного соединения при электрошлаковой сварке проволочными электродами 92

Пентегов И.В., Сидорец В.Н., Рымар С.В., Жерносеков А.М. Влияние современных источников питания сварочной дуги на электрическую сеть 93

Письменный А.С., Письменный А.А., Прокофьев А.С., Губатюк Р.С. Исследование и разработка экспериментальной технологии и оборудования для термической обработки сварных швов железнодорожных рельсов 93

Письменный А.С., Полухин В.В., Полухин Вл.В., Губатюк Р.С. Экспериментальные технологии и оборудование для шовной сварки и сваркопайки токами высокой частоты тонкостенных труб из высокопрочных сталей 94

Порохонько В.Б., Протоковилов И.В., Назарчук А.Т., Петров Д.А., Бабич Л.М. Электрошлаковая сварка титановых сплавов с импульсным электромагнитным воздействием 95

Похмурская Г., Вьелаж Б., Лампке Т., Рупрехт К. Обзор тендеций исследования процессов термического напыления 95

Походня И.К., Игнатенко А.В., Пальцевич А.П., Синюк В.С. Индуцированные водородом холодные трещины в сварных соединениях ВПНЛ сталей 96

Псахье С.Г., Ющенко К.А., Сараев Ю.Н., Каховский Ю.Н., Безбородов В.П. Разработка научных основ создания мультимодальных сварочных материалов и импульсных технологий получения неразъемных соединений и наплавленных покрытий с многомасштабной структурой для изделий, работающих в условиях Крайнего Севера и Арктики 97

Размышляев А.Д., Миронова М.В., Ярмонов С.В., Выдмыш П.А. Повышение эффективности процессов дуговой сварки и наплавки при воздействии управляющих магнитных полей 97

Резніченко М.К., Калін М.А., Ізотова К.О. Нові способи холодного зварювання чавуну маловуглецевими матеріалами 98

Семёнов А.П., Кривцун И.В., Демченко В.Ф. Моделирование процессов плавления и переноса электродного металла при сварке плавящимся электродом 99

Синеок А.Г., Герасименко А.М., Рябоконь В.Д., Рябцев К.В., Бричак В.В., Товстый С.Н. Современные технологии сварки при укрупнении и монтаже металлоконструкций арки Подольского мостового перехода в Киеве 99

Синеок А.Г., Герасименко А.М., Рябоконь В.Д., Рябцев К.В., Гоцуляк А.А. Разработка технологий сварки атмосферостойкого проката классов прочности С355–500 МПа 100

Скуба Т.Г., Коляда В.А., Долиненко В.В., Шаповалов Е.В. Разработка имитационной модели роботизированной многопроходной МИГ/МАГ сварки для экспериментальных исследований влияния схем и режимов сварки швов на напряженно-деформированные состояния 101

Терновой Е.Г., Шулым В.Ф., Ланкин Ю.Н. Ремонт фрагментов корпуса международной космической станции с применением электронно-лучевой сварки 101

Устинов А.И., Мельниченко Т.В., Фальченко Ю.В., Петрушинец Л.В. Электронно-лучевые методы получения наноструктурированных фольг и их применение при сварке трудносвариваемых материалов 102

Устинов А.И., Теличко В.А., Демченков С.А., Брукмюллер С., Хансис А. Электронно-лучевая технология получения и свойства квазикристаллических покрытий функционального назначения 103

Харченко Г.К., Руденко М.Н., Новомлинець О.О., Хоменко М.О. Виникнення електричного потенціалу на поверхні металевих зразків при високотемпературному синтезі, що самопоширюється, в наношаруватих фольгах 103

Хорунов В.Ф., Максимова С.В. Вакуумная пайка многослойных тонкостенных конструкций 104

Хорунов В.Ф., Максимова С.В., Мясоед В.В., Воронов В.В. Формирование паяных соединений сплавов на основе Ni_3Al 105

Царюк А.К., Иваненко В.Д., Дунаевская Н.И. Ремонтная технология для продления сроков эксплуатации котлоагрегатов действующих энергоблоков ТЭС 106

Царюк А.К., Касаткин О.Г., Скульский В.Ю., Моравецкий С.И., Гаврик А.Р. Технология односторонней сварки плакированных трубопроводов первого контура энергоблоков АЭС 106

Чинахов Д.А. Исследование влияния струи защитного газа на распределение тепла в зоне сварки плавящимся электродом 107

Чинахов Д.А., Зуев А.В. Сварка плавящимся электродом в двухструйной газовой защите 108

Шапка В.А. Выбор структуры задающего генератора для работы исполняющего инструмента ВМП 108

Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Лукашенко А.Г. Лазерная сварка сильфонных компенсаторов 109

Шолохов М.А., Фивейский А.М., Бузорина Д.С. Изучение влияния технологических параметров на формирование пристеночного валика при многопроходной сварке в защитных газах 110

Шолохов М.А., Фивейский А.М., Мельников А.Ю. Двухдуговая сварка и ее практическая реализация 110

Ющенко К.А., Гах И.С., Задерий Б.А., Звягинцева А.В., Карасевская О.П. Металлургические и технологические вопросы сварки и ремонта монокристаллических лопаток из жаропрочных никелевых сплавов 111

Ющенко К.А., Кушнарева Т.Н., Мазурак В.Е. Результаты исследований получения соединений жаропрочных никелевых сплавов реакционно-диффузионным способом 111

Турык Е., Чворног Б., Зыдзик-Бялек А. Сварочные работы при ремонте элементов надписи «Arbeit macht frei» входных ворот бывшего концентрационного и экзекуционного лагеря Аушвиц I 112

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ 113

Балицький О.І., Новацький Є., Костюк І.Ф., Вус О.Б., Сколоздра О.С. Роботоздатність високоазотних сталей та їх зварних з'єднань за тривалої експлуатації у водні 115

Бойко И.А., Гринь А.Г., Лысак В.К. Методика определения горячей твердости металла 115

Гальцов И.А., Каленская А.В., Ткаченко С.А., Ткаченко А.Н. Регулирование остаточных сварочных напряжений при сварке плакированной стали 09Г2С + 08Х18Н10Т 116

Гачкевич О.Р., Асташкин В.И., Козакевич Т.В., Равська-Скотничні А. Фазовый состав и остаточные напряжения в тонких стальных пластинах при нагреве подвижными источниками тепла 117

Денисов Л.С. Исследование формирования дефектности сварных соединений 117

Дзюбик А., Палаш В. Залишкова міцність магістральних трубопроводів із високоміцних сталей 118

Дмитрик В.В., Барташ С.Н. К механизму старения сварных соединений паропроводов 119

Дмитрик В.В., Сыренко Т.А. Механизм деградации металла сварных соединений паропроводов 119

Дуб А.В., Дурынин В.А., Разыграев А.Н., Разыграев Н.П., Лобанов Л.М., Махненко О.В. Ультразвуковой контроль, повреждаемость и работоспособность узлов приварки коллектора к парогенератору на АЭС с ВВЭР-1000 120

Занковец П.В., Шелег В.К. Влияние доминирующих факторов на формирование сварных соединений в условиях единичного и мелкосерийного сварочного производства 121

Квасницкий В.В., Колесар И.А., Квасницкий В.Ф., Ермолаев Г.В., Лабарткава А.В. Исследование влияния жесткости и прочности промежуточной прослойки на напряженно-деформированное состояние при нагружении осевой нагрузкой сварных и паяных узлов 122

Клейман Я., Кудрявцев Ю. Применение ультразвуковой проковки в промышленности 122

Клочков И.Н., Березин И.В., Березин О.В. Повышение долговечности сварных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов высокочастотным механическим проковыванием 123

Кныш В.В., Соловей С.А., Кузьменко А.З. Повышение циклической долговечности сварных соединений эксплуатируемых металлоконструкций высокочастотной механической проковкой 124

Коломийцев Е.В. Повышение стойкости сменного оборудования и сварных конструкций мартеновского цеха 124

Коломийцев Е.В. Усталостная и коррозионно-усталостная прочность и долговечность сварных соединений стали 12Х18Н10Т 125

Коломийцев Е.В., Серенко А.Н. Повышение долговечности и усталостной прочности сварных конструкций поверхностной пластической обработкой 125

Колот О.В., Ткаченко С.О., Ткаченко О.М. Віброобробка як резерв підвищення якості металоконструкцій 126

Кузьменко Д.Ю., Просницкий В.Г., Махненко О.В., Демченко Ю.В. Цельносварные колеса агломерационных нагнетателей Н7500, Н6500 127

Кушнір Р.М., Дробенко Б.Д. Оцінка напруженого стану та експлуатаційного ресурсу елементів енергоблоків потужністю 200 МВт 127

Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Савицкий В.В., Ткачук Г.И., Лысак В.В. Определение остаточных напряжений в сварных тавровых соединениях из титанового сплава ВТ-20 с применением метода электронной спекл-интерферометрии 128

Маркашова Л.И., Кушнарева О.С. Исследование взаимосвязи структуры с механическими свойствами сварных соединений алюминиево-литиевого сплава 128

Маркашова Л.И., Позняков В.Д., Бердникова Е.Н., Алексеенко Т.А., Максименко А.А. Сварные соединения высокопрочных сталей в эксплуатационных условиях 129

Маркашова Л.И., Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Кушнарева О.С., Бернацкий А.В. Структура и механические свойства поверхностных слоев конструкционной стали, формирующихся в условиях лазерного и лазерно-плазменного легирования 130

Махненко В.И., *Великоиваненко Е.А., Розынка Г.Ф., Пивторак Н.И.* Математические модели вязкого разрушения сварных конструкций на основе механизма порообразования 131

Махненко О.В., Мирзов И.В. Исследование напряженно-деформированного состояния внутрикорпусных устройств на примере выгородки реактора ВВЭР-1000 ... 131

*Медведев С.В., Климов К.А.*Прогнозное суперкомпьютерное моделирование процессов разрушения ответственных сварных конструкций 132

Медведев С.В., Чиж О.П. Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций с использованием суперкомпьютерных ресурсов Национальной грид-сети 132

Миленин А.С. Методологические основы планирования ремонта магистральных трубопроводов без вывода из эксплуатации 133

Мутас В.В., Нетребский М.А., Рабкина М.Д. Методы оценки напряженно-деформированного состояния цилиндрических конструкций, работающих под внутренним давлением, с локальными поверхностными дефектами 134

Назарчук З.Т., Скальський В.Р. Методологічні основи ідентифікування механізмів руйнування зварних з'єднань алюмінієвих сплавів за параметрами акустичної емісії 134

Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Станкевич О.М., Лясота І.М. Ідентифікування механізмів руйнування зварних з'єднань сплаву 1201-Т за параметрами сигналів акустичної емісії 135

Нехотящий В.А., Палиенко А.Л., Перепичай А.А., Рабкина М.Д. Прогнозирование безопасной эксплуатации сосудов давления с учетом магнитной неоднородности металла 136

Никифорчин Г.М., Цирульник О.Т., Звірко О.І., Греділь М.І., Волошин В.А. Особливості корозійно-водневої деградації властивостей зварних з'єднань магістральних газопроводів 136

Пантелеенко Ф.И., Снарский А.С. Старение сварных ответственных конструкций и поиск метода неразрушающей оценки сопротивления металла ударному воздействию 137

Панфилов А.И. Применение биметаллических листов SWIP для защиты технологического оборудования 138

Підгурський М.І., Татарин Б.П., Підгурський І.М. Моделювання зародження та розповсюдження втомних поверхневих тріщин в зварних з'єднаннях 139

Позняков В.Д., Жданов С.Л., Максименко А.А. Новые конструкционные стали для сварных строительных металлоконструкций 140

Радченко М.В., Мандров Б.И. Повышение ресурса емкостей за счет применения сварных оболочек из полимерных материалов 140

Роянов В.А., Коросташевский П.В. Исследование формулы прогиба лобовой кромки листовых полотнищ с учетом эмпирического коэффициента длины вылета и толщины листов 141

Свиридов А.В., Гринь А.Г. Исследования механических свойств сварных соединений на медной основе 142

Хома М.С. Корозійно-механічне руйнування трубних сталей із зварними з'єднаннями в сірководневих середовищах 142

Ющенко К.А., Кушнарева Т.Н., Мазурак В.Е. Результаты исследований получения соединений жаропрочных никелевых сплавов реакционно-диффузионным способом 143

Ющенко К.А., Савченко В.С., Звягинцева А.В., Червяков Н.О., Ткач В.Н. Оценка кристаллографической анизотропии упругих свойств металла швов никелевых сплавов с использованием наноиндентирования 144

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА 145

Давыдов Е.А., Шекеро А.Л., Юхимец П.С., Миховски М., Алексиев А., Мирчев Й. Применение современной технологии ультразвукового контроля LRUT для обнаружения коррозионных поражений металла магистральных трубопроводов 147

Карманов М.Н., Шалаев В.А. Модульные системы цифрового радиационного контроля 147

Лобанов Л.М., Півторак В.А., Киянець І.В., Савицький В.В., Савицька О.М. Неруйнівне визначення діаметрів ядер зварних точкових з'єднань методом електронної ширографії з використанням механічного та термічного навантаження 148

Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Нехотящий В.А., Кротенко П.Д., Шиян К.В. Прогнозирование разрушающего давления труб с коррозионными дефектами с применением лазерной интерферометрии 149

Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Савицкая Е.М., Киянец И.В. Контроль качества сварных титановых панелей из сплава ВТ-20 с применением метода электронной ширографии 149

Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А., Харченко Л.Ф. Акустико-эмиссионное диагностирование оборудования предприятий энергетического комплекса 150

Посыпайко Ю.Н. Разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области контроля герметичности сварных соединений 150

Сорокин М.С., Белов А.А., Лебедев В.А. Система автоматизации и контроля сварочного производства 151

Троицкий В.А., Белый Н.Г., Буховский В.Н., Михайлов С.Р. Высокочувствительная цифровая рентгенотелевизионная система на основе рентгеновских экранов и ПЗС-камер 152

Троицкий В.А., Карманов М.Н., Горбик В.М. Диагностические ультразвуковые комплексы «Универсал-1П», «Универсал-2П» 153

Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н. Комплексный неразрушающий контроль сварных резервуаров большого объема 153

Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н., Агалиди Ю.С., Левый С.В. Магнитооптическая дефектоскопия приповерхностных слоев ферромагнитных изделий 154

Учанін В.М. Вихрострумовий контроль зварних з'єднань 155

Шаповалов Е.В., Коляда В.А. Разработка современной диагностической аппаратуры для мобильных и съемных средств автоматизированного контроля геометрических параметров железнодорожного пути 155

Шаповалов Е.В., Галаган Р.М., Клищар Ф.С., Запара В.И. Опыт разработки акустико-эмиссионной системы контроля контактной точечной сварки 156

Щупак С.А., Троицкая Н.В., Посыпайко Ю.Н., Шекеро А.Л. Новые стандарты в области неразрушающего контроля сварных соединений 157

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ 159

Безбородов В.П. Основные закономерности формирования структуры и свойства переходной зоны композиций с покрытиями после высокотемпературного воздействия 161

Бережная Е.В. Совершенствование технологии электроконтактной наплавки 161

Борисов Ю.С., Астахов Е.А., Ипатова З.Г., Янцевич К.В., Кильдий А.И. Повышение коррозионной стойкости детонационного покрытия из КП Fe–Cr–SiC, полученного МХС 162

Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н., Кузьмич-Янчук Е.К. Микроплазменное напыление биосовместимых титановых покрытий 163

Борисов Ю.С., Демьянов И.А., Вигилянская Н.В. Электродуговое напыление покрытий с псевдосплавной структурой 163

Борисов Ю.С., Кузнецов М.В., Волос А.В., Задоя В.Г., Стрельчук В.В., Кладко В.П., Горбань В.Ф. Магнетронное нанесение сверхтвердых нанокомпозитных nc-TiC/a-c покрытий 164

Борисов Ю.С., Кузнецов М.В., Волос А.В., Задоя В.Г., Стрельчук В.В., Кладко В.П., Горбань В.Ф. Магнетронное нанесение нанокомпозитного CN_x покрытия 165

Борисов Ю.С., Мурашов А.П., Грищенко А.П. Разработка и исследование эффективности системы экранирования плазменной струи с напыляемым материалом от взаимодействия с внешней средой 165

Борисов Ю.С., Мурашов А.П., Грищенко А.П., Вигилянская Н.В. Исследование теплозащитных свойств градиентных покрытий 166

Борисов Ю.С., Рупчев В.Л., Бурлаченко А.Н., Борисова А.Л., Адеева Л.И., Туник А.Ю. Композиционные порошки для ГТН Fe-Cr-SiC, полученные методом МХС. Структура и свойства 166

Борисова А. Л., Бурлаченко А.Н., Грищенко А.П., Ипатова З.Г., Цымбалистая Т.В., Янцевич К.В. Теплозащитные и коррозионные свойства плазменных покрытий из сложнолегированного сплава на основе AlCuFe, содержащего квазикристаллическую фазу 167

Быковский О.Г., Лаптева А.Н. Тепловое состояние и фракционный состав частиц при плазменном напылении токоведущей проволокой 167

Войнарович С.Г., Кузьмич-Янчук Е.К., Кислица А.Н., Калюжный С.Н., Масючок О.П., Глуховский В.Ю. Микроплазменные резистивные покрытия, полученные из порошка диоксида титана для использования в электронагревателях ... 168

Волков Д.А., Кошевой А.Д. Влияние шероховатости поверхности детали на прочность сцепления при электроконтактной наплавке 169

Гайворонский А.А., Клапатюк А.В., Шишкевич А.С., Грицай В.Я. Технология восстановления наплавкой бандажей колес скоростного пассажирского транспорта 169

Драган С.В., Голобородько Ж.Г., Симутенков И.В. Автоматическая наплавка под флюсом с поперечными высокочастотными колебаниями электрода 170

Дубовий О.М., Карпеченко А.А., Бобров М.М. Вплив електричних імпульсів на структуру та твердість електродугових покриттів 171

Евдокимов А.И., Кусков Ю.М. Оценка работы водо-воздушной форсунки в условиях электрошлаковой наплавки высокоуглеродистых материалов 172

Коробов Ю.С., Филиппов М.А., Легчило В.В., Худорожкова Ю.В., Верхорубов В.С. Влияние метастабильного хромистого аустенита на свойства наплавленных и напыленных материалов 172

Коробов Ю.С., Филиппов М.А., Невежин С.В., Ример Г.А. Жаростойкие покрытия из порошковых проволок 173

Костин А.М., Бутенко А.Ю. Разработка высокотемпературного износостойкого материала для упрочнения бандажных полок рабочих лопаток ГТД 173

Кузьменко О.Г., Лентюгов И.П. Разработка материалов для износостойкой наплавки с использованием шлифовальных отходов быстрорежущей стали 174

Кузьмич-Янчук Е.К., Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н., Туник А.Ю. Реактивное лазерно-плазменное нанесение покрытий на основе титана в среде активной газовой смеси $H_2 + CH_4$ 174

Ланкин Ю.Н., Рябцев И.А., Черняк Я.П., Соловьев В.Г., Семикин В.Ф., Осечков П.П., Жданов В.А. Экспериментальные исследования электрических параметров режимов автоматической дуговой наплавки под флюсом, открытой дугой и в защитных газах 175

Макаренко Н.А. Разработка шлаковой системы порошковой плющенки для плазма-МИГ наплавки алюминиевых сплавов 176

Маркашова Л.И., Тюрин Ю.Н., Колисниченко О.В., Валевич М.Л., Богачёв Д.Г. Структурно-фазовое состояние рабочих поверхностей изделий из высокопрочного чугуна ВЧ80 после импульсно-плазменной обработки 177

Орлов Л.Н., Голякевич А.А. Восстановительная наплавка деталей металлургического оборудования порошковыми проволоками в ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» 177

Паустовский А.В., Ткаченко Ю.Г., Алфинцева Р.А., Кириленко С.Н., Юрченко Д.З. Разработка электродных материалов для электроискрового упрочнения и восстановления изношенных поверхностей 179

Перемітько В.В. Збільшення робочого ресурсу деталей ходової частини дорожніх машин 180

Переплетчиков Е.Ф. Опыт применения плазменно-порошковой наплавки в арматуро- и двигателестроении 180

Плис С.Г. Влияние режима наплавки и диаметра порошковой проволоки на характеристики ее плавления 181

Пресняков В.А. Усовершенствование способа электроконтактной наплавки порошковой проволокой и лентой 182

Прилуцкий В.П., Шваб С.Л., Радкевич И.А., Ахонин С.В., Антонюк С.Л. Восстановление свойств изношенной поверхности элементов самолетов из титанового сплава ВТ22 аргонодуговой наплавкой 182

Радченко В.Г., Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б. Разработка технологии сверхзвуковой газопорошковой наплавки для решения проблем износа деталей машин и механизмов 183

Сенченков И.К., Рябцев И.А., Червинко О.П., Рябцев И.И., Бабинец А.А. Расчетно-экспериментальный метод оценки долговечности наплавленных деталей, эксплуатирующихся в условиях циклических термических и механических нагрузок 184

Суховая Е.В. Композиционные материалы для наплавки печным способом 185

Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Гаврилюк В.Я., Сенчишин В.С., Груша В.Я. Нові технологічні процеси індукційного наплавлення тонких фасонних дисків 185

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ 187

Анахов С.В., Пыкин Ю.А., Матушкин А.В. Экологические принципы проектирования электроплазменного оборудования 189

Ахонин С.В., Березос В.А., Корнийчук В.Д., Пикулин А.Н., Северин А.Ю. Электронно-лучевые технологии получения слитков сплавов на основе титана 189

Аснис Е.А., Пискун Н.В., Статкевич И.И., Баранский П.И., Бабич В.М. Легирование азотом кристаллов кремния в процессе их выращивания методом электронно-лучевой бестигельной зонной плавки 190

Аснис Е.А., Пискун Н.В., Статкевич И.И., Баранский П.И., Бабич В.М. Электронно-лучевая бестигельная зонная плавка кремния с применением теплозащитного экрана 190

Биктагиров Ф.К., Рейда Н.В., Шаповалов В.А., Ефимов В.М., Селютин А.А., Падалка В.Г. Электрошлаковый обогрев и подпитки прибыли крупных слитков массой 200–400 т 191

Биктагиров Ф.К., Шаповалов В.А., Гнатушенко А.В., Игнатов А.П. Электрошлаковая плавка некомпактных отходов медных и алюминиевых сплавов 192

Власов А.Ф. Интенсификация электрошлаковых процессов 192

Пиптюк В.П., Крикент И.В., Самохвалов С.Е., Логозинский И.Н., Поляков В.А., Греков С.В. Оценка величины и влияния электромагнитных сил на перемешивание ванны установки ковш-печь переменного тока 193

Полишко А.А., Саенко В.Я., Степанюк С.Н., Туник А.Ю., Клочков И.Н. Трансформация неметаллических включений в процессе электрошлакового переплава и электрошлакового наплавления жидким металлом высоколегированной стали AISI типа 316 (10Х17Н14М2) 194

Протоковилов И.В., Петров Д.А., Назарчук А.Т., Бабич Л.М. Магнитоуправляемая электрошлаковая плавка никелида титана 195

Цветков Ю.В., Николаев А.В., Самохин А.В. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов 195

Шаповалов В.А., Шейко И.В., Никитенко Ю.А. Технология и оборудование для производства сплавов с аморфной и микрокристаллической структурой 196

Шаповалов В.А., Якуша В.В., Гниздыло А.Н. Супербольшие профилированные монокристаллы вольфрама и молибдена (плазменно-индукционный метод) 197

ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ В МЕДИЦИНЕ. ЭКОЛОГИЯ, АТТЕСТАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА 199

Бондаренко Ю.К., Логинова Ю.В., Артюх К.О. Проблемы повышения качества выполнения технических услуг при монтаже и диагностике в энергетике с целью обеспечения безопасности сварных конструкций (Обзор) 201

Кудлай Е.Н., Якимов Д.Ю., Шкабой Н.А. Высокочастотная электросварочная технология в гинекологическом отделении центрального клинического госпиталя СБ Украины 201

Ланкин Ю.Н., Байштрук Е.Н., Кункин Д.Д., Осечков П.П., Романова И.Ю., Семикин В.Ф., Соловьев В.Г., Суший Л.Ф. Экспериментальное исследование процесса контактной сварки биологических тканей как объекта автоматического регулирования 202

Левченко О.Г., Левчук В.К., Гончарова О.М. Методи забезпечення електромагнітної безпеки операторів машин контактного точкового зварювання 202

Левченко О.Г., Лук'яненко А.О. Нормалізація концентрації шкідливих речовин на робочих місцях ручного дугового зварювання 203

Липодаев В.Н., Зельниченко А.Т. Журнал «Автоматическая сварка» на современном этапе 204

Лурин И.А., Вильчинский А.И., Мельниченко Л.М., Якимов Д.Ю., Охонько О.В. Опыт применения и перспективы ВЧ электросварки в отоларингологии Центрального госпиталя военно-медицинского управления СБ Украины 204

Лурін І.А., Охонько О.В., Макаров Г.Г., Тітомір І.А., Гладишенко О.І. Застосування методу зварювання м'яких тканин при лапароскопічній апендектомії 205

Лурин И.А., Якимов Д.Ю., Титомир И.А., Макаров Г.Г., Охонько О.В., Гладышенко А.И. Опыт применения и перспективы развития элетросварочных технологий в хирургии 206

Мазур А.А. Экономические проблемы сварки и родственных технологий 206

Патон Б.Е., Калеко Д.М. Работы Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины по применению сплавов с эффектом памяти формы для имплантатов, протезов и хирургического инструмента 207

Проценко П.П. Система профессиональной подготовки квалифицированных сварщиков на основе компетентностного подхода 208

Фурманов Ю.А., Савицкая И.М., Гейленко О.А., Терехов Г.В. Альтернативные методы сварки живых тканей плазменно-аргоновым и термоструйным способами 208

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 211

CONTENTS

PROGRAM OF THE CONFERENCE 41

TECHNOLOGY, MATERIALS AND EQUIPMENT FOR WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES 57

Bashenko V.V., Okhapkin K.A. Effect of Main Design-Technological Parameters of Spot Friction Welding on Volumetric Interaction 59

Belous V.Yu., Akhonin S.V., Selin R.V., Antonyuk S.L. Welding of High-Strength Titanium Alloy T110 59

Bondarev S.V. Investigation of Hydrophobic-Hydrophilic Properties of Electrode Covering Components 60

Brumm S., Bürkner G., Kusch M. Welding of Unalloyed Steels With GMAW Process Using Thick Wire Electodes 61

Vladimirov A.V., Khabuzov V.A., Maksimov S.Yu., Lebedev V.A. Digital Synthesis of Pulsed Arc Welding 61

Gavrish P.A., Tulupov V.I. Improvement of Preheating Methods for Copper to Steel Welding 63

Gaivoronsky A.A., Demchenko Yu.V., Panfilov A.I. Technologies for Welding Repair of Damaged Members of Metal Structures of Ore Mining and Processing Equipment 63

Golovko V.V., Pokhodnya I.K. Effect of Morphology of Non-Metallic Inclusions on Formation of Microstructure of the Weld Metal on High-Strength Low-Alloy Steels 64

Goncharov S.N. Development of Welding Fluxes with Predictable Technological and Metallurgical Properties on the Basis of Structural and Physical-Chemical Investigations 65

Goncharov S.N., Shalimov M.P. Selection of Procedures for Evaluation of Weldability of High-Strength Steels 65

Grigorieva E.G., Chinakhov D.A. Possibility of Using Welding with Double-Jet Gas Shielding for Repair of Worn-out Surfaces of Parts 66

Grinberg B.A., Ivanov M.A., Rybin V.V., Patselov A.M., Besshaposhnikov Yu.P. Explosion Welding: Processes and Structures 67

Grin A.G., Boiko I.A. Procedure for Determination of Composition of Flux-Cored Wire 67

Grin A.G., Zolotopupova T.B. Gas-Shielded Arc Welding of Aluminised Steel 67

Demyanchenko A.A. Control of Structure of Zones of the Welded Joints on Alloyed Steels by Using the Adaptive Pulsed Technologies 69

Elagin V.P., Gordan G.N. On the Mechanism of Decreasing Chemical and Structural Heterogeneity in the Austenitic Weld to Low-Carbon Steel Fusion Zone 70

Zainulin D.I., Lebedev V.A., Maksimov S.V., Pichak V.G. Unique System of Equipment for Automatic Arc Welding at Large Depths under the Maximum Limited Conditions 70

Zakharov L.S., Gavrik A.R. Development of the Technology for Welding of Dissimilar Joints on Martensitic Steel 10Kh9NMFB to Austenitic Chrome-Nickel Steels of the 08Kh18N10T Type 71

Ilyushenko V.M., Anoshin V.A., Bondarenko A.N., Maidanchuk T.B., Skorina N.V. Development of Electrode Materials for Welding and Cladding of Multi-Component Bronzes 72

Ilyushenko V.M., Ganchuk A.V., Lysenko V.A., Petrichenko V.N., Stepchenko D.N. High-Efficiency Technology for Welding of thick Metal 73

Kabysh S.V., Esaulenko G.B., Menzheres M.G. Peculiarities of Formation of Supermolecular Structure of the Joining Zone in Ultrasonic and Thermal Welding of Crystalline Polymeric Sheets 74

Kassov V.D., Kushchij A.M. Upgrading of the Technology for Surface Preparation of Metal Structures of a Complex Volume-Surface Shape for Repair Welding 75

Kvasnitsky V.V., Kostin A.M., Labartkava A.V., Labartkava Al.V. Peculiarities of Brazing of Cermet Pressure Seals 75

Kvasnitsky V.V., Markashova L.I., Kvasnitsky V.F., Koval N.N., Ivanov Yu.F., Uglov V.V., Cherenda N.N., Levchenko I.L. Diffusion Bonding of Metals Using Radiation-Beam Technologies 76

Kvasnitsky V.V., Markashova L.I., Kvasnitsky V.F., Koval N.N., Ivanov Yu.F., Uglov V.V., Cherenda N.N., Levchenko I.L. Brazing of Metals Using Radiation-Beam Technologies 77

Korotynsky A.E. Investigation of Self-Adjustment Processes in Resonance Arc Welding ... 77

Korotynsky A.E., Vertetskaya I.V., Shapka V.A. Application of Differential Taylor Transform in Problems of Investigation of the Processes Occurring in Nonlinear Oscillatory Circuit 78

Korotynsky A.E., Drachenko N.P., Shapka V.A. Peculiarities of Charging-Discharging Processes in Welding Circuit 78

Kulik V.M., Demchenko E.L., Vasiliev D.V., Elagin V.P. New Electrode Materials for Welding and Cladding of High-Strength and Dissimilar Steels 79

Labur T.M. Increase in Strength and Toughness of Welded Joints on Aluminium Alloys 80

Lebedev V.A., Gedrovich A.I., Borodina K.V. Electric-Arc Fusion Welding of Metal of Small Thickness 80

Lebedev V.A., Gedrovich A.I., Sysoev V.N. Formation of Welds in Gas-Shielded Pulsed Arc Welding of Beams 81

Lebedev V.A., Maksimov S.Yu., Lendel I.V. Mathematical Model of Temperature Fields and Optimal Parameters of the Deposited Bead Under Controlled Mechanical Effects 82

Lebedev V.A., Maksimov S.Yu., Yaros Yu.A. Power Supply for Mechanised Metal Arc Welding of Remote Objects 82

Lebedev V.A., Plyushch D.V. Technological Reliability of Mechanised Welding Equipment 83

Lebedev V.A., Sorokin M.S., Belov A.A. Upgrading of Principles of Control of Electrode Metal Transfer in Arc Welding with Short Circuits 84

Lobanov L.M., Timoshenko O.M., Goncharov P.V. Technology and Equipment for Arc Spot Welding in the Vertical Position 85

Matvienko M.V., Ermolaev G.V., Kvasnitsky V.V. Infuence of Slipping of Dissimilar Material Surfaces Being Joined on the Stress-Strain State in Vacuum Diffusion Welding with Thermal Cycling 86

Mayr P., Kusch M., Ebert L., Podlesak F. Influence of Plasma Transfer Arc Welding with Pulsed Process Gas on Welding Metallurgy of Cobalt Based Hardfacing Alloys 87

Moravetsky S.I., Tsaryuk A.K., Skulsky V.Yu. Certification of the Technology of Welding Combined Rotors from Steels 25Kh2NMFA+ 20Kh3MVFA (EI415) for Steam Turbines 87

Nesterenko N.P., Galchun A.N., Kondratenko V.Yu., Skok A.G. On Effectiveness of Application of Pneumatically Driven Machine for Butt Welding of up to 400 mm Diameter Pipes from Crystal-Amorphous Polymers 88

Nesterenko N.P., Dyachenko S.M., Senchenkov I.K. Technology and Equipment for Ultrasonic Welding of Heat-Resistant Composite Materials Applied in Automotive and Aircraft Construction 89

Nesterenko N.P., Korab N.G., Galchun A.N. Experimental-Theoretical Investigation of Laser Welding of thin Polyethylene Films 89

Nesterenko N.P., Mineev E.A. Features of Welding Pipes from Unplasticized Polyvinylchloride 90

Paton B.E., Saraev Yu.N., Lebedev V.A. Prospects for Development and Practical Application of Pulsed Welding and Surfacing Technologies to Improve Operating Reliability of Critical Metal Structures 91

Paton B.E., Yushchenko K.A., Lychko I.I., Suprun S.A., Kozulin S.M., Klimenko A.A. Investigation of the Processes of Formation of Welded Joint Metal in Electroslag Welding with Wire Electrodes 92

Pentegov I.V., Sidorets V.N., Rymar S.V., Zhernosekov A.M. Influence of Modern Arc Power Sources on the Mains 93

Pismenny A.S., Pismenni A.A., Prokofjev A.S., Gubatyuk R.S. Investigation and Development of Experimental Technology and Equipment for Heat Treatment of Welds of Railway Rails 93

Pismenny A.S., Polukhin V.V., Polukhin Vl.V., Gubatyuk R.S. Experimental Technologies and Equipment for Seam Welding and Braze-Welding of Thin-Walled Pipes from High-Strength Steels by High-Frequency Currents 94

Porokhonko V.B., Protokovilov I.V., Nazarchuk A.T., Petrov D.A., Babich L.M. Electroslag Welding of Titanium Alloys with Pulsed Electromagnetic Impact 95

Pokhmurska H., Wielage B., Lampke T., Rupprecht Ch. Overview Lecture about Research Trends for TS-Processes 95

Pokhodnya I.K., Ignatenko A.V., Paltsevich A.P., Sinyuk V.S. Hydrogen-Induced Cold Cracks in Welded Joints of HSLA Steels 96

Psakhtje S.G., Yushchenko K.A., Saraev Yu.N., Kakhovsky Yu.N., Bezborodov V.P. Establishing Scientific Fundamentals of Development of Multimodal Welding Consumables and Pulsed Technologies to Produce Permanent Joints and Fused Coatings with Multiscale Structure for Items Operating in Extreme North and Arctic Regions 97

Razmyshlayev A.D., Mironova M.V., Yarmonov S.V., Vydymysh P.A. Improvement of the Effectiveness of the Processes of Arc Welding and Surfacing Under the Impact of Controlling Magnetic Fields 97

Reznichenko M.K., Kalin M.K., Izotova K.O. New Methods of Cold Welding of Cast Iron by Low-Carbon Materials 98

Semyonov A.P., Krivtsun I.V., Demchenko V.F. Simulation of the Processes of Melting and Fusion of Electrode Metal in Consumable Electrode Welding 99

Sineok A.G., Gerasimenko A.M., Ryabokon V.D., Ryabtsev K.V., Brichak V.V., Tolsty S.N. Modern Welding Technologies at Enlargement and Mounting of Metal Structures of the Arch of Podol Bridge in Kiev 99

Sineok A.G., Gerasimenko A.M., Ryabokon V.D., Ryabtsev K.V., Gotsulyak A.A. Development of Technologies of Welding Weather-Resistant Rolling Stock of Strength Classes C355–500 MPa 100

Skuba T.G., Kolyada V.A., Dolinenko V.V., Shapovalov E.V. Development of Simulation Model of Robotic Multipass MIG/MAG Welding for Experimental Investigations of the Influence of Schematics and Modes of Making the Welds on Stress-Strain States 101

Ternovoj E.G., Shulym V.F., Lankin Yu.N. Repair of Fragments of the Case of Internatonal Space Station with Application of Electron Beam Welding 101

Ustinov A.I., Melnichenko T.V., Falchenko Yu.V., Petrushinets L.V. Electron Beam Methods to Produce Nanostructured Foils and their Application in Welding of Difficut-to-Weld Materials 102

Ustinov A.I., Telichko V.A., Demchenkov S.A., Bruckmueller C., Hancic A. EB PVD Technology of Producing Functional Quasicrystalline Coatings and their Properties 103

Kharchenko G.K., Rudenko M.N., Novomlinets O.O., Khomenko M.O. Generation of Electric Potential on the Surface of Metal Samples at Self-Propagating High-Temperature Synthesis in Nanolayered Foils 103

Khorunov V.F., Maximova S.V. Vacuum Brazing of Multilayer Thin-Walled Structures 104

Khorunov V.F., Maximova S.V., Myasoed V.V., Voronov V.V. Formation of Brazed Joints Based on Ni_3Al 105

Tsaryuk A.K., Ivanenko V.D., Dunaevskaya N.I. Repair Technology for Extension of Service Life of Boilers of Operating TPP Power Units 106

Tsaryuk A.K., Kasatkin O.G., Skulsky V.Yu., Moravetsky S.I., Gavrik A.R. Technology of Welding from One Side Clad Pipelines of Primary Coolant Circuit of NPP Power Units 106

Chinakhov D.A. Investigation of the Influence of Shielding Gas Jet on Heat Distribution in the Consumable Electrode Welding Zone 107

Chinakhov D.A., Zuev A.V. Consumable Electrode Welding with Double-Jet Gas Shielding 108

Shapka V.A. Selection of the Structure of Driving Generator for Operation of HFMP Actuator 108

Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Lukashenko A.G. Laser Welding of Expansion Bellows 109

Sholokhov M.A., Fiveiskii A.M., Buzorina D.S. Investigation of the Influence of Technological Parameters on Formation of Near-Wall Bead in Gas-Shielded Multipass Welding 110

Sholokhov M.A., Fiveiskii A.M., Melnikov A.Yu. Twin-arc welding and its Practical Implmentation 110

Yushchenko K.A., Gakh I.S., Zadery B.A., Zvyaginsteva A.V., Karasevskaya O.P. Metallurgical and Technological Issues of Welding and Repair of Single-Crystal Blades from High-Strength Nickel Alloys 111

Yushchenko K.A., Kushnareva T.N., Mazurak V.E. Results of Investigations of Producing High-Temperature Nickel Alloy Joints by Reaction-Diffusion Process 111

Turyk E., Czwornog B., Zydzik-Bialek A. Welding Works in Repair of the «Arbeit Macht Frei» Inscription Elements of the Entrance Gate to the Former Concentration and Extermination Camp Auschwitz I 112

STRENGTH OF WELDED JOINTS AND STRUCTURES, THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF STRESS-STRAIN STATES AND THEIR CONTROL 113

Balytsky O.I., Novatsky Ye., Kostyuk I.F., Vus O.B., Skolozdra O.S. Performance of High-Nitrogen Steels and their Welded Joints after Long Service in Hydrogen 115

Boyko I.A., Grin A.G., Lysak V.K. Methods of Determination of Hot Hardness of Metal 115

Galtsov I.A., Kalenskaya A.V., Tkachenko S.A., Tkachenko A.N. Control of Residual Welding Stresses During Welding of Clad Steel 09G2S + 08Kh18N10T 116

Gachkevich O.R., Astashkin V.I., Kozakevich T.V., Ravska-Skotnichni A. Phase Composition and Residual Stresses in thin Steel Plates During Preheating using Moving Heat Sources 117

Denisov L.S. Investigation of Formation of Defectiveness of Welded Joints 117

Dzyubik A., Palash V. Residual Strength of Main Pipelines of High-Strength Steels 118

Dmitrik V.V., Bartash S.N. Towards the Mechanism of Ageing of Welded Joints of Steam Pipelines 119

Dmitrik V.V., Sirenko T.A. Mechanism of Degradation of Metal of Welded Joints of Steam Pipelines 119

Dub A.V., Durynin V.A., Razygraev A.N., Razygraev N.P., Lobanov L.M., Makhnenko O.V. Ultrasonic Testing, Damageability and Serviceablity of Elements of Collector Welding to Steam Generator at NPP with WWER-1000 120

Zankovets P.V., Sheleg V.K. Influence of Dominating Factors on Formation of Welded Joints under the Conditions of Single and Small-Series Welding Manufacturing 121

Kvasnitsky V.V., Kolesar I.A., Kvasnitsky V.F., Ermolaev G.V., Labartkava A.V. Investigation of Influence of Rigidity and Strength of Interlayer on Stress-Strain State at Loading of Welded and Brazed Components by Axial Load 122

Kleiman J., Kudryavtsev Y. Application of Ultrasonic Peening in Industry 122

Klochkov I.N., Berezin I.V., Berezin O.V. Increase of Life of Welded Joints of Thin-Sheet Aluminium alloys using High-Frequency Mechanical Peening 123

Knysh V.V., Solovey S.A., Kuzmenko A.Z. Increase of Cyclic Life of Welded Joints of in-Service Metal Structures using High-Frequency Mechanical Peening 124

Kolomiytsev E.V. Improvement of Service Life of Changeable Equipment and Welded Structures of Open-Hearth Shop 124

Kolomiytsev E.V. Fatigue and Corrosion-Fatigue Strength and Life of Welded Joints of Steel 12Kh18N10T 125

Kolomiytsev E.V., Serenko A.N. Increase of Life and Fatigue Strength of Welded Structures by Surface Plastic Treatment 125

Kolot O.V., Tkachenko S.O., Tkachenko O.M. Vibro-Treatment as a Reserve of Quality Improvement of Metal Structures 126

Kuzmenko D.Yu., Prosnitsky V.G., Makhnenko O.V., Demchenko Yu.V. All-Welded Wheels of Agglomeration Blowers N7500, N6500 127

Kushnir R.M., Drobenko B.D. Assessment of Stressed State and Service Life of Elements of Power Units of 200 MW 127

Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Savitsky V.V., Tkachuk G.I., Lysak V.V. Determination of Residual Stresses in Welded T-Joints of Titanium Alloy VT-20 Applying Method of Electron Speckle-Interferometry 128

Markashova L.I., Kushnareva O.S. Investigation of Correlation of Structure with Mechanical Properties of Welded Joints of Aluminium-Lithium Alloy 128

Markashova L.I., Poznyakov V.D., Berdnikova E.N., Alekseenko T.A., Maksimenko A.A. Welded Joints of High-Strength Steels under in-Service Conditions ... 129

Markashova L.I., Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Kushnareva O.S., Bernatsky A.V. Structure and Mechanical Properties of Structural Steel Surface Layers Forming under Conditions of Laser and Laser-Plasma Alloying 130

Makhnenko V.I., *Velikoivanenko E.A., Rozynka G.F., Pivtorak N.I.* Mathematical Models of Tough Fracture of Welded Structures Based on Mechanism of Pores Formation 131

Makhnenko O.V., Mirzov I.V. Investigation of Stress-Strain State of Inner-Body Devices on the Example of Baffle Plate of Reactor WWER-1000 131

Medvedev S.V., Klimov K.A. Prediction Supercomputer Modeling of Processes of Fracture of Critical Welded Structures 132

Medvedev S.V., Chizh O.P. Constructive-Technological Designing of Welded Structure with Application of Supercomputer Facilities of National Grid-Network 132

Milenin A.S. Methodological Bases of Planning of Repair of Main Pipelines without Service Interruption 133

Mutas V.V., Netrebsky M.A., Rabkina M.D. Method of Assessment of Stress-Strain State of Cylindrical Structures, Operating under Internal Pressure, with Local Surface Defects 134

Nazarchuk Z.T., Skalsky V.P. Methodological Bases of Identification of Mechanisms of Fracture of Aluminium Alloy Welded Joints by Acoustic Emission Parameters 134

Nazarchuk Z.T., Skalsky V.P., Stankevich O.M., Lyasota I.M. Identification of Mechanisms of Fractures of Welded Joints of Alloy 1201-T by Parameters of Acoustic Emission Signals 135

Nekhotyashchiy V.A., Palienko A.L., Perepichaj A.A., Rabkina M.D. Prediction of Safe Service of Pressure Vessels with Account for Magnetic Inhomogeneity of Metal 136

Nikiforchin G.M., Tsirulnik O.T., Zvirko O.I., Gredil M.I., Voloshin V.A. Peculiarities of Corrosion-Hydrogen Degradation of Properties of Welded Joints of Main Gas Pipelines 136

Panteleenko F.I., Snarsky A.S. Ageing of Welded Critical Structures and Search for Method of Nondestructive Assessment of Metal Resistance to Impact Action 137

Panfilov A.I. Application of Bimetal Sheets SWIP for Protection of Technological Equipment 138

Podgurskiy M.I., Tatarin B.P., Podgurskiy I.M. Modeling of Initiation and Propagation of Fatigue Surface Cracks in Welded Joints 139

Poznyakov V.D., Zhdanov S.L., Maksimenko A.A. New Structural Steels for Welded Building Metal Structures 140

Radchenko M.V., Mandrov B.I. Improvement of Service Life of Containers by Application of Welded Shells of Polymeric Materials 140

Royanov V.A., Korostashevsky P.V. Investigation of Formula of End Edge Bending of Sheet Panels by Accounting for Empiric Coefficient of Stickout Length and Sheet Thickness 141

Sviridov A.V., Grin A.G. Investigation of Mechanical Properties of Welded Joints on Copper Base 142

Khoma M.S. Corrosion-Mechanical Fracture of Pipe Steels with Welded Joints in Hydrogen Sulphide Environments 142

Yushchenko K.A., Kushnareva T.N., Mazurak V.A. Results of Investigations of Producing Joints of Heat-Resistant Nickel Alloys by Reaction-Diffusion Method 143

Yushchenko K.A., Savchenko V.S., Zvyagintseva A.V., Chervyakov N.O., Tkach V.N. Assessment of Crystallographic Anisotropy of Elastic Properties of Weld Metal of Nickel Alloys by using Nanoindentation 144

NONDESTRUCTIVE TESTING AND TECHNICAL DIAGNOSTICS 145

Davydov E.A., Shekero A.L., Yukhimets P.S., Mikhovski M., Alexsiev A., Mirchev G. Application of Current Ultrasonic Testing Technology LRUT for Detection of Corrosion Damages of Metal of Main Pipelines 147

Karmanov M.N., Shalaev V.A. Modular Systems of Digital Radiation Testing 147

Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Kiyanets I.V., Savitskiy V.V., Savitska O.M. Non-Destructive Determination of Diameters of Nuggets of Spot Welded Joints by Electron Shearography Method using Mechanical and Thermal Loading 148

Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Nekhotyashchiy V.A., Korotenko P.D., Shiyan K.V. Prediction of Failure Pressure of Pipes with Corrosion Defects using Laser Interferometry 149

Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Savitskaya E.M., Kiyanets I.V. Quality Control of Welded Titanium Panels from VT-20 Alloy using Electron Shearography Method 149

Nedoseka A.Ya., Nedoseka S.A., Yaremenko M.A., Ovsienko M.A., Kharchenko L.F. Acoustic-Emission Diagnostics of Equipment of Enterprises of Power Complex 150

Posypayko Yu.N. Developments of the E.O. Paton Electric Welding Institute in Area of Control of Leak-Proofness of Welded Joints 150

Sorokin M.S., Belov A.A., Lebedev V.A. System for Automation and Control of Welding Production 151

Troitskiy V.A., Belyi N.G., Bukhenskiy V.N., Mikhaylov S.R. Fast Digital X-ray-Television System Based on X-Ray Screens and CCD-Cameras 152

Troitskiy V.A., Karmanov M.N., Gorbik V.M. Diagnostic Ultrasonic Complexes «Universal-1P» and «Universal-2P» 153

Troitskiy V.A., Posypayko Yu.N. Complex Non-Destructive Testing of Large Volume Welded Reservoirs 153

Troitskiy V.A., Posypayko Yu.N., Agalidi Yu.S., Leviy S.V. Magnetooptical Flaw Detection of Near-Surface Layers of Ferromagnetic Parts 154

Uchanin V.M. Eddy-Current Testing of Welded Joints 155

Shapovalov E.V., Kolyada V.A. Development of Upduting Diagnostic Equipment for Mobile and Removable Means of Automated Testing of Geometry of Railway Track 155

Shapovalov E.V., Galagan R.M., Klishchar F.S., Zapara V.I. Experience of Development of Acoustic-Emission System for Testing of Resistance Spot Welding 156

Shchupak S.A., Troitskaya N.V., Posypayko Yu.N., Shekero A.L. New Standards in Area of Non-Destructive Testing of Welded Joints 157

SURFACE ENGINEERING 159

Bezborodov V.P. Main Regularities of Structure Formation and Properties of Transition Zone of Compositions with Coatings after High-Temperature Effect 161

Berezhnaya E.V. Improvement of Technology of Electric Contact Hard-Facing 161

Borisov Yu.S., Astakhov E.A., Ipatova Z.G., Yantsevich K.V., Kildiy A.I. Improvement of Corrosion Resistance of Detonation Coating of Fe–Cr–SiC Composite Powders, Produced by Mechanical-Chemical Synthesis 162

Borisov Yu.S., Voynarovich S.G., Kislitsa A.N., Kuzmich-Yanchuk E.K. Microplasma Spraying of Biocompatible Titanium Coatings 163

Borisov Yu.S., Demyanov I.A., Vigilyanskaya N.V. Electric Arc Spraying of Coatings with a Pseudoalloy Structure 163

Borisov Yu.S., Kuznetsov M.V., Volos A.V., Zadoya V.G., Strelchuk V.V., Kladko V.P., Gorban V.F. Magnetron Sputtering of Super-Hard Nanocomposite nc-TiC/a-c Coatings 164

Borisov Yu.S., Kuznetsov M.V., Volos A.V., Zadoya V.G., Strelchuk V.V., Kladko V.P., Gorban V.F. Magnetron Sputtering of Nanocomposite CN_x Coating 165

Borisov Yu.S., Murashov A.P., Grishchenko A.P. Development and Investigation of Effectiveness of System of Shielding the Plasma Jet with Sprayed Material from Interaction with Environment 165

Borisov Yu.S., Murashov A.P., Grishchenko A.P., Vigilyanskaya N.V. Investigation of Heat-Protective Properties of Gradient Coatings 166

Borisov Yu.S., Rupchev V.L., Burlachenko A.N., Borisova A.L., Adeeva L.I., Tunik A.Yu. Composite Powders Fe–Cr–SiC for Gas Thermal Spraying, Produced by MChS. Structure and Properties 166

Borisova A.L., Burlachenko A.N., Grishchenko A.P., Ipatova Z.G., Tsymbalistaya T.V., Yantsevich K.V. Heat-Protective And Corrosion Properties of Plasma Coatings of Complexly-Alloyed Alloy on AlCu–Fe Base, Containing a Quasi-Crystalline Phase 167

Bykovsky O.G., Lapteva A.N. Thermal State and Fraction Composition of Particles in Plasma Spraying with Current-Carrying Wire 167

Voinarovich S.G., Kuzmich-Yanchuk E.K., Kislitsa A.N., Kalyuzhnyi S.N., Masyuchok O.P., Glukhovsky V.Yu. Microplasma Resistive Coatings, Produced of Titanium Dioxide Powder for Application in Electric Heaters 168

Volkov D.A., Koshevoy A.D. Effect of Roughness of Part Surface on Adhesion Strength in Electric Contact Surfacing 169

Gaivoronsky A.A., Klapatyuk A.V., Shishkevich A.S., Gritsaj V.Ya. Technology of Surfacing Restoration of Wheel Tires of High-Speed Passenger Transport 169

Dragan S.V., Goloborodko Zh.G., Simutenkov I.V. Automatic Submerged Arc Surfacing with Transverse High-Frequency Oscillations of Electrode 170

Dubovoy O.M., Karpechenko A.A., Bobrov M.M. Effect of Electric Pulses on Structure and Hardness of Electric Arc Coatings 171

Evdokimov A.I., Kuskov Yu.M. Assessment of Operation of Water-Air Injector under Conditions of Electroslag Surfacing of High-Carbon Materials 172

Korobov Yu.S., Filippov M.A., Legchilo V.V., Khudorozhkova Yu.V., Verkhorubov V.S. Influence of Metastable Chromium Austenite on the Properties of Materials Deposited by Surfacing and Spraying 172

Korobov Yu.S., Filippov M.A., Nevezhin S.V., Rimer G.A. High-Temperature Coatings from Flux-Cored Wires 173

Kostin A.M., Butenko A.Yu. Development of High-Temperature Wear-Resistant Material for Strengthening of Band Flanges of GTE Blades 173

Kuzmenko O.G., Lentyugov I.P. Development of Materials for Wear-Resistant Surfacing using Grinding Wastes of High-Speed Steel 174

Kuzmich-Yanchuk E.K., Borisov Yu.S., Voynarovich S.G., Kislitsa A.N., Tunik A.Yu. Reactive Laser-Plasma Spraying of Coatings on Titanium Base in the Medium of Active Gas Mixture $H_2 + CH_4$ 174

Lankin Yu.N., Ryabtsev I.A., Chernyak Ya.P., Solovjev V.G., Semikin V.F., Osechkov P.P., Zhdanov V.A. Experimental Investigations of Electric Condition Parameters of Automatic Submerged Arc, Open Arc and Shielded-Gas Surfacing 175

Makarenko N.A. Development of Slag System of Flux-Cored Flattened Wire for Plasma-MIG Surfacing of Aluminium Alloys 176

Markashova L.I., Tyurin Yu.N., Kolisnichenko O.V., Valevich M.L., Bogachev D.G. Structural-Phase State of Working Surfaces of Parts from High-Strength Cast Iron After Pulse-Plasma Treatment 177

Orlov L.N., Golyakevich A.A. Restoration Surfacing of Metallurgical Equipment Components with Flux-Cored Wires in «TM. VELTEK LTD.» 177

Paustovsky A.V., Tkachenko Yu.G., Alfintseva R.A., Kirilenko S.N., Yurchenko D.Z. Development of Electrode Materials for Electric Spark Strengthening and Restoration of Worn-Out Surfaces 179

Peremitko V.V. Improvement of Service Life of Running Gear Parts of Road Machines 180

Pereplyotchikov E.F. Experience of Application of Plasma-Powder Surfacing in Valves and Engine Manufacture 180

Plis S.G. Effect of Surfacing Conditions and Diameter of Flux-Cored Wire on Characteristics of its Melting 181

Presnyakov V.A. Improvement of Method of Electric Contact Surfacing by Flux-Cored Wire and Strip 182

Prilutsky V.P., Shvab S.L., Radkevich I.A., Akhonin S.V., Antonyuk S.L. Restoration of Properties of Worn-Out Surface of Airplane Elements of Titanium Alloy VT22 by using the Argon-Arc Surfacing 182

Radchenko V.G., Radchenko M.V., Shevtsov Yu.O., Radchenko T.B. Development of Technology of Supersonic Gas-Powder Surfacing for Solution of Problem of Wear of Parts of Machines and Mechanisms 183

Senchenkov I.K., Ryabtsev I.A., Chervinko O.P., Ryabtsev I.I., Babinets A.A. Calculated-Experimental Method of Assessment of Life of Surfaced Parts Operating under Conditions of Cyclic Thermal and Mechanical Loads 184

Sukhovaya E.V. Composite Materials for Furnace Method of Surfacing 185

Shabliy O.M., Pulka Ch.V., Gavrilyuk V.Ya., Senchishin V.S., Grusha V.Ya. New Technological Processes of Induction Surfacing of thin Shaped Discs 185

SPECIAL ELECTROMETALLURGY 187

Anakhov S.V., Pykin Yu.A., Matushkin A.V. Environmental Principles of Designing of Electroplasma Equipment 189

Akhonin S.V., Berezos V.A., Kopniychuk V.D., Pikulin A.N., Severin A.Yu. Electron-Beam Technologies of Obtaining of Ingots of Titanium-Based Alloys 189

Asnis E.A., Piskun N.V., Statkevich I.I., Baranskii P.I., Babich V.M. Nitrogen Alloying of Silicon Crystals in Process of their Growing by Electron Beam Crucibleless Zone Melting Method 190

Asnis E.A., Piskun N.V., Statkevich I.I., Baranskii P.I., Babich V.M. Electron Beam Crucibleless Zone Melting of Silicon using Heat Shield 190

Biktagirov F.K., Reyda N.V., Shapovalov V.A., Efimov V.M., Selyutin A.A., Padalka V.G. Electroslag Heating and Hot Topping of Discard of Large Ingots of 200–400 t Mass 191

Biktagirov F.K., Shapovalov V.A., Gnatushenko A.V., Ignatov I.P. Electroslag Melting of Noncompact Waste of Copper and Aluminum Alloys 192

Vlasov A.F. Intensification of Electroslag Processes 192

Piptyuk V.P., Krikent I.V., Samokhvalov S.E., Logozinskiy I.N., Polyakov V.A., Grekov S.V. Estimation of Value and Effect of Electromagnetic Forces on Pool Stirring of Ladle Furnace unit of Alternating Current 193

Polishko A.A., Saenko V.Ya., Stepanyuk S.N., Tunik A.Yu., Klochkov I.N. Transformation of Non-Metallic Inclusions in the Process of Electroslag Remelting and

Electroslag Surfacing with Liquid Metal of High-Alloy Steel of AISI of Type 316 (10Kh17N14M2) 194

Protokovilov I.V., Petrov D.A., Nazarchuk A.T., Babich L.M. Magnetically Controlled Electroslag Melting of Titanium Nickelide 195

Tsvetkov Yu.V., Nikolaev A.V., Samokhin A.V. Plasma Processes in Metallurgy and Technology of Inorganic Materials 195

Shapovalov V.A., Sheyko I.V., Nikitenko Yu.A. Technology and Equipment for Manufacture of Alloys with Liquid-Like and Microcrystalline Structure 196

Shapovalov V.A., Yakusha V.V., Gnizdylo A.N. Super Large Profiled Single-Crystals of Tungsten and Molybdenum (Plasma-Induction Method) 197

PROBLEMS OF WELDING IN MEDICINE. ECOLOGY, CERTIFICATION AND STANDARDIZATION OF WELDING MANUFACTURING 199

Bondarenko Yu.K., Loginova Yu.V., Artyukh K.O. Problems of Increase of Quality of Technical Services During Assembly and Diagnostics in Power Engineering with the Purpose of Providing of Safety of Welded Structures (Review) 201

Kudlaj E.N., Yakimov D.Yu., Shkaboj N.A. High-Frequency Electric Welding Technology in Gynecological Ward of Central Clinical Hospital of SS of Ukraine 201

Lankin Yu.N., Bajshtruk E.N., Kunkin D.D., Osechkov P., Romanova I.Yu., Semikin V.F., Solovjev V.G., Sushy L.F. Experimental Study of the Process of Resistance Welding of Biological Tissues as an Object of Automatic Regulation 202

Levchenko O.G., Levchuk V.K., Goncharova O.M. Methods of Providing of Electromagnetic Safety for Operators of Resistance Spot Welding Machines 202

Levchenko O.G., Lukyanenko A.O. Normalization of Concentration of Hazardous Substances on Working Stations for Manual Arc Welding 203

Lipodaev V.N., Zelnichenko A.T. «Avtomaticheskaya Svarka» (Automatic Welding) at Current Stage 204

Lurin I.A., Vilchinsky A.I., Melnichenko L.M., Yakimov D.Yu., Okhonko O.V. Our Experience of Application and Prospects of HF Electric Welding in Otolaryngology under the Conditions of Central Hospital of Military Medical Administration of Security Service of Ukraine 204

Lurin I.A., Okhonko O.V., Makarov G.G., Titomir I.A., Gladishenko O.I. Application of the Method of Live Tissue Welding in Laparoscopic Apendectomy 205

Lurin I.A., Yakimov D.Yu., Titomir I.A., Makarov G.G., Okhonko O.V., Gladyshenko A.I. Experience of Application and Prospects for Development of Electric Welding Technologies in Surgery 206

Mazur A.A. Economic Problems of Welding and Related Technologies 206

Paton B.E., Kaleko D.E. R&D of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine on Application of Shape Memory Alloys for Implants and Surgical Tools 207

Protsenko P.P. System for Professional Training of Qualified Welders Based on Competence Approach 208

Furmanov Yu.A., Savitskaya I.M., Gejlenko O.A., Terekhov G.V. Alternative Methods of Welding Live Tissues by Plasma-Argon and Thermojet Processes 208

NAME INDEX 217

ПРОГРАММА РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

25 ноября 2013 г.
Пленарное заседание
Конференц-зал корпуса № 4, этаж 2
Начало работы в 10:00
Открытие конференции

1. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины для современной энергетики. Академик **Б.Е. Патон** (Украина)
2. Стратегические направления развития конструкционных материалов и технологий их переработки для изделий авиационно-космической техники. Академик РАН **Е.Н. Каблов, О.Г. Оспенников**, д.т.н. **Б.С. Ломберг** (Россия)
3. Прогресс в нетрадиционных способах сварки и родственных технологий в Пекинском научно-исследовательском аэрокосмическом институте. Профессор **Гуан Цяо** (Китай)
4. Сварные или клеевые соединения — является ли это вопросом будущего? Проф. **У. Райсген**, инж. **М. Шлезер** (Германия)
5. Последние достижения в сварке трением с перемешиванием. Проф. **Т. Диброй** (США)
6. Инновационные технологии в области конструкционных сталей и сварки. Академик РАН **И.В. Горынин** (Россия)
7. Тенденции в разработке оборудования для сварки в защитных газах в Японии. Проф. **Т. Уяма** (Япония)
8. Сварка сегодня и завтра. Проф. **Я. Пилярчик, В. Земан** (Польша)

Перерыв 14:00–15:00

9. Современные информативные автоматизированные системы акустического контроля сварки. Академик РАН **Н.П. Алешин** (Россия)
10. Основы технологии электроконтактного спекания наноструктурированных металлополимерных покрытий триботехнического назначения. Чл.-корр. НАН Беларуси **Ю.М. Плескачевский**, проф. **В.А. Ковтун** (Беларусь)
11. Неразрушающий контроль конструкционной целостности элементов резервуара. **В. Димеай, П. Мудж, П. Джексон**, проф. **Тат Хин Ган, С. Коу** (Великобритания)
12. Цифровое моделирование и экспериментальные исследования процессов переплава. Доктор **А. Жарди** (Франция)
13. Тенденции в развитии сварки в Австрии. **Н. Эпзингер**, проф. **К. Соммитч** (Австрия)

14. Современные исследования и перспективные разработки сварочных технологий в исследовательском Центре Лапрозольд, Бразилия. Проф. **Л. Виларипхо, Л. Виларипхо** (Бразилия)

15. Микросварка алюминиевых сплавов пульсирующим лазером NdYAG и беспрерывным диодным лазером. Доктор **Я. Окамото, С. Накашиба, Т. Сакагава, А. Окада** (Япония)

16. Технологии гибридной лазерной сварки для магистральных трубопроводов. Проф. **С. Кайтель** (Германия)

17. Механическое поведение и разрушение слоистых конструкций. Проф. **Е. Гдоутос** (Греция)

26 ноября 2013 г.
Пленарное заседание
Конференц-зал корпуса № 4, этаж 2
Начало работы в 9:00

18. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов. Академик РАН **Ю.В. Цветков, А.В. Николаев, А.В. Самохин** (Россия)

19. Дуговая сварка в среде защитных газов легких алюминиевых конструкций. Проф. **Р. Винклер** (Германия)

20. Применение энергии взрыва в сварке, родственных процессах и технологиях. Чл.-корр. РАН **В.И. Лысак** (Россия)

21. Тенденция в соединительных технологиях — сварочные технологии как прибавочная стоимость. Доктор **К. Миддельдорф** (Германия)

22. Перспективные технологии создания высоконадежных изделий из конструкционных сталей для базовых отраслей промышленности. Проф. **А.В. Дуб** (Россия)

23. Анализ и выбор сварочных технологий при строительстве магистральных трубопроводов большого диаметра. Доктор **М. Белоев** (Болгария), **В.И. Хоменко**, акад. НАН Украины **С.И. Кучук-Яценко** (Россия, Украина)

24. Регулирование остаточных сварочных напряжений: измерения, анализ усталости, упрочняющие обработки. К.т.н. **Ю. Кудрявцев**, проф. **Я. Клейман** (Канада)

25. Достижения в сварке трубопроводов и свойств сварных соединений. Проф. **М. Косак** (Турция)

26. Сварка, резка и термическая обработка живых тканей. Академик **Б.Е. Патон**, академик НАН Украины **И.В. Кривцун**, д.т.н. **Г.С. Маринский**, д.т.н. **И.Ю. Худецкий**, д.т.н. **Ю.Н. Ланкин**, д.т.н. **А.В. Чернец** (Украина)

26 ноября 2013 г.
Сессия стендовых докладов
Читальный зал библиотеки, корпус № 4, этаж 2
Начало работы в 14:00

1. ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1.1. **Башенко В.В., Охапкин К.А.** Влияние основных конструктивно-технологических параметров режима точечной сварки трением на протекание объемного взаимодействия (Россия)

1.2. **Белоус В.Ю., Ахонин С.В., Селин Р.В., Антонюк С.Л.** Сварка высокопрочного титанового сплава Т110 (Украина)

1.3. **Бондарев С.В.** Дослідження гідрофобно-гідрофільних властивостей компонентів електродних покриттів (Україна)

1.4. **Брумм С., Буэркнер Г., Куш М.** Дуговая сварка нелегированных сталей плавящимся электродом в среде защитного газа с использованием электродных проволок большого диаметра (Германия)

1.5. **Владимиров А.В., Хабузов В.А., Максимов С.Ю., Лебедев В.А.** Цифровой синтез импульсно-дуговой сварки (Россия, Украина)

1.6. **Гавриш П.А., Тулупов В.И.** Совершенствование методов предварительного подогрева сварки меди со сталью (Украина)

1.7. **Гайворонский А.А., Демченко Ю.В., Панфилов А.И.** Технологии восстановления сваркой поврежденных элементов металлоконструкций горно-обогатительного оборудования (Украина)

1.8. **Головко В.В., Походня І.К.** Вплив морфології неметалевих включень на формування мікроструктури металу зварних швів низьколегованих високоміцних сталей (Україна)

1.9. **Гончаров И.А.** Создание сварочных флюсов с прогнозируемыми технологическими и металлургическими свойствами на основе структурных и физико-химических исследований (Украина)

1.10. **Гончаров С.Н., Шалимов М.П.** Выбор методик определения свариваемости высокопрочных сталей (Россия)

1.11. **Григорьева Е.Г., Чинахов Д.А.** Возможность использования сварки с двухструйной газовой защитой для восстановления изношенных поверхностей деталей (Россия)

1.12. **Гринберг Б.А., Иванов М.А., Рыбин В.В., Пацелов А.М., Бесшапошников Ю.П.** Сварка взрывом: процессы и структуры (Россия, Украина)

1.13. **Гринь А.Г., Бойко И.А.** Методика определения состава порошковой проволоки (Украина)

1.14. **Гринь А.Г., Золотопупова Т.Б.** Дуговая сварка алитированной стали в защитных газах (Украина)

1.15. **Демьянченко А.А.** Управление структурой зон сварных соединений легированных сталей методами адаптивных импульсных технологий сварки (Россия)

1.16. **Елагин В.П., Гордань Г.Н.** К механизму снижения химической и структурной неоднородности в зоне сплавления аустенитного шва с углеродистой сталью (Украина)

1.17. **Зайнулин Д.И., Лебедев В.А., Максимов С.В., Пичак В.Г.** Уникальный комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях (Великобритания, Украина)

1.18. **Захаров Л.С., Гаврик А.Р.** Разработка технологии сварки разнородных соединений мартенситной стали 10Х9НМФБ с аустенитными хромоникелевыми сталями типа 08Х18Н10Т (Украина)

1.19. **Илюшенко В.М., Аношин В.А., Бондаренко А.Н., Майданчук Т.Б., Скорина Н.В.** Разработка электродных материалов для сварки и наплавки сложнолегированных бронз (Украина)

1.20. **Илюшенко В.М., Ганчук А.В., Лысенко В.А., Петриченко В.Н., Степченко Д.Н.** Высокоэффективная технология дуговой сварки толстого металла (Украина)

1.21. **Кабыш С.В., Есауленко Г.Б., Менжерес М.Г.** Особенности формирования надмолекулярной структуры в зоне соединения при ультразвуковой и тепловой сварке листов из кристаллических полимеров (Украина)

1.22. **Кассов В.Д., Кущий А.М.** Усовершенствование технологии подготовки поверхности металлоконструкций сложной объемно-поверхностной формы под ремонтную сварку (Украина)

1.23. **Квасницкий В.В., Костин А.М., Лабарткава А.В., Лабарткава Ал. В.** Особенности пайки металлокерамических гермовводов (Украина)

1.24. **Квасницкий В.В., Маркашова Л.И., Квасницкий В.Ф., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Углов В.В., Черенда Н.Н., Левченко И.Л.** Диффузионная сварка металлов с применением радиационно-пучковых технологий (Украина, Россия, Беларусь)

1.25. **Квасницкий В.В., Маркашова Л.И., Квасницкий В.Ф., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Углов В.В., Черенда Н.Н., Левченко И.Л.** Пайка металлов с применением радиационно-пучковых технологий (Украина, Россия, Беларусь)

1.26. **Коротынский А.Е.** Исследование процессов саморегулирования при резонансной дуговой сварке (Украина)

1.27. **Коротынский А.Е., Вертецкая И.В., Шапка В.А.** Использование дифференциального тейлоровского преобразования в задачах исследования процессов в нелинейном колебательном контуре (Украина)

1.28. **Коротынский А.Е., Драченко Н.П., Шапка В.А.** Особенности зарядно-разрядных процессов в суперконденсаторах (Украина)

1.29. **Кулик В.М., Демченко Э.Л., Васильев Д.В., Елагин В.П.** Новые электродные материалы для сварки и наплавки высокопрочных и разнородных сталей (Украина)

1.30. **Лабур Т.М.** Повышение прочности и вязкости сварных соединений алюминиевых сплавов (Украина)

1.31. **Лебедев В.А., Гедрович А.И., Бородина К.В.** Электродуговая сварка плавлением металла малой толщины (Украина)

1.32. **Лебедев В.А., Гедрович А.И., Сысоев В.Н.** Формирование швов при импульсно-дуговой сварке балок в защитных газах (Украина)

1.33. **Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Лендел И.В.** Математическая модель тепловых полей и оптимальных параметров наплавленного валика при управляемых механических воздействиях (Украина)

1.34. **Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Ярос Ю.А.** Источник для дуговой механизированной сварки плавящимся электродом удаленных объектов (Украина)

1.35. **Лебедев В.А., Плющ Д.В.** Технологическая надежность механизированного сварочного оборудования (Украина)

1.36. **Лебедев В.А., Сорокин М.С., Белов А.А.** Совершенствование принципов управления переносом электродного металла при дуговой сварке с короткими замыканиями (Украина, Россия)

1.37. **Лобанов Л.М. Тимошенко, О.М., Гончаров П.В.** Технологія та устаткування для дугового точкового зварювання в вертикальному положенні (Україна)

1.38. **Матвиенко М.В., Ермолаев Г.В., Квасницкий В.В.** Влияние проскальзывания соединяемых поверхностей разнородных материалов на напряженно-деформированное состояние при диффузионной сварке в вакууме с термоциклированием (Украина)

1.39. **Мейр П., Куш М., Эберт Л., Подлесак Ф.** Влияние сварки плазменной дугой прямого действия с импульсной подачей технологического газа на металлургию сварки сплавов на основе кобальта для твердой наплавки (Германия)

1.40. **Моравецкий С.И., Царюк А.К., Скульский В.Ю.** Аттестация технологии сварки комбинированных роторов из сталей 25Х2НМФА + 20Х3МВФА (ЭИ 415) для паровых турбин (Украина)

1.41. **Нестеренко Н.П., Гальчун А.Н., Кондратенко В.Ю., Скок А.Г.** Об эффективности использования установки с пневмоприводом для сварки встык труб диаметром до 400 мм из кристаллоаморфных полимеров (Украина)

1.42. **Нестеренко Н.П., Дьяченко С.М., Сенченков И.К.** Технология и оборудование для ультразвуковой сварки термостойких композиционных материалов, применяемых в авто- и авиастроении (Украина)

1.43. **Нестеренко Н.П., Кораб Н.Г., Гальчун А.Н.** Экспериментально-теоретическое исследование лазерной сварки тонких полиэтиленовых пленок (Украина)

1.44. **Нестеренко Н.П., Минеев Э.А.** Особенности сварки труб из непластифицированного поливинилхлорида (Украина)

1.45. **Патон Б.Е., Сараев Ю.Н., Лебедев В.А.** Перспективы разработки и практического применения импульсных технологий сварки и наплавки для повышения эксплуа-

тационной надежности металлоконструкций ответственного назначения (Украина, Россия)

1.46. **Патон Б.Е., Ющенко К.А., Лычко И.И., Супрун С.А., Козулин С.М., Клименко А.А.** Исследование процессов образования металла сварного соединения при электрошлаковой сварке проволочными электродами (Украина)

1.47. **Пентегов И.В., Сидорец В.Н., Рымар С.В., Жерносеков А.М.** Влияние современных источников питания сварочной дуги на электрическую сеть (Украина)

1.48. **Письменный А.С., Письменный А.А., Прокофьев А.С., Губатюк Р.С.** Исследование и разработка экспериментальной технологии и оборудования для термической обработки сварных швов железнодорожных рельсов (Украина)

1.49. **Письменный А.С., Полухин В.В., Полухин Вл.В., Губатюк Р.С.** Экспериментальные технологии и оборудование для шовной сварки и сваркопайки токами высокой частоты тонкостенных труб из высокопрочных сталей (Украина)

1.50. **Порохонько В.Б., Протоковилов И.В., Назарчук А.Т., Петров Д.А., Бабич Л.М.** Электрошлаковая сварка титановых сплавов с импульсным электромагнитным воздействием (Украина)

1.51. **Похмурская А., Вьелаж Б., Лампке Т., Рупрехт К.** Обзор тенденций исследования процессов термического напыления (Украина, Германия)

1.52. **Походня И.К., Игнатенко А.В., Пальцевич А.П., Синюк В.С.** Индуцирование водородом холодных трещин в сварных соединениях ВПНЛ сталей (Украина)

1.53. **Псахье С.Г., Ющенко К.А., Сараев Ю.Н., Каховский Ю.Н., Безбородов В.П.** Разработка научных основ создания мультимодальных сварочных материалов и импульсных технологий получения неразъемных соединений и наплавленных покрытий с многомасштабной структурой для изделий, работающих в условиях Крайнего Севера и Арктики (Россия, Украина)

1.54. **Размышляев А.Д., Миронова М.В., Ярмонов С.В., Выдмыш П.А.** Повышение эффективности процессов дуговой сварки и наплавки при воздействии управляющих магнитных полей (Украина)

1.55. **Резніченко М.К., Калін М.А., Ізотова К.О.** Нові способи холодного зварювання чавуну маловуглецевими матеріалами (Україна)

1.56. **Семёнов А.П., Кривцун И.В., Демченко В.Ф.** Моделирование процессов плавления и переноса электродного металла при сварке плавящимся электродом (Украина)

1.57. **Синеок А.Г., Герасименко А.М., Рябоконь В.Д., Рябцев К.В., Бричак В.В., Толстый С.Н.** Современные технологии сварки при укрупнении и монтаже металлоконструкций арки Подольского мостового перехода в Киеве (Украина)

1.58. **Синеок А.Г., Герасименко А.М., Рябоконь В.Д., Рябцев К.В., Гоцуляк А.А.** Разработка технологий сварки атмосферостойкого проката классов прочности С355–500 МПа (Украина, Польша)

1.59. **Скуба Т.Г., Коляда В.А., Долиненко В.В., Шаповалов Е.В.** Разработка имитационной модели роботизированной многопроходной МИГ/МАГ сварки для экспериментальных исследований влияния схем и режимов сварки швов на напряженно-деформированные состояния (Украина)

1.60. **Терновой Е.Г., Шулым В.Ф., Ланкин Ю.Н.** Ремонт фрагментов корпуса международной космической станции с применением электронно-лучевой сварки (Украина)

1.61. **Устинов А.И., Мельниченко Т.В., Фальченко Ю.В., Петрушинец Л.В.** Электронно-лучевые методы получения наноструктурированных фольг и их применение при сварке трудносвариваемых материалов (Украина)

1.62. **Устинов А.И., Теличко В.А., Демченков С.А., Брукмюллер С., Хансис А.** Электронно-лучевая технология получения и свойства квазикристаллических покрытий функционального назначения (Украина, Австрия, Словения)

1.63. **Харченко Г.К., Руденко М.Н., Новомлинець О.О., Хоменко М.О.** Виникнення електричного потенціалу на поверхні металевих зразків при високотемпературному синтезі, що самопоширюється, в наношаруватих фольгах (Україна)

1.64. **Хорунов В.Ф., Максимова С.В.** Вакуумная пайка многослойных тонкостенных конструкций (Украина)

1.65. **Хорунов В.Ф., Максимова С.В., Мясоед В.В., Воронов В.В.** Формирование паяных соединений сплавов на основе Ni_3Al (Украина)

1.66. **Царюк А.К., Иваненко В.Д., Дунаевская Н.И.** Ремонтная технология для продления сроков эксплуатации котлоагрегатов действующих энергоблоков ТЭС (Украина)

1.67. **Царюк А.К., Касаткин О.Г., Скульский В.Ю., Моравецкий С.И., Гаврик А.Р.** Технология односторонней сварки плакированных трубопроводов первого контура энергоблоков АЭС (Украина)

1.68. **Чинахов Д.А.** Исследование влияния струи защитного газа на распределение тепла в зоне сварки плавящимся электродом (Россия)

1.69. **Чинахов Д.А., Зуев А.В.** Сварка плавящимся электродом в двухструйной газовой защите (Россия)

1.70. **Шапка В.А.** Выбор структуры задающего генератора для работы исполняющего инструмента ВМП (Украина)

1.71. **Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Лукашенко А.Г.** Лазерная сварка сильфонных компенсаторов (Украина)

1.72. **Шолохов М.А., Фивейский А.М., Бузорина Д.С.** Изучение влияния технологических параметров на формирование пристеночного валика при многопроходной сварке в защитных газах (Россия)

1.73. **Шолохов М.А., Фивейский А.М., Мельников А.Ю.** Двухдуговая сварка и ее практическая реализация (Россия)

1.74. **Ющенко К.А., Гах И.С., Задерий Б.А., Звягинцева А.В., Карасевская О.П.** Металлургические и технологические вопросы сварки и ремонта монокристаллических лопаток из жаропрочных никелевых сплавов (Украина)

1.75. **Ющенко К.А., Кушнарева Т.Н., Мазурак В.Е.** Результаты исследований получения соединений жаропрочных никелевых сплавов реакционно-диффузионным способом (Украина)

1.76. **Турык Е., Чворног Б., Зыдзик-Бялек А.** Сварочные работы при ремонте элементов надписи «Arbeit macht frei» входных ворот бывшего немецкого концентрационного и экзекуционного лагеря Аушвиц I

2. ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ

2.1. **Балицький О.І., Новацький Є., Костюк І.Ф.,Вус О.Б., Сколоздра О.С.** Роботоздатність високоазотних сталей та їх зварних з'єднань за тривалої експлуатації у водні (Польща, Україна)

2.2. **Бойко И.А., Гринь А.Г., Лысак В.К.** Методика определения горячей твердости металла (Украина)

2.3. **Гальцов И.А., Каленская А.В., Ткаченко С.А., Ткаченко А.Н.** Регулирование остаточных сварочных напряжений при сварке плакированной стали 09Г2С + 08Х18Н10Т (Украина)

2.4. **Гачкевич О.Р., Асташкин В.И., Козакевич Т.В., Равська-Скотнични А.** Фазовый состав и остаточные напряжения в тонких стальных пластинах при нагреве подвижными источниками тепла (Украина, Польша)

2.5. **Денисов Л.С.** Исследование формирования дефектности сварных соединений (Беларусь)

2.6. **Дзюбик А., Палаш В.** Залишкова міцність магістральних трубопроводів із високоміцних сталей (Україна)

2.7. **Дмитрик В.В., Барташ С.Н.** К механизму старения сварных соединений паропроводов (Украина)

2.8. **Дмитрик В.В., Сиренко Т.А.** Механизм деградации металла сварных соединений паропроводов (Украина)

2.9. **Дуб А.В., Дурынин В.А., Разыграев А.Н., Разыграев Н.П., Лобанов Л.М., Махненко О.В.** Ультразвуковой контроль, повреждаемость и работоспособность узлов приварки коллектора к парогенератору на АЭС с ВВЭР-1000 (Россия, Украина)

2.10. **Занковец П.В., Шелег В.К.** Влияние доминирующих факторов на формирование сварных соединений в условиях единичного и мелкосерийного сварочного производства (Беларусь)

2.11. **Квасницкий В.В., Колесар И.А., Квасницкий В.Ф., Ермолаев Г.В., Лабарткава А.В.** Исследование влияния жесткости и прочности промежуточной прослойки на напряженно-деформированное состояние при нагружении осевой нагрузкой сварных и паяных узлов (Украина)

2.12. **Клейман Я., Кудрявцев Ю.** Применение ультразвуковой проковки в промышленности (Канада)

2.13. **Клочков И.Н., Березин И.В., Березин О.В.** Повышение долговечности сварных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов высокочастотным механическим проковыванием (Украина)

2.14. **Кныш В.В., Соловей С.А., Кузьменко А.З.** Повышение циклической долговечности сварных соединений эксплуатируемых металлоконструкций высокочастотной механической проковкой (Украина)

2.15. **Коломийцев Е.В.** Повышение стойкости сменного оборудования и сварных конструкций мартеновского цеха (Украина)

2.16. **Коломийцев Е.В.** Усталостная и коррозионно-усталостная прочность и долговечность сварных соединений стали 12Х18Н10Т (Украина)

2.17. **Коломийцев. Е.В., Серенко А.Н.** Повышение долговечности и усталостной прочности сварных конструкций поверхностной пластической обработкой (Украина)

2.18. **Колот О.В., Ткаченко С.О., Ткаченко О.М.** Віброобробка як резерв підвищення якості металоконструкцій (Україна)

2.19. **Кузьменко Д.Ю., Просницкий В.Г., Махненко О.В., Демченко Ю.В.** Цельносварные колеса агломерационных нагнетателей Н7500, Н6500 (Украина)

2.20. **Кушнір Р.М., Дробенко Б.Д.** Оцінка напруженого стану та експлуатаційного ресурсу елементів енергоблоків потужністю 200 МВт (Україна)

2.21. **Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Савицкий В.В., Ткачук Г.И., Лысак В.В.** Определение остаточных напряжений в сварных тавровых соединениях из титанового сплава ВТ-20 с применением метода электронной спекл-интерферометрии (Украина)

2.22. **Маркашова Л.И., Кушнарева О.С.** Исследование взаимосвязи структуры с механическими свойствами сварных соединений алюминиево-литиевого сплава (Украина)

2.23. **Маркашова Л.И., Позняков В.Д., Бердникова Е.Н., Алексеенко Т.А., Максименко А.А.** Сварные соединения высокопрочных сталей в эксплуатационных условиях (Украина)

2.24. **Маркашова Л.И., Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Кушнарева О.С., Бернацкий А.В.** Структура и механические свойства поверхностных слоев конструкционной стали, формирующихся в условиях лазерного и лазерно-плазменного легирования (Украина)

2.25. **Махненко В.И., Великоиваненко Е.А., Розынка Г.Ф., Пивторак Н.И.** Математические модели вязкого разрушения сварных конструкций на основе механизма порообразования (Украина)

2.26. **Махненко О.В., Мирзов И.В.** Исследование напряженно-деформированного состояния внутрикорпусных устройств на примере выгородки реактора ВВЭР-1000 (Украина)

2.27. **Медведев С.В., Климов К.А.** Прогнозное суперкомпьютерное моделирование процессов разрушения ответственных сварных конструкций (Беларусь)

2.28. **Медведев С.В., Чиж О.П.** Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций с использованием суперкомпьютерных ресурсов Национальной грид-сети (Беларусь)

2.29. **Миленин А.С.** Методологические основы планирования ремонта магистральных трубопроводов без вывода из эксплуатации (Украина)

2.30. **Мутас В.В., Нетребский М.А., Рабкина М.Д.** Методы оценки напряженно-деформированного состояния цилиндрических конструкций, работающих под внутренним давлением, с локальными поверхностными дефектами (Украина)

2.31. **Назарчук З.Т., Скальський В.Р.** Методологічні основи ідентифікування механізмів руйнування зварних з'єднань алюмінієвих сплавів за параметрами акустичної емісії (Україна)

2.32. **Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Станкевич О.М., Лясота І.М.** Ідентифікування механізмів руйнування зварних з'єднань сплаву 1201-Т за параметрами сигналів акустичної емісії (Україна)

2.33. **Нехотящий В.А., Палиенко А.Л., Перепичай А.А., Рабкина М.Д.** Прогнозирование безопасной эксплуатации сосудов давления с учетом магнитной неоднородности металла (Украина)

2.34. **Никифорчин Г.М., Цирульник О.Т., Звірко О.І., Греділь М.І., Волошин В.А.** Особливості корозійно-водневої деградації властивостей зварних з'єднань магістральних газопроводів (Україна)

2.35. **Пантелеенко Ф.И., Снарский А.С.** Старение сварных ответственных конструкций и поиск метода неразрушающей оценки сопротивления металла ударному воздействию (Беларусь)

2.36. **Панфилов А.И.** Применение биметаллических листов SWIP для защиты технологического оборудования (Украина)

2.37. **Підгурський М.І., Татарин Б.П., Підгурський І.М.** Моделювання зародження та розповсюдження втомних поверхневих тріщин в зварних з'єднаннях (Україна)

2.38. **Позняков В.Д., Жданов С.Л., Максименко А.А.** Новые конструкционные стали для сварных строительных металлоконструкций (Украина)

2.39. **Радченко М.В., Мандров Б.И.** Повышение ресурса емкостей за счет применения сварных оболочек из полимерных материалов (Россия)

2.40. **Роянов В.А., Коросташевский П.В.** Исследование формулы прогиба лобовой кромки листовых полотнищ с учетом эмпирического коэффициента длины вылета и толщины листов (Украина)

2.41. **Свиридов А.В., Гринь А.Г.** Исследования механических свойств сварных соединений на медной основе (Украина)

2.42. **Хома М.С.** Корозійно-механічне руйнування трубних сталей із зварними з'єднаннями в сірководневих середовищах (Україна)

2.43. **Ющенко К.А., Кушнарева Т.Н., Мазурак В.Е.** Результаты исследований получения соединений жаропрочных никелевых сплавов реакционно-диффузионным способом (Украина)

2.44. **Ющенко К.А., Савченко В.С., Звягинцева А.В., Червяков Н.О., Ткач В.Н.** Оценка кристаллографической анизотропии упругих свойств металла швов никелевых сплавов с использованием наноиндентирования (Украина)

3. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

3.1. **Давыдов Е.А., Шекеро А.Л., Юхимец П.С., Миховски М., Алексиев А., Мирчев Й.** Применение современной технологии ультразвукового контроля LRUT для обнаружения коррозионных поражений металла магистральных трубопроводов (Украина, Болгария)

3.2. **Карманов М.Н., Шалаев В.А.** Модульные системы цифрового радиационного контроля (Украина)

3.3. **Лобанов Л.М., Півторак В.А., Киянець І.В., Савицький В.В., Савицька О.М.** Неруйнівне визначення діаметрів ядер зварних точкових з'єднань методом електронної ширографії з використанням механічного та термічного навантаження (Україна)

3.4. **Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Нехотящий В.А., Кротенко П.Д., Шиян К.В.** Прогнозирование разрушающего давления труб с коррозионными дефектами с применением лазерной интерферометрии (Украина)

3.5. **Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Савицкая Е.М., Киянец И.В.** Контроль качества сварных титановых панелей из сплава ВТ-20 с применением метода электронной ширографии (Украина)

3.6. **Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А., Овсиенко М.А., Харченко Л.Ф.** Акустико-эмиссионное диагностирование оборудования предприятий энергетического комплекса (Украина)

3.7. **Посыпайко Ю.Н.** Разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области контроля герметичности сварных соединений (Украина)

3.8. **Сорокин М.С., Белов А.А., Лебедев В.А.** Система автоматизации и контроля сварочного производства (Россия, Украина)

3.9. **Троицкий В.А., Белый Н.Г., Бухенский В.Н., Михайлов С.Р.** Высокочувствительная цифровая рентгенотелевизионная система на основе рентгеновских экранов и ПЗС-камер (Украина)

3.10. **Троицкий В.А., Карманов М.Н., Горбик В.М.** Диагностические ультразвуковые комплексы «Универсал-1П», «Универсал-2П» (Украина)

3.11. **Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н.** Комплексный неразрушающий контроль сварных резервуаров большого объема (Украина)

3.12. **Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н., Агалиди Ю.С., Левый С.В.** Магнитооптическая дефектоскопия приповерхностных слоев ферромагнитных изделий (Украина)

3.13. **Учанін В.М.** Вихрострумовий контроль зварних з'єднань (Україна)

3.14. **Шаповалов Е.В., Коляда В.А.** Разработка современной диагностической аппаратуры для мобильных и съемных средств автоматизированного контроля геометрических параметров железнодорожного пути (Украина)

3.15. **Шаповалов Е.В., Галаган Р.М., Клищар Ф.С., Запара В.И.** Опыт разработки акустико-эмиссионной системы контроля контактной точечной сварки (Украина)

3.16. **Щупак С.А., Троицкая Н.В., Посыпайко Ю.Н., Шекеро А.Л.** Новые стандарты в области неразрушающего контроля сварных соединений (Украина)

4. ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ

4.1. **Безбородов В.П.** Основные закономерности формирования структуры и свойства переходной зоны композиций с покрытиями после высокотемпературного воздействия

4.2. **Бережная Е.В.** Совершенствование технологии электроконтактной наплавки (Украина)

4.3. **Борисов Ю.С., Астахов Е.А., Ипатова З.Г., Янцевич К.В., Кильдий А.И.** Повышение коррозионной стойкости детонационного покрытия из КП Fe–Cr–SiC, полученного МХС (Украина)

4.4. **Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н., Кузьмич-Янчук Е.К.** Микроплазменное напыление биосовместимых титановых покрытий (Украина)

4.5. **Борисов Ю.С., Демьянов И.А., Вигилянская Н.В.** Электродуговое напыление покрытий с псевдосплавной структурой (Украина)

4.6. **Борисов Ю.С., Кузнецов М.В., Волос А.В., Задоя В.Г., Стрельчук В.В., Кладко В.П., Горбань В.Ф.** Магнетронное нанесение сверхтвердых нанокомпозитных nc-TiC/a-C покрытий (Украина)

4.7. **Борисов Ю.С., Кузнецов М.В., Волос А.В., Задоя В.Г., Стрельчук В.В., Кладко В.П., Горбань В.Ф.** Магнетронное нанесение нанокомпозитного CN_x покрытия (Украина)

4.8. **Борисов Ю.С., Мурашов А.П., Грищенко А.П.** Разработка и исследование эффективности системы экранирования плазменной струи с напыляемым материалом от взаимодействия с внешней средой (Украина)

4.9. **Борисов Ю.С., Мурашов А.П., Грищенко А.П., Вигилянская Н.В.** Исследование теплозащитных свойств градиентных покрытий (Украина)

4.10. **Борисов Ю.С., Рупчев В.Л., Бурлаченко А.Н., Борисова А.Л., Адеева Л.И., Туник А.Ю.** Композиционные порошки для ГТН Fe–Cr–SiC, полученные методом МХС, структура и свойства (Украина)

4.11. **Борисова А.Л., Бурлаченко А.Н., Грищенко А.П., Ипатова З.Г., Цымбалистая Т.В., Янцевич К.В.** Теплозащитные и коррозионные свойства плазменных покрытий из сложнолегированного сплава на основе AlCuFe, содержащего квазикристаллическую фазу (Украина)

4.12. **Быковский О.Г., Лаптева А.Н.** Тепловое состояние и фракционный состав частиц при плазменном напылении токоведущей проволокой (Украина)

4.13. **Войнарович С.Г., Кузьмич-Янчук Е.К., Кислица А.Н., Калюжный С.Н., Масючок О.П., Глуховский В.Ю.** Микроплазменные резистивные покрытия, полученные из порошка диоксида титана для использования в электронагревателях (Украина)

4.14. **Волков Д.А., Кошевой А.Д.** Влияние шероховатости поверхности детали на прочность сцепления при электроконтактной наплавке (Украина)

4.15. **Гайворонский А.А., Клапатюк А.В., Шишкевич А.С., Грицай В.Я.** Технология восстановления наплавкой бандажей колес скоростного пассажирского транспорта (Украина)

4.16. **Драган С.В., Голобородько Ж.Г., Симутенков И.В.** Автоматическая наплавка под флюсом с поперечными высокочастотными колебаниями электрода (Украина)

4.17. **Дубовий О.М., Карпеченко А.А., Бобров М.М.** Вплив електричних імпульсів на структуру та твердість електродугових покриттів (Україна)

4.18. **Евдокимов А.И., Кусков Ю.М.** Оценка работы водо-воздушной форсунки в условиях электрошлаковой наплавки высокоуглеродистых материалов (Украина)

4.19. **Коробов Ю.С., Филиппов М.А., Легчило В.В., Худорожкова Ю.В., Верхорубов В.С.** Влияние метастабильного хромистого аустенита на свойства наплавленных и напыленных материалов (Россия)

4.20. **Коробов Ю.С., Филиппов М.А., Невежин С.В., Ример Г.А.** Жаростойкие покрытия из порошковых проволок (Россия)

4.21. **Костин А.М., Бутенко А.Ю.** Разработка высокотемпературного износостойкого материала для упрочнения бандажных полок рабочих лопаток ГТД (Украина)

4.22. **Кузьменко О.Г., Лентюгов И.П.** Разработка материалов для износостойкой наплавки с использованием шлифовальных отходов быстрорежущей стали (Украина)

4.23. **Кузьмич-Янчук Е.К., Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н., Туник А.Ю.** Реактивное лазерно-плазменное нанесение покрытий на основе титана в среде активной газовой смеси H_2 + CH_4 (Украина)

4.24. **Ланкин Ю.Н., Рябцев И.А., Черняк Я.П., Соловьев В.Г., Семикин В.Ф., Осечков П.П., Жданов В.А.** Экспериментальные исследования электрических параметров режимов автоматической дуговой наплавки под флюсом, открытой дугой и в защитных газах (Украина)

4.25. **Макаренко Н.А.** Разработка шлаковой системы порошковой плющенки для плазма-МИГ наплавки алюминиевых сплавов (Украина)

4.26. **Маркашова Л.И., Тюрин Ю.Н., Колисниченко О.В., Валевич М.Л., Богачёв Д.Г.** Структурно-фазовое состояние рабочих поверхностей изделий из высокопрочного чугуна ВЧ80 после импульсно-плазменной обработки (Украина)

4.27. **Орлов Л.Н., Голякевич А.А.** Восстановительная наплавка деталей металлургического оборудования порошковыми проволоками в ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» (Украина)

4.28. **Паустовский А.В., Ткаченко Ю.Г., Алфинцева Р.А., Кириленко С.Н., Юрченко Д.З.** Разработка электродных материалов для электроискрового упрочнения и восстановления изношенных поверхностей (Украина)

4.29. **Перемітько В.В.** Збільшення робочого ресурсу деталей ходової частини дорожніх машин (Україна)

4.30. **Переплетчиков Е.Ф.** Опыт применения плазменно-порошковой наплавки в арматуро- и двигателестроении (Украина)

4.31. **Плис С.Г.** Влияние режима наплавки и диаметра порошковой проволоки на характеристики ее плавления (Украина)

4.32. **Пресняков В.А.** Усовершенствование способа электроконтактной наплавки порошковой проволокой и лентой (Украина)

4.33. **Прилуцкий В.П., Шваб С.Л., Радкевич И.А., Ахонин С.В., Антонюк С.Л.** Восстановление свойств изношенной поверхности элементов самолетов из титанового сплава ВТ22 аргонодуговой наплавкой (Украина)

4.34. **Радченко В.Г., Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б.** Разработка технологии сверхзвуковой газопорошковой наплавки для решения проблем износа деталей машин и механизмов (Россия)

4.35. **Сенченков И.К., Рябцев И.А., Червинко О.П., Рябцев И.И., Бабинец А.А.** Расчетно-экспериментальный метод оценки долговечности наплавленных деталей, эксплуатирующихся в условиях циклических термических и механических нагрузок (Украина)

4.36. **Суховая Е.В.** Композиционные материалы для наплавки печным способом (Украина)

4.37. **Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Гаврилюк В.Я., Сенчишин В.С., Груша В.Я.** Нові технологічні процеси індукційного наплавлення тонких фасонних дисків (Україна)

5. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ

5.1. **Анахов С.В., Пыкин Ю.А., Матушкин А.В.** Экологические принципы проектирования электроплазменного оборудования (Россия)

5.2. **Ахонин С.В., Березос В.А., Корнийчук В.Д., Пикулин А.Н., Северин А.Ю.** Электронно-лучевые технологии получения слитков сплавов на основе титана (Украина)

5.3. **Аснис Е.А., Пискун Н.В., Статкевич И.И., Баранский П.И., Бабич В.М.** Легирование азотом кристаллов кремния в процессе их выращивания методом электронно-лучевой бестигельной зонной плавки (Украина)

5.4. **Аснис Е.А., Пискун Н.В., Статкевич И.И., Баранский П.И., Бабич В.М.** Электронно-лучевая бестигельная зонная плавка кремния с применением теплозащитного экрана (Украина)

5.5. **Биктагиров Ф.К., Рейда Н.В., Шаповалов В.А., Ефимов В.М., Селютин А.А., Падалка В.Г.** Электрошлаковый обогрев и подпитки прибыли крупных слитков массой 200–400 т (Украина)

5.6. **Биктагиров Ф.К., Шаповалов В.А., Гнатушенко А.В., Игнатов А.П.** Электрошлаковая плавка некомпактных отходов медных и алюминиевых сплавов (Украина)

5.7. **Власов А.Ф.** Интенсификация электрошлаковых процессов (Украина)

5.8. **Пиптюк В.П., Крикент И.В., Самохвалов С.Е., Логозинский И.Н., Поляков В.А., Греков С.В.** Оценка величины и влияния электромагнитных сил на перемешивание ванны установки ковш-печь переменного тока (Украина)

5.9. **Полишко А.А., Саенко В.Я., Степанюк С.Н., Туник А.Ю., Клочков И.Н.** Трансформация неметаллических включений в процессе электрошлакового переплава и электрошлакового наплавления жидким металлом высоколегированной стали AISI типа 316 (10Х17Н14М2)

5.10. **Протоковилов И.В., Петров Д.А., Назарчук А.Т., Бабич Л.М.** Магнитоуправляемая электрошлаковая плавка никелида титана (Украина)

5.11. **Цветков Ю.В., Николаев А.В., Самохин А.В.** Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов (Россия)

5.12. **Шаповалов В.А., Шейко И.В., Никитенко Ю.А.** Технология и оборудование для производства сплавов с аморфной и микрокристаллической структурой (Украина)

5.13. **Шаповалов В.А., Якуша В.В., Гниздыло А.Н.** Супербольшие профилированные монокристаллы вольфрама и молибдена (плазменно-индукционный метод) (Украина)

6. ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ В МЕДИЦИНЕ. ЭКОЛОГИЯ, АТТЕСТАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

6.1. **Бондаренко Ю.К., Логинова Ю.В., Артюх К.О.** Проблемы повышения качества выполнения технических услуг при монтаже и диагностике в энергетике с целью обеспечения безопасности сварных конструкций (Обзор) (Украина)

6.2. **Кудлай Е.Н., Якимов Д.Ю., Шкабой Н.А.** Высокочастотная электросварочная технология в гинекологическом отделении Центрального клинического госпиталя СБ Украины (Украина)

6.3. **Ланкин Ю.Н., Байштрук Е.Н., Кункин Д.Д., Осечков П.П., Романова И.Ю., Семикин В.Ф., Соловьев В.Г., Суший Л.Ф.** Экспериментальное исследование процесса контактной сварки биологических тканей как объекта автоматического регулирования (Украина)

6.4. **Левченко О.Г., Левчук В.К., Гончарова О.М.** Методи забезпечення електромагнітної безпеки операторів машин контактного точкового зварювання (Україна)

6.5. **Левченко О.Г., Лук'яненко А.О.** Нормалізація концентрації шкідливих речовин на робочих місцях ручного дугового зварювання (Україна)

6.6. **Липодаев В.Н., Зельниченко А.Т.** Журнал «Автоматическая сварка» на современном этапе (Украина)

6.7. **Лурин И.А., Вильчинский А.И., Мельниченко Л.М., Якимов Д.Ю., Охонько О.В**. Опыт применения и перспективы ВЧ электросварки в отоларингологии Центрального госпиталя военно-медицинского управления СБ Украины (Украина)

6.8. **Лурін І.А., Охонько О.В., Макаров Г.Г., Тітомір І.А., Гладишенко О.І**. Застосування методу зварювання м'яких тканин при лапароскопічній апендектомії (Україна)

6.9. **Лурин И.А., Якимов Д.Ю., Титомир И.А., Макаров Г.Г., Охонько О.В., Гладышенко А.И**. Опыт применения и перспективы развития элетросварочных технологий в хирургии (Украина)

6.10. **Мазур А.А.** Экономические проблемы сварки и родственных технологий (Украина)

6.11. **Патон Б.Е., Калеко Д.М.** Работы Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины по применению сплавов с эффектом памяти формы для имплантатов, протезов и хирургического инструмента (Украина)

6.12. **Проценко П.П.** Система профессиональной подготовки квалифицированных сварщиков на основе компетентностного подхода (Украина)

6.13. **Фурманов Ю.А., Савицкая И.М., Гейленко О.А., Терехов Г.В.** Альтернативные методы сварки живых тканей плазменно-аргоновым и термоструйным способами (Украина)

PROGRAM
OF THE CONFERENCE

November 25, 2013
Plenary Session
Conference Hall, build. 4, 2nd floor
10:00 — Opening of the Conference

1. Research and developments of the E.O. Paton Electric Welding Institute for the nowadays power engineering. Prof. **B.E. Paton** (Ukraine)
2. Strategic trends of development of structural materials and technologies of their processing for aerospace engineering objects. Prof. **E.N. Kablov, O.G. Ospennikov**, Dr. **B.S. Lomberg** (Russia)
3. Progress in non-conventional welding and related processes at Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute. Prof. **Qiao Guan** (China)
4. Welding or Adhesive Bonding — is this a question for the future? Prof. **U. Reisgen, M. Schleser** (Germany)
5. Recent advances in the quantitative understanding of friction welding. Prof. **T. Debroy** (USA)
6. Innovation technologies in the field of structural steels and welding. Prof. **I.V. Gorynin** (Russia)
7. Trends in developments in gas-shielded arc welding equipment in Japan. Prof. **T. Ueyama** (Japan)
8. Welding today and tomorrow. Prof. **J. Pilarczyk, W. Zeman** (Poland)

Break 14:00–15:00

9. Advanced informative automated systems of acoustic control of welding. Prof. **N.P. Alyoshin** (Russia)
10. Fundamentals of technology of electric contact sintering of nanostructured metal-polymeric coatings of tribotechnical purpose. Prof. **Yu. Pleskachevsky**, Prof. **V.A. Kovtun** (Belarus)
11. Non-invasive condition monitoring of storage tank. Prof. **Tat-Hean Gan, Vixhaar Dimlaye, Peter Mudge, Paul Jackson, Slim Soua** (Great Britain)
12. Numerical simulation and experimental investigation of remelting process. Dr. **A. Jardy** (France)
13. Tends in welding in Austria. Prof. **Ch. Sommitsch, N. Enzinger** (Austria)
14. Ongoing activities and prospects related to welding technology at Laprosolda, Brazil. Prof. **Lou Vilarinho, Lau Vilarinho** (Brazil)
15. Micro-welding of aluminium alloy by superposition of pulsed Nd:YAG laser and continuous diode laser. Dr. **Y. Okamoto, S. Nakashiba, T. Sakagawa, A. Okada** (Japan)
16. Technology of hybrid laser welding for main pipelines. Prof. **S. Keitel** (Germany)
17. Mechanical behavior and future of sandwich structures. Prof. **E. Gdoutos** (Greece)

November 26, 2013
Plenary Session
Conference Hall, build. 4, 2nd floor
9:00

18. Plasma processes in metallurgy and technology of inorganic materials. Prof. **Yu.V. Tsvetkov, A.V. Nikolaev, A.V. Samokhin** (Russia)
19. Gas-shielded arc welding of aluminium light weight structures. Prof. **R. Winkler** (Germany)
20. Application of explosion energy in welding, related processes and technologies. Prof. **V.I. Lysak** (Russian)
21. Trends in joining technologies — value added by welding technology. Dr. **K. Middeldorf** (Germany)
22. Challenging technologies of manufacture of highly-reliable structures of structural steels for basic branches of industry. Prof. **A. Dub** (Russia)
23. Analysis and selection of welding technologies in construction of large-diameter main pipelines. Dr. **M. Beloev** (Bulgaria), **V.I. Khomenko**, Prof. **S.I. Kuchuk-Yatsenko** (Russia, Ukraine)
24. Residual stress management in welding: measurement, fatigue analysis and improvement treatments. Dr. **Yu. Kudryavtsev**, Prof. **J. Kleiman** (Canada)
25. Advances in pipeline welding technologies and weld joint properties. Prof. **M. Kocak** (Turkey)
26. Welding, cutting and heat treatment of live tissues. Prof. **B.E. Paton**, Prof. **I.V. Krivtsun**, Dr. **G.S. Marinsky**, Dr. **I.Yu. Khudetsky**, Dr. **Yu.N. Lankin**, Dr. **A.V. Chernets** (Ukraine)

November 26, 2013
Poster session
Reading Hall, build. 4, 2nd floor
14:00

1. TECHNOLOGY, MATERIALS AND EQUIPMENT FOR WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES

1.1. **Bashenko V.V., Okhapkin K.A.** Effect of main design-technological parameters of spot friction welding on volumetric interaction proceeding (Russia)

1.2. **Belous V.Yu., Akhonin S.V., Selin R.V., Antonyuk S.L.** Welding of high-strength titanium alloy T110 (Ukraine)

1.3. **Bondarev S.V.** Investigation of hydrophobic-hydrophilic properties of electrode covering components (Ukraine)

1.4. **Brumm S., Buerkner G., Kusch M.** Welding of unalloyed steels with GMAW process using thick wire electodes (Germany)

1.5. **Vladimirov A.V., Khabuzov V.A., Maksimov S.Yu., Lebedev V.A.** Digital synthesis of pulsed arc welding (Russia, Ukraine)

1.6. **Gavrish P.A., Tulupov V.I.** Improvement of preheating methods for copper to steel welding (Ukraine)

1.7. **Gaivoronsky A.A., Demchenko Yu.V., Panfilov A.I.** Technologies for welding repair of damaged members of metal structures of ore mining and processing equipment (Ukraine)

1.8. **Golovko V.V., Pokhodnya I.K.** Effect of morphology of non-metallic inclusions on formation of microstructure of the weld metal on high-strength low-alloy steels (Ukraine)

1.9. **Goncharov I.A.** Development of welding fluxes with predictable technological and metallurgical properties on the basis of structural and physical-chemical investigations (Ukraine)

1.10. **Goncharov S.N., Shalimov M.P.** Selection of procedures for evaluation of weldability of high-strength steels (Russia)

1.11. **Grigorieva E.G., Chinakhov D.A.** Possibility of using welding with double-jet gas shielding for repair of worn-out surfaces of parts (Russia)

1.12. **Grinberg B.A., Ivanov M.A., Rybin V.V., Patselov A.M., Besshaposhnikov Yu.P.** Explosion welding: processes and structures (Russia)

1.13. **Grin A.G., Boiko I.A.** Procedure for determination of composition of flux-cored wire (Ukraine)

1.14. **Grin A.G., Zolotopupova T.B.** Gas-shielded arc welding of aluminised steel (Ukraine)

1.15. **Demyanchenko A.A.** Control of structure of zones of welded joints on alloyed steels by using the adaptive pulsed technologies of welding (Russia)

1.16. **Elagin V.P., Gordan G.N.** On the mechanism of decreasing chemical and structural heterogeneity in the austenitic weld to low-carbon steel fusion zone (Ukraine)

1.17. **Zainulin D.I., Lebedev V.A., Maksimov S.V., Pichak V.G.** Unique system of equipment for automatic arc welding at large depths under the maximum limited conditions (Ukraine)

1.18. **Zakharov L.S., Gavrik A.R.** Development of the technology for welding of dissimilar joints on martensitic steel 10Kh9NMFB to austenitic chrome-nickel steels of the 08kh18n10t type (Ukraine)

1.19. **Ilyushenko V.M., Anoshin V.A., Bondarenko A.N., Maidanchuk T.B., Skorina N.V.** Development of electrode materials for welding and cladding of multi-component bronzes (Ukraine)

1.20. **Ilyushenko V.M., Ganchuk A.V., Lysenko V.A., Petrichenko V.N., Stepchenko D.N.** High-efficiency technology for welding of thick metal (Ukraine)

1.21. **Kabysh S.V., Esaulenko G.B., Menzheres M.G.** Peculiarities of formation of supermolecular structure of the joining zone in ultrasonic and thermal welding of crystalline polymeric sheets (Ukraine)

1.22. **Kassov V.D., Kushchij A.M.** Upgrading of the technology for surface preparation of metal structures of a complex volume-surface shape for repair welding (Ukraine)

1.23. **Kvasnitsky V.V., Kostin A.M., Labartkava A.V., Labartkava Al.V.** Peculiarities of brazing of cermet pressure seals (Ukraine)

1.24. **Kvasnitsky V.V., Markashova L.I., Kvasnitsky V.F., Koval N.N., Ivanov Yu.F., Uglov V.V., Cherenda N.N., Levchenko I.L.** Diffusion bonding of metals using radiation-beam technologies (Ukraine, Russia, Belarus)

1.25. **Kvasnitsky V.V., Markashova L.I., Kvasnitsky V.F., Koval N.N., Ivanov Yu.F., Uglov V.V., Cherenda N.N., Levchenko I.L.** Brazing of metals using radiation-beam technologies (Ukraine, Russia, Belarus)

1.26. **Korotynsky A.E.** Investigation of self-adjustment processes in resonance arc welding (Ukraine)

1.27. **Korotynsky A.E., Vertetskaya I.V., Shapka V.A.** Application of differential taylor transform in problems of investigation of processes occurring in nonlinear oscillatory circuit (Ukraine)

1.28. **Korotynsky A.E., Drachenko N.P., Shapka V.A.** Peculiarities of charging-discharging processes in super capacitors (Ukraine)

1.29. **Kulik V.M., Demchenko E.L., Vasiliev D.V., Elagin V.P.** New electrode materials for welding and cladding of high-strength and dissimilar steels (Ukraine)

1.30. **Labur T.M.** Increase in strength and toughness of welded joints on aluminium alloys (Ukraine)

1.31. **Lebedev V.A., Gedrovich A.I., Borodina K.V.** Electric-arc fusion welding of metal of small thickness (Ukraine)

1.32. **Lebedev V.A., Gedrovich A.I., Sysoev V.N.** Formation of welds in gas-shielded pulsed arc welding of beams (Ukraine)

1.33. **Lebedev V.A., Maksimov S.Yu., Lendel I.V.** Mathematical model of temperature fields and optimal parameters of deposited bead under controlled mechanical effects (Ukraine)

1.34. **Lebedev V.A., Maksimov S.Yu., Yaros Yu.A.** Power supply for mechanised metal arc welding of remote objects (Ukraine)

1.35. **Lebedev V.A., Plyushch D.V.** Technological reliability of mechanised welding equipment (Ukraine)

1.36. **Lebedev V.A., Sorokin M.S., Belov A.A.** Upgrading of principles of control of electrode metal transfer in arc welding with short circuits (Ukraine, Russia)

1.37. **Lobanov L.M., Timoshenko O.M., Goncharov P.V.** Technology and equipment for arc spot welding in vertical position (Ukraine)

1.38. **Matvienko M.V., Ermolaev G.V., Kvasnitsky V.V.** Infuence of slipping of dissimilar material surfaces being joined on the stress-strain state in vacuum diffusion welding with thermal cycling (Ukraine)

1.39. **Mayr P., Kusch M., Ebert L., Podlesak F.** Influence of plasma transfer arc welding with pulsed process gas feeding on welding metallurgy of cobalt based hardfacing alloys (Germany)

1.40. **Moravetsky S.I., Tsaryuk A.K., Skulsky V.Yu.** Certification of technology of welding combined rotors from steels 25Kh2NMFA + 20Kh3MVFA (EI415) for steam turbines (Ukraine)

1.41. **Nesterenko N.P., Galchun A.N., Kondratenko V.Yu., Skok A.G.** On effectiveness of application of pneumatically driven machine for butt welding of up to 400 mm diameter pipes from crystal-amorphous polymers (Ukraine)

1.42. **Nesterenko N.P., Dyachenko S.M., Senchenkov I.K.** Technology and equipment for ultrasonic welding of heat-resistant composite materials applied in automotive and aircraft construction (Ukraine)

1.43. **Nesterenko N.P., Korab N.G., Galchun A.N.** Experimental-theoretical investigation of laser welding of thin polyethylene films (Ukraine)

1.44. **Nesterenko N.P., Mineev E.A.** Features of welding pipes from unplasticized polyvinylchloride (Ukraine)

1.45. **Paton B.E., Saraev Yu.N., Lebedev V.A.** Prospects for development and practical application of pulsed welding and surfacing technologies to improve operating reliability of critical metal structures (Ukraine, Russia)

1.46. **Paton B.E., Yushchenko K.A., Lychko I.I., Suprun S.A., Kozulin S.M., Klimenko A.A.** Investigation of the processes of formation of welded joint metal in electroslag welding with wire electrodes (Ukraine)

1.47. **Pentegov I.V., Sidorets V.N., Rymar S.V., Zhernosekov A.M.** Influence of modern arc power sources on the mains (Ukraine)

1.48. **Pismennii A.S., Pismennii A.A., Prokofjev A.S., Gubatyuk R.S.** Investigation and development of experimental technology and equipment for heat treatment of welds of railway rails (Ukraine)

1.49. **Pismennii A.S., Polukhin V.V., Polukhin Vl.V., Gubatyuk R.S.** Experimental technologies and equipment for seam welding and braze-welding of thin-walled pipes from high-strength steels by high-frequency currents (Ukraine)

1.50. **Porokhonko V.B., Protokovilov I.V., Nazarchuk A.T., Petrov D.A., Babich L.M.** Electroslag welding of titanium alloys with pulsed electromagnetic impact (Ukraine)

1.51. **Pokhmurska H., Wielage B., Lampke T., Rupprecht Ch.** Overview lecture about research trends for ts-processes (Germany)

1.52. **Pokhodnya I.K., Ignatenko A.V., Paltsevich A.P., Sinyuk V.S.** Hydrogen-induced cold cracks in welded joints of hsla steels (Ukraine)

1.53. **Psakhtje S.G., Yushchenko K.A., Saraev Yu.N., Kakhovsky Yu.N., Bezborodov V.P.** Establishing scientific fundamentals of development of multimodal welding consumables and pulsed technologies to produce permanent joints and fused coatings with multiscale structure for items operating in extreme north and arctic regions (Russia, Ukraine)

1.54. **Razmyshlayev A.D., Mironova M.V., Yarmonov S.V., Vydymysh P.A.** Improvement of effectiveness of processes of arc welding and surfacing under the impact of controlling magnetic fields (Ukraine)

1.55. **Reznichenko M.K., Kalin M.K., Izotova K.O.** New methods of cold welding of cast iron by low-carbon materials (Ukraine)

1.56. **Semyonov A.P., Krivtsun I.V., Demchenko V.F.** Simulation of the processes of melting and fusion of electrode metal in consumable electrode welding (Ukraine)

1.57. **Sineok A.G., Gerasimenko A.M., Ryabokon V.D., Ryabtsev K.V., Brichak V.V., Tolsty S.N.** Modern welding technologies at enlargement and mounting of the arch metal structures of podol bridge in Kiev (Ukraine)

1.58. **Sineok A.G., Gerasimenko A.M., Ryabokon V.D., Ryabtsev K.V., Gotsulyak A.A.** Development of technologies of welding weather-resistant rolled stock of strength classes 355–500 MPa (Ukraine, Poland)

1.59. **Skuba T.G., Kolyada V.A., Dolinenko V.V., Shapovalov E.V.** Development of simulation model of robotic multipass MIG/MAG welding for experimental investigations of the influence of schematics and modes of making the welds on stress-strain states (Ukraine)

1.60. **Ternovoj E.G., Shulym V.F., Lankin Yu.N.** Repair of fragments of the case of internatonal space station with application of electron beam welding (Ukraine)

1.61. **Ustinov A.I., Melnichenko T.V., Falchenko Yu.V., Petrushinets L.V.** Electron beam methods to produce nanostructured foils and their application in welding of difficult-to-weld materials (Ukraine)

1.62. **Ustinov A.I., Telichko V.A., Demchenkov S.A., Bruckmueller C., Hancic A.** EB PVD technology of producing functional quasicrystalline coatings and their properties (Ukraine, Austria, Slovenia)

1.63. **Kharchenko G.K., Rudenko M.N., Novomlinets O.O., Khomenko M.O.** Generation of electric potential on the surface of metal samples at self-propagating high-temperature synthesis in nanolayered foils (Ukraine)

1.64. **Khorunov V.F., Maximova S.V.** Vacuum brazing of multilayer thin-walled structures (Ukraine)

1.65. **Khorunov V.F., Maximova S.V., Myasoed V.V., Voronov V.V.** Formation of brazed joints based on Ni_3Al (Ukraine)

1.66. **Tsaryuk A.K., Ivanenko V.D., Dunaevskaya N.I.** Repair technology for extension of service life of boilers of operating HPP power units (Ukraine)

1.67. **Tsaryuk A.K., Kasatkin O.G., Skulsky V.Yu., Moravetsky S.I., Gavrik A.R.** Technology of welding from one side clad pipelines of primary coolant circuit of NPP power units (Ukraine)

1.68. **Chinakhov D.A.** Investigation of the influence of shielding gas jet on heat distribution in the consumable electrode welding zone (Russia)

1.69. **Chinakhov D.A., Zuev A.V.** Consumable electrode welding with double-jet gas shielding (Russia)

1.70. **Shapka V.A.** Selection of the structure of driving genreator for operation of HFMP actuator (Ukraine)

1.71. **Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Lukashenko A.G.** Laser welding of expansion bellows (Ukraine)

1.72. **Sholokhov M.A., Fiveiskii A.M., Buzorina D.S.** Investigation of the influence of technological parameters on formation of near-wall bead in gas-shielded multipass welding (Russia)

1.73. **Sholokhov M.A., Fiveiskii A.M., Melnikov A.Yu.** Twin-arc welding and its practical implmentation (Russia)

1.74. **Yushchenko K.A., Gakh I.S., Zadery B.A., Zvyaginsteva A.V., Karasevskaya O.P.** Metallurgical and technological issues of welding and repair of single-crystal blades from high-strength nickel alloys (Ukraine)

1.75. **Yushchenko K.A., Kushnareva T.N., Mazurak V.E.** Results of investigation of producing high-temperature nickel alloy joints by reaction-diffusion process (Ukraine)

1.76. **Turyk E., Czwornog B., Zydzik-Bialek A.** Welding works in repair of the «Arbeit macht frei» inscription elements of the entrance gate to the former german nazi concentration and extermination camp Auschwitz I

2. STRENGTH OF WELDED JOINTS AND STRUCTURES, THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF STRESS-STRAIN STATES AND THEIR CONTROL

2.1. **Balytsky O.I., Novatsky Ye., Kostyuk I.F., Vus O.B., Skolozdra O.S.** Performance of high-nitrogen steels and their welded joints after long service in hydrogen (Poland, Ukraine)

2.2. **Boyko I.A., Grin A.G., Lysak V.K.** Methods of determination of hot hardness of metal (Ukraine)

2.3. **Galtsov I.A., Kalenskaya A.V., Tkachenko S.A., Tkachenko A.N.** Control of residual welding stresses during welding of clad steel 09G2S + 08Kh18N10T (Ukraine)

2.4. **Gachkevich O.R., Astashkin V.I., Kozakevich T.V., Ravska-Skotnichni A.** Phase composition and residual stresses in thin steel plates during preheating using moving heat sources (Ukraine, Poland)

2.5. **Denisov L.S.** Investigation of formation of defectiveness of welded joints (Belarus)

2.6. **Dzyubik A., Palash V.** Residual strength of main pipelines of high-strength steels (Ukraine)

2.7. **Dmitrik V.V., BartashS.N.** Towards the mechanism of ageing of welded joints of steam pipelines (Ukraine)

2.8. **Dmitrik V.V., Sirenko T.A.** Mechanism of degradation of metal of welded joints of steam pipelines (Ukraine)

2.9. **Dub A.V., Durynin V.A., Razygraev A.N., Razygraev N.P., Lobanov L.M., Makhnenko O.V.** Ultrasonic testing, damageability and serviceablity of elements of collector welding to steam generator at NPP with WWER-1000 (Russia, Ukraine)

2.10. **Zankovets P.V., Sheleg V.K.** Influence of dominating factors on formation of welded joints under the conditions of single and small-series welding manufacturing (Belarus)

2.11. **Kvasnitsky V.V., Kolesar I.A., Kvasnitsky V.F., Ermolaev G.V., Labartkava A.V.** Investigation of influence of rigidity and strength of interlayer on stress-strain state at loading of welded and brazed components by axial load (Ukraine)

2.12. **Kleiman J., Kudryavtsev Yu.** Application of ultrasonic peening in industry (Canada)

2.13. **Klochkov I.N., Berezin I.V., Berezin O.V.** Increase of life of welded joints of thin-sheet aluminium alloys using high-frequency mechanical peening (Ukraine)

2.14. **Knysh V.V., Solovey S.A., Kuzmenko A.Z.** Increase of cyclic life of welded joints of in-service metal structures using high-frequency mechanical peening (Ukraine)

2.15. **Kolomiytsev E.V.** Improvement of service life of changeable equipment and welded structures of open-hearth shop (Ukraine)

2.16. **Kolomiytsev E.V.** Fatigue and corrosion-fatigue strength and life of welded joints of steel 12Kh18N10T (Ukraine)

2.17. **Kolomiytsev E.V., Serenko A.N.** Increase of life and fatigue strength of welded structures by surface plastic treatment (Ukraine)

2.18. **Kolot O.V., Tkachenko S.O., Tkachenko O.M.** Vibro-treatment as a reserve of quality improvement of metal structures (Ukraine)

2.19. **Kuzmenko D.Yu., Prosnitsky V.G., Makhnenko O.V., Demchenko Yu.V.** All-welded wheels of agglomeration blowers N7500, N6500 (Ukraine)

2.20. **Kushnir R.M., Drobenko B.D.** Assessment of stressed state and service life of elements of power units of 200 MW (Ukraine)

2.21. **Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Savitsky V.V., Tkachuk G.I., Lysak V.V.** Determination of residual stresses in welded T-joints of titanium alloy VT-20 applying method of electron speckle-interferometry (Ukraine)

2.22. **Markashova L.I., Kushnareva O.S.** Investigation of correlation of structure with mechanical properties of welded joints of aluminium-lithium alloy (Ukraine)

2.23. **Markashova L.I., Poznyakov V.D., Berdnikova E.N., Alekseenko T.A., Maksimenko A.A.** Welded joints of high-strength steels under in-service conditions (Ukraine)

2.24. **Markashova L.I., Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Kushnareva O.S., Bernatsky A.V.** Structure and mechanical properties of structural steel surface layers forming under conditions of laser and laser-plasma alloying (Ukraine)

2.25. **Makhnenko V.I., Velikoivanenko E.A., Rozynka G.F., Pivtorak N.I.** Mathematical models of tough fracture of welded structures based on mechanism of pores formation (Ukraine)

2.26. **Makhnenko O.V., Mirzov I.V.** Investigation of stress-strain state of inner-body devices on the example of baffle plate of reactor WWER-1000 (Ukraine)

2.27. **Medvedev S.V., Klimov K.A.** Prediction supercomputer modeling of processes of fracture of critical welded structures (Belarus)

2.28. **Medvedev S.V., Chizh O.P.** Constructive-technological designing of welded structure with application of supercomputer facilities of national grid-network (Belarus)

2.29. **Milenin A.S.** Methodological bases of planning of repair of main pipelines without service interruption (Ukraine)

2.30. **Mutas V.V., Netrebsky M.A., Rabkina M.D.** Method of assessment of stress-strain state of cylindrical structures, operating under internal pressure, with local surface defects (Ukraine)

2.31. **Nazarchuk Z.T., Skalsky V.P.** Methodological bases of identification of mechanisms of fracture of aluminium alloy welded joints by acoustic emission parameters (Ukraine)

2.32. **Nazarchuk Z.T., Skalsky V.P., Stankevich O.M., Lyasota I.M.** Identification of mechanisms of fractures of welded joints of alloy 1201-T by parameters of acoustic emission signals (Ukraine)

2.33. **Nekhotyashchiy V.A., Palienko A.L., Perepichaj A.A., Rabkina M.D.** Prediction of safe service of pressure vessels with account for magnetic inhomogeneity of metal (Ukraine)

2.34. **Nikiforchin G.M., Tsirulnik O.T., Zvirko O.I., Gredil M.I., Voloshin V.A.** Peculiarities of corrosion-hydrogen degradation of properties of welded joints of main gas pipelines (Ukraine)

2.35. **Panteleenko F.I., Snarsky A.S.** Ageing of welded critical structures and search for method of nondestructive assessment of metal resistance to impact action (Ukraine)

2.36. **Panfilov A.I.** Application of bimetal sheets SWIP for protection of technological equipment (Ukraine)

2.37. **Podgurskiy M.I., Tatarin B.P., Podgurskiy I.M.** Modeling of initiation and propagation of fatigue surface cracks in welded joints (Ukraine)

2.38. **Poznyakov V.D., Zhdanov S.L., Maksimenko A.A.** New structural steels for welded building metal structures (Ukraine)

2.39. **Radchenko M.V., Mandrov B.I.** Improvement of service life of containers by application of welded shells of polymeric materials (Russia)

2.40. **Royanov V.A., Korostashevsky P.V.** Investigation of formula of end edge bending of sheet panels by accounting for empiric coefficient of stickout length and sheet thickness (Ukraine)

2.41. **Sviridov A.V., Grin A.G.** Investigation of mechanical properties of welded joints on copper base (Ukraine)

2.42. **Khoma M.S.** Corrosion-mechanical fracture of pipe steels with welded joints in hydrogen sulphide environments (Ukraine)

2.43. **Yushchenko K.A., Kushnareva T.N., Mazurak V.A.** Results of investigations of producing joints of heat-resistant nickel alloys by reaction-diffusion method (Ukraine)

2.44. **Yushchenko K.A., Savchenko V.S., Zvyagintseva A.V., Chervyakov N.O., Tkach V.N.** Assessment of crystallographic anisotropy of elastic properties of weld metal of nickel alloys by using nanoindentation (Ukraine)

3. NONDESTRUCTIVE TESTING AND TECHNICAL DIAGNOSTICS

3.1. **Davydov E.A., Shekero A.L., Yukhimets P.S., Mikhovski M., Alexsiev A., Mirchev G.** Application of current ultrasonic testing technology LRUT for detection of corrosion damages of metal of main pipelines (Ukraine, Bulgaria)

3.2. **Karmanov M.N., Shalaev V.A.** Modular systems of digital radiation testing (Ukraine)

3.3. **Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Kiyanets I.V., Savitskiy V.V., Savitska O.M.** Non-destructive determination of diameters of nuggets of spot welded joints by electron shearography method using mechanical and thermal loading (Ukraine)

3.4. **Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Nekhotyashchiy V.A., Krotenko P.D., Shiyan K.V.** Prediction of failure pressure of pipes with corrosion defects using laser interferometry (Ukraine)

3.5. **Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Savitskaya E.M., Kiyanets I.V.** Quality control of welded titanium panels from VT-20 alloy using electron shearography method (Ukraine)

3.6. **Nedoseka A.Ya., Nedoseka S.A., Yaremenko M.A., Ovsienko M.A., Kharchenko L.F.** Acoustic-emission diagnostics of equipment of enterprises of power complex (Ukraine)

3.7. **Posypayko Yu.N.** Developments of the E.O. Paton Electric Welding Institute in area of control of leak-proofness of welded joints (Ukraine)

3.8. **Sorokin M.S., Belov A.A., Lebedev V.A.** System for automation and control of welding production (Russia, Ukraine)

3.9. **Troitskiy V.A., Belyi N.G., Bukhenskiy V.N., Mikhaylov S.R.** Fast digital X-ray-television system based on X-ray screens and CCD-cameras (Ukraine)

3.10. **Troitskiy V.A., Karmanov M.N., Gorbik V.M.** Diagnostic ultrasonic complexes «Universal-1P» and «Universal-2P» (Ukraine)

3.11. **Troitskiy V.A., Posypayko Yu.N.** Complex non-destructive testing of large volume welded reservoirs (Ukraine)

3.12. **Troitskiy V.A., Posypayko Yu.N., Agalidi Yu.S., Leviy S.V.** Magnetooptical flaw detection of near-surface layers of ferromagnetic parts (Ukraine)

3.13. **Uchanin V.M.** Eddy-current testing of welded joints (Ukraine)

3.14. **Shapovalov E.V., Kolyada V.A.** Development of upduting diagnostic equipment for mobile and removable means of automated testing of geometry of railway track (Ukraine)

3.15. **Shapovalov E.V., Galagan R.M., Klishchar F.S., Zapara V.I.** Experience of development of acoustic-emission system for testing of resistance spot welding (Ukraine)

3.16. **Shchupak S.A., Troitskaya N.V., Posypayko Yu.N., Shekero A.L.** New standards in area of non-destructive testing of welded joints (Ukraine)

4. SURFACE ENGINEERING

4.1. **Bezborodov V.P.** Main regularities of structure formation and properties of transition zone of compositions with coatings after high-temperature effect (Russia)

4.2. **Berezhnaya E.V.** Improvement of technology of electric contact hard-facing (Ukraine)

4.3. **Borisov Yu.S., Astakhov E.A., Ipatova Z.G., Yantsevich K.V., Kildiy A.I.** Improvement of corrosion resistance of detonation coating of Fe–Cr–SiC composite powders, produced by mechanical-chemical synthesis (Ukraine)

4.4. **Borisov Yu.S., Voynarovich S.G., Kislitsa A.N., Kuzmich-Yanchuk E.K.** Microplasma spraying of biocompatible titanium coatings (Ukraine)

4.5. **Borisov Yu.S., Demyanov I.A., Vigilyanskaya N.V.** Electric arc spraying of coatings with a pseudoalloy structure (Ukraine)

4.6. **Borisov Yu.S., Kuznetsov M.V., Volos A.V., Zadoya V.G., Strelchuk V.V., Kladko V.P., Gorban V.F.** Magnetron sputtering of super-hard nanocomposite nc-TiC/a-c coatings (Ukraine)

4.7. **Borisov Yu.S., Kuznetsov M.V., Volos A.V., Zadoya V.G., Strelchuk V.V., Kladko V.P., Gorban V.F.** Magnetron sputtering of nanocomposite CN_x coating (Ukraine)

4.8. **Borisov Yu.S., Murashov A.P., Grishchenko A.P.** Development and investigation of effectiveness of system of shielding the plasma jet with sprayed material from interaction with environment (Ukraine)

4.9. **Borisov Yu.S., Murashov A.P., Grishchenko A.P., Vigilyanskaya N.V.** Investigation of heat-protective properties of gradient coatings (Ukraine)

4.10. **Borisov Yu.S., Rupchev V.L., Burlachenko A.N., Borisova A.L., Adeeva L.I., Tunik A.Yu.** Composite powders Fe–Cr–SiC for thermal spraying, produced by MChS. Structure and properties (Ukraine)

4.11. **Borisova A.L., Burlachenko A.N., Grishchenko A.P., Ipatova Z.G., Tsymbalistaya T.V., Yantsevich K.V.** Heat-protective and corrosion properties of plasma coatings of complexly-alloyed alloy on AlCu–Fe base, containing a quasi-crystalline phase (Ukraine)

4.12. **Bykovsky O.G., Lapteva A.N.** Thermal state and fraction composition of particles in plasma spraying with current-carrying wire (Ukraine)

4.13. **Voinarovich S.G., Kuzmich-Yanchuk E.K., Kislitsa A.N., Kalyuzhnyi S.N., Masyuchok O.P., Glukhovsky V.Yu.** Microplasma resistive coatings, produced of titanium dioxide powder for application in electric heaters (Ukraine)

4.14. **Volkov D.A., Koshevoy A.D.** Effect of roughness of part surface on adhesion strength in electric contact surfacing (Ukraine)

4.15. **Gaivoronsky A.A., Klapatyuk A.V., Shishkevich A.S., Gritsaj V.Ya.** Technology of surfacing restoration of wheel tires of high-speed passenger transport (Ukraine)

4.16. **Dragan S.V., Goloborodko Zh.G., Simutenkov I.V.** Automatic submerged arc surfacing with transverse high-frequency oscillations of electrode (Ukraine)

4.17. **Dubovoy O.M., Karpechenko A.A., Bobrov M.M.** Effect of electric pulses on structure and hardness of electric arc coatings (Ukraine)

4.18. **Evdokimov A.I., Kuskov Yu.M.** Assessment of operation of water-air injector under conditions of electroslag surfacing of high-carbon materials (Ukraine)

4.19. **Korobov Yu.S., Filippov M.A., Legchilo V.V., Khudorozhkova Yu.V., Verkhorubov V.S.** Influence of metastable chromium austenite on the properties of materials deposited by surfacing and spraying (Russia)

4.20. **Korobov Yu.S., Filippov M.A., Nevezhin S.V., Rimer G.A.** High-temperature coatings from flux-cored wires (Russia)

4.21. **Kostin A.M., Butenko A.Yu.** Development of high-temperature wear-resistant material for strengthening of band flanges of gte blades (Ukraine)

4.22. **Kuzmenko O.G., Lentyugov I.P.** Development of materials for wear-resistant surfacing using grinding wastes of high-speed steel (Ukraine)

4.23. **Kuzmich-Yanchuk E.K., Borisov Yu.S., Voynarovich S.G., Kislitsa A.N., Tunik A.Yu.** Reactive laser-plasma spraying of coatings on titanium base in the medium of active gas mixture H_2 + CH_4 (Ukraine)

4.24. **Lankin Yu.N., Ryabtsev I.A., Chernyak Ya.P., Solovjev V.G., Semikin V.F., Osechkov P.P., Zhdanov V.A.** Experimental investigations of electric condition parameters of automatic submerged arc, open arc and shielded-gas surfacing (Ukraine)

4.25. **Makarenko N.A.** Development of slag system of flux-cored flattened wire for plasma-MIG surfacing of aluminium alloys (Ukraine)

4.26. **Markashova L.I., Tyurin Yu.N., Kolisnichenko O.V., Valevich M.L., Bogachev D.G.** Structural-phase state of working surfaces of parts from high-strength cast iron after pulse-plasma treatment (Ukraine)

4.27. **Orlov L.N., Golyakevich A.A.** Restoration surfacing of metallurgical equipment components with flux-cored wires in «TM.VELTEK Ltd.» (Ukraine)

4.28. **Paustovsky A.V., Tkachenko Yu.G., Alfintseva R.A., Kirilenko S.N., Yurchenko D.Z.** Development of electrode materials for electric spark strengthening and restoration of worn-out surfaces (Ukraine)

4.29. **Peremitko V.V.** Improvement of service life of running gear parts of road machines (Ukraine)

4.30. **Pereplyotchikov E.F.** Experience of application of plasma-powder surfacing in valves and engine manufacture (Ukraine)

4.31. **Plis S.G.** Effect of surfacing conditions and diameter of flux-cored wire on characteristics of its melting (Ukraine)

4.32. **Presnyakov V.A.** Improvement of method of electric contact surfacing by flux-cored wire and strip (Ukraine)

4.33. **Prilutsky V.P., Shvab S.L., Radkevich I.A., Akhonin S.V., Antonyuk S.L.** Restoration of properties of worn-out surface of airplane elements of titanium alloy VT22 by using the argon-arc surfacing (Ukraine)

4.34. **Radchenko V.G., Radchenko M.V., Shevtsov Yu.O., Radchenko T.B.** Development of technology of supersonic gas-powder surfacing for solution of problem of wear of parts of machines and mechanisms (Russia)

4.35. **Senchenkov I.K., Ryabtsev I.A., Chervinko O.P., Ryabtsev I.I., Babinets A.A.** Calculated-experimental method of assessment of life of surfaced parts operating under conditions of cyclic thermal and mechanical loads (Ukraine)

4.36. **Sukhovaya E.V.** Composite materials for furnace method of surfacing (Ukraine)

4.37. **Shabliy O.M., Pulka Ch.V., Gavrilyuk V.Ya., Senchishin V.S., Grusha V.Ya.** New technological processes of induction surfacing of thin shaped discs (Ukraine)

5. SPECIAL ELECTROMETALLURGY

5.1. **Anakhov S.V., Pykin Yu.A., Matushkin A.V.** Environmental principles of designing of electroplasma equipment (Russia)

5.2. **Akhonin S.V., Berezos V.A., Korniychuk V.D., Pikulin A.N., Severin A.Yu.** Electron-beam technologies of obtaining of ingots of titanium-based alloys (Ukraine)

5.3. **Asnis E.A., Piskun N.V., Statkevich I.I., Baranskii P.I., Babich V.M.** Nitrogen alloying of silicon crystals in process of their growing by electron beam crucibleless zone melting method (Ukraine)

5.4. **Asnis E.A., Piskun N.V., Statkevich I.I., Baranskii P.I., Babich V.M.** Electron beam crucibleless zone melting of silicon using heat shield (Ukraine)

5.5. **Biktagirov F.K., Reyda N.V., Shapovalov V.A., Efimov V.M., Selyutin A.A., Padalka V.G.** Electroslag heating and hot topping of discard of large ingots of 200–400 t mass (Ukraine)

5.6. **Biktagirov F.K., Shapovalov V.A., Gnatushenko A.V., Ignatov I.P.** Electroslag melting of noncompact waste of copper and aluminum alloys (Ukraine)

5.7. **Vlasov A.F.** Intensification of electroslag processes (Ukraine)

5.8. **Piptyuk V.P., Krikent I.V., Samokhvalov S.E., Logozinskiy I.N., Polyakov V.A., Grekov S.V.** Estimation of value and effect of electromagnetic forces on pool stirring of ladle furnace unit of alternating current (Ukraine)

5.9. **Polishko A.A., Saenko V.Ya., Stepanyuk S.N., Tunik A.Yu., Klochkov I.N.** Transformation of non-metallic inclusions in the process of electroslag remelting and electroslag surfacing with liquid metal of high-alloy steel of AISI of type 316 (10Kh17N14M2) (Ukraine)

5.10. **Protokovilov I.V., Petrov D.A., Nazarchuk A.T., Babich L.M.** Magnetically controlled electroslag melting of titanium nickelide (Ukraine)

5.11. **Tsvetkov Yu.V., Nikolaev A.V., Samokhin A.V.** Plasma processes in metallurgy and technology of inorganic materials (Russia)

5.12. **Shapovalov V.A., Sheyko I.V., Nikitenko Yu.A.** Technology and equipment for manufacture of alloys with liquid-like and microcrystalline structure (Ukraine)

5.13. **Shapovalov V.A., Yakusha V.V., Gnizdylo A.N.** Super large profiled single-crystals of tungsten and molybdenum (plasma-induction method) (Ukraine)

6. PROBLEMS OF WELDING IN MEDICINE. ECOLOGY, CERTIFICATION AND STANDARDIZATION OF WELDING MANUFACTURING

6.1. **Bondarenko Yu.K., Loginova Yu.V., Artyukh K.O.** Problems of increase of quality of technical services during assembly and diagnostics in power engineering with the purpose of providing of safety of welded structure (Review) (Ukraine)

6.2. **Kudlaj E.N., Yakimov D.Yu., Shkaboj N.A.** High-frequency electric welding technology in gynecological ward of central clinical hospital of SS of Ukraine (Ukraine)

6.3. **Lankin Yu.N., Bajshtruk E.N., Kunkin D.D., Osechkov P., Romanova I.Yu., Semikin V.F., Solovjev V.G., Sushy L.F.** Experimental study of the process of resistance welding of biological tissues as an object of automatic regulation (Ukraine)

6.4. **Levchenko O.G., Levchuk V.K., Goncharova O.M.** Methods of providing of electromagnetic safety for operators of resistance spot welding machines (Ukraine)

6.5. **Levchenko O.G., Lukyanenko A.O.** Normalization of concentration of hazardous substances on working stations for manual arc welding (Ukraine)

6.6. **Lipodaev V.N., Zelnichenko A.T.** Journal «Avtomaticheskaya Svarka» (Automatic Welding) at current stage (Ukraine)

6.7. **Lurin I.A., Vilchinsky A.I., Melnichenko L.M., Yakimov D.Yu., Okhonko O.V.** Our experience of application and prospects of HF electric welding in otolaryngology under the conditions of Central Hospital of Military Medical Administration of Security Service of Ukraine (Ukraine)

6.8. **Lurin I.A., Okhonko O.V., Makarov G.G., Titomir I.A., Gladishenko O.I.** Application of the method of live tissue welding in laparoscopic apendectomy (Ukraine)

6.9. **Lurin I.A., Yakimov D.Yu., Titomir I.A., Makarov G.G., Okhonko O.V., Gladyshenko A.I.** Experience of application and prospects for development of electric welding technologies in surgery (Ukraine)

6.10. **Mazur A.A.** Economic problems of welding and related technologies (Ukraine)

6.11. **Paton B.E., Kaleko D.E.** R&D of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine on application of shape memory alloys for implants and surgical tools (Ukraine)

6.12. **Protsenko P.P.** System for professional training of qualified welders based on competence approach (Ukraine)

6.13. **Furmanov Yu.A., Savitskaya I.M., Gejlenko O.A., Terekhov G.V.** Alternative methods of welding live tissues by plasma-argon and thermojet processes (Ukraine)

ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

TECHNOLOGY, MATERIALS AND EQUIPMENT FOR WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ НА ПРОТЕКАНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. *В.В. Башенко, К.А. Охапкин (Санкт-Петербургский гос. политехн. ун-т, Санкт-Петербург, Россия).* Точечная сварка трением пластичных металлов протекает без расплавления (в твердой фазе). Процесс реализуется в два этапа. На первом этапе инструмент, вращаясь, погружается в металл верхней заготовки. На втором происходит приложение нагрузки опорного бурта к верхней заготовке.

На основании анализа литературных данных можно заключить, что механизм образования соединения при точечной сварке трением можно рассматривать с позиции трехстадийности (образование физического контакта, активация и схватывание контактных поверхностей и объемное взаимодействие).

Цель настоящей работы — выявить влияние основных конструктивно-технологических параметров на протекание стадии объемного взаимодействия.

Для исследования стадии объемного взаимодействия заготовок были выбраны три основных параметра режима, которые оказывают наибольшее влияние на формирование свойств соединения на этапе приложения нагрузки: температура процесса (от 340 до 410 °С), сварочное усилие (усилие прижатия опорного бурта — от 1 до 3 кН) и время выдержки (прижатого опорного бурта — от 5 до 30 с).

В качестве материала для исследований был выбран деформируемый алюминиевый сплав марки АД31, упрочняемый термической обработкой.

Усилие, передаваемое через опорный бурт инструмента, при сварке во всех случаях оказывает однозначное влияние. При увеличении усилия прочность точки возрастает. Время выдержки неоднозначно влияет на прочность сварной точки. Так, при начальной температуре процесса 340 °С увеличение времени выдержки приводит к росту прочности. При начальной температуре 410 °С, напротив, происходит снижение прочностных характеристик сварной точки.

Начальная температура процесса также оказывает неоднозначное влияние на прочность сварной точки. Тенденция, наблюдаемая при исследовании влияния времени выдержки, однако, сохраняется. В случае начальной температуры 410 °С значения прочностных характеристик падают с увеличением времени выдержки.

Неоднозначность влияния температуры процесса и времени выдержки на прочность сварной точки связана с изменениями структуры сплава АД31. Поэтому для выбора параметров режима (обеспечивающих достаточную стабильность структуры и допустимое снижение свойств соединения) проведено исследование влияния температурно-временных условий нагрева и охлаждения при точечной сварке трением на структуру и свойства сплава АД31. Показано, что температура нагрева заготовок для сохранения структурной стабильности сплава не должна превышать 350 °С.

Таким образом, для возможно полного протекания стадии объемного взаимодействия необходимо при температуре 350 °С обеспечить максимально возможное усилие прижатия опорного бурта в течение времени выдержки, обеспечивающем допустимое повреждение металла верхней заготовки.

EFFECT OF MAIN DESIGN-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SPOT FRICTION WELDING ON VOLUMETRIC INTERACTION. *V.V. Bashenko, K.A. Okhapkin (St.-Petersburg State Polytechnic University, St.-Petersburg, Russia).* Spot friction welding of ductile materials occurs without melting (in solid state). The process is implemented in two stages. At the fist stage the tool, while rotating, is plunged into metal of the upper billet. At the second stage the load by the bearing shoulder is applied to the upper billet.

Analysis of literature data allows a conclusion that the mechanism of formation of a joint in spot friction welding can be considered to be the three-stage one (formation of physical contact, activation and seizure of the contact surfaces, and volumetric interaction).

The purpose of this study was to reveal the effect of the main design-technological parameters on occurrence of the stage of volumetric interaction.

Three main process parameters exerting the highest effect on formation of properties of the joint at the load application stage were selected to investigate the stage of volumetric interaction: process temperature (340–410 °C), welding force (force of pressing of the bearing shoulder — from 1 to 3 kN), and time of holding (of the pressed bearing shoulder — from 5 to 30 s).

Wrought aluminium alloy of the AD31 grade strengthened by heat treatment was chosen as the investigation material. The force transferred through the bearing shoulder of the tool exerts the unambiguous effect during welding in all the cases. Strength of the weld spot grows with increase in the force.

The time of holding has an ambiguous effect on strength of the weld spot. For example, increase in the time of holding at an initial process temperature of 340 °C leads to growth of the strength value. And at an initial process temperature of 410 °C, on the contrary, strength characteristics of the weld spot decrease.

The initial process temperature also exerts the ambiguous effect on strength of the weld spot. However, the trend observed in investigation of the effect of the time of holding does persist. In the case of an initial temperature of 410 °C the values of the strength characteristics fall with increase in the time of holding.

Ambiguity of the effect of the process temperature and holding time on strength of the weld spot is related to changes in structure of alloy AD31. Therefore, investigations of the effect of the temperature-time parameters of heating and cooling in spot friction welding on structure and properties of alloy AD31 were carried out to choose the process conditions providing the sufficient stability of structure and permissible decrease in properties of the joint. It was shown that the temperature of heating of the billets should not exceed 350 °C in order to preserve structural stability of the alloy.

Therefore, for the most complete occurrence of the stage of volumetric interaction at a temperature of 350 °C it is necessary to provide the maximum possible force of pressing of the bearing shoulder during the holding time to ensure the permissible damage of metal of the upper billet.

СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА Т110. *В.Ю. Белоус[1], С.В. Ахонин[1], Р.В. Селин[1], С.Л. Антонюк[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]АНТК им. О.К.*

WELDING OF HIGH-STRENGTH TITANIUM ALLOY Т110. *V.Yu. Belous[1], S.V. Akhonin[1], R.V. Selin[1], S.L. Antonyuk[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]O.K. Antonov Aeronautical Scien-*

Антонова, Киев, Украина). В ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины совместно с АНТК им. О.К. Антонова разработан новый высокопрочный титановый сплав Т110 системы Ti–5,5Al–1,2Mo–1,2V–4Nb–2Fe–0,5Zr. Разработанный сплав по своим служебным характеристиками не уступает сплавам ВТ22 и ВТ23. Изучены свойства сварных соединений толщиной 7 мм, выполненных электронно-лучевой сваркой (ЭЛС), аргонодуговой сваркой (АДС) со сквозным проплавлением, АДС по слою флюса, АДС в разделку кромок с подачей присадочной проволоки СП15, а также сварные соединения толщиной 13 мм, выполненные лазерной и лазерно-дуговой сваркой без подачи присадочной проволоки. Показано, что сплав Т110 имеет хорошую свариваемость. Соединения, выполненные ЭЛС, не уступают по прочности основному металлу. Прочность соединений после АДС составляет не меньше 90–95 % прочности основного металла. Возможно применение термической обработки для повышения уровня механических свойств сварных соединений сплава Т110. Наибольшую пластичность сварных соединений сплава Т110 обеспечивает АДС в разделку кромок с подачей менее легированной присадочной проволоки СП15. Лазерно-дуговая сварка обеспечивает большую проплавляющую способность сравнительно с одной лишь лазерной сваркой и позволяет получать сварные соединения высокопрочного титанового сплава Т110 с более широким комплексом механических характеристик и меньшими внутренними напряжениями по сравнению с лазерно-дуговой сваркой. Отмечено, что в зоне термического влияния (ЗТВ) сварных соединений, выполненных одной лишь лазерной сваркой на скоростях сварки 20–24 м/ч, отсутствует участок крупного зерна, что приводит к снижению ударной вязкости металла в ЗТВ. АДС по слою флюса обеспечивает наибольшие значения ударной вязкости металла шва и ЗТВ сварных соединений сплава Т110 без применения присадочного материала.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОФОБНО-ГІДРОФІЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТТІВ. *С.В. Бондарев (Донбаська держ. машинобуд. акад., Краматорськ, Україна)*. Волога в електродних покриттях є основним джерелом водню в металі шва при ручному дуговому зварюванні. При зварюванні електродами зі зволоженим покриттям в атмосфері дуги з'являються пари води, дисоціації яких супроводжуються появою атомарного водню. У цьому випадку рідкий метал на фронті кристалізації може бути пересичений молекулярним воднем. У зв'язку з повільним ростом пухирців метал, що кристалізується, їх зафіксує, і у зварних швах з'явиться пористість.

Були проведені експерименти по визначенню гідрофобно-гідрофільних властивостей компонентів електродних покриттів. Темплети для дослідження витримувалися в камері штучного клімату при вологості 80 %. Після визначення кількості поглиненої вологи було встановлено, що металеві порошки й деякі мінерали є гідрофобними, однак більша частина рудомінералів і практично всі органічні компоненти є гідрофільними: ільменитовий концентрат, марганцева руда, тальк, гліцерин, поташ, магнезит, доломіт, а також целюлоза, крохмаль, кальцинована сода й альгинат кальцію. У випадку металевих порошків практично вся волога припадає на її гігроскопічну фракцію. Причому через незначний зміст її можна не розглядати як джерело зволоження електродного покриття. До групи практично гідрофобних компонентів відноситься також перовскитовий і рутиловий концентрати. Марганцева руда, тальк, кальцинована сода й поташ є чітко вираженими

tific-and-Technical Complex, Kiev, Ukraine). The E.O. Paton Electric Welding Institute in collaboration with the O.K. Antonov Aeronautical Scientific-and-Technical Complex developed new high-strength titanium alloy T110 of the Ti–5.5Al–1.2Mo–1.2V–4Nb–2Fe–0.5Zr system. The new alloy is not inferior in its service properties to alloys VT22 and VT23. Properties of the 7 mm thick welded joints made by electron beam welding (EBW), argon-arc welding (AAW) with through penetration, AAW over the flux layer, AAW with groove preparation and filler wire SP15, as well as of the 13 mm thick welded joints made by laser and laser-arc welding without filler wire were investigated. It was shown that alloy T110 has good weldability. The joints made by EBW are not inferior in strength to the base metal. Strength of the AAW joints is not less than 90–95 % of strength of the base metal. The level of mechanical properties of the welded joints on alloy T110 can be increased by heat treatment. The highest ductility of the welded joints on alloy T110 is achieved in AAW with groove preparation by feeding a less alloyed filler wire of the SP15 grade. Laser-arc welding features a higher penetrating power compared to laser welding. It provides the welded joints on high-strength titanium alloy T110 with a wider set of mechanical properties and lower internal stresses, compared to laser welding. It was found that the heat-affected zone (HAZ) of the welded joints made by laser welding at a speed of 20–24 m/h contains no coarse-grained region, this leading to decrease in impact toughness of the HAZ metal. AAW over the flux layer provides the highest values of impact toughness of the weld and HAZ metals of the welded joints on alloy T110 using no filler material.

INVESTIGATION OF HYDROPHOBIC-HYDROPHILIC PROPERTIES OF ELECTRODE COVERING COMPONENTS. *S.V. Bondarev (Donbas State Mechanical Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine)*. Moisture in electrode coverings is the main source of hydrogen in the manual arc weld metal. Welding by using electrodes with a moistened covering leads to formation of water vapours in the arc atmosphere. Dissociation of these vapours is accompanied by formation of atomic hydrogen. In this case the molten metal at the solidification front may be oversaturated with molecular hydrogen. Because of a slow growth of bubbles, the solidifying metal will fix them, and the welds will have pores.

Experiments were carried out to determine hydrophobic-hydrophilic properties of the electrode covering components. The templates for investigations were held in an artificial climate chamber at the 80 % humidity. As found by evaluating the amount of the absorbed moisture, metal powders and some minerals are hydrophobic. However, the major part of ore minerals and practically all organic components are hydrophilic: ilmenite concentrate, manganese ore, talc, glycerine, potash, magnesite, dolomite, as well as cellulose, starch, soda ash, and calcium alginate. In case of metal powders, almost all moisture is contained in its hygroscopic fraction. Because of its insignificant content, it is possible to ignore it as a source of moistening of an electrode covering. The group of practically hydrophobic components also includes perofskite and rutile concentrates. Manganese ore, talc, soda ash and potash are clearly defined as hydrophilic components. Other ore minerals, chemicals and some other

гідрофільними компонентами. Інші рудомінерали, хімікати й деякі інші компоненти займають проміжне положення при змісті сумарної вологи 0,2–0,85 % і частки гігроскопічної вологи 40–90 %. Органічні й полімерні компоненти становлять дві групи, що чітко різняться: практично негігроскопічні — зі змістом вологи до 0,2 % (полімери), гігроскопічні й гідрофільні — зі змістом її понад 5 % (органіка).

Таким чином, в ході проведених досліджень гігроскопічних властивостей різних компонентів електродних покриттів було встановлено, що найбільша кількість вологи, що поглинається електродним покриттям, припадає на частку марганцевої руди, тальку, кальцинованої соди й поташу.

components take an intermediate position, their total moisture content being 0.2–0.85 %, and the hygroscopic moisture content being 40–90 %. Organic and polymeric components make up two, clearly different groups: practically non-hygroscopic with a moisture content of up to 0.2 % (polymers), and hygroscopic and hydrophilic with a moisture content of over 5 % (organic).

Therefore, as established as a result of investigations of hygroscopic properties of different electrode covering components, manganese ore, talc, soda ash and potash feature the highest content of moisture absorbed by an electrode covering.

ДУГОВАЯ СВАРКА НЕЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОВОЛОК БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА. *С. Брумм[1], Г. Буэркнер[1], М. Куш[2] ([1]Ин-т металлообрабатывающий станков и производственных процессов, Технический ун-т Хемниц); ([2]Ин-т технологии соединения и сборки, Технический ун-т Хемниц).* В настоящее время длинные швы больших сечений, типичные для стальных конструкций, получают, в основном, методами сварки с использованием порошков. Недостатками таких методов являются невозможность для сварщика наблюдать за сварочным процессом, проблемы, связанные с обращением с порошком и шлаком, а также попадание влаги в порошок. В этой связи были разработаны некоторые методики применения сварки методом GMAW (дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах) вместо вертикальной сварки снизу вверх. Самый легкий способ повысить производительность наплавки в процессе GMAW — это увеличить диаметр электрода. В данной работе исследовали сварку методом GMAW электродной проволокой G3Si1 диаметром 3,2 и 4,0 мм как альтернативу вертикальной сварки сверху вниз.

Имеется недостаточно опыта и знаний относительно процесса формирования дуги в процессе GMAW электродной проволокой большого диаметра, поэтому данный процесс сварки контролировали с применением скоростной кинокамеры. Систематически исследовали влияние основных переменных параметров процесса, таких как характеристики источника тока, химический состав защитного газа, положение горелки и расстояние до сварочного мундштука, на характеристики дуги и прохождение процесса сварки. Далее исследовали влияние этих параметров на характеристики проплавления. Исследования характеристик проплавления проводили с применением анализа макро- и микроизображений сечений наплавленных швов. Установлена корреляция между энергоемкостью процесса и структурообразованием. И, наконец, получены сварные соединения на пластинах S355J2 + N толщиной 12, 15 и 20 мм. Качество сварных швов проверяли визуально и методом цветной дефектоскопии. Структуру соединений исследовали металлографическими методами. Механические и технологические свойства сварных соединений оценивали с помощью испытаний на растяжение и удар. Также проводили измерения твердости.

WELDING OF UNALLOYED STEELS WITH GMAW PROCESS USING THICK WIRE ELECTODES. *S. Brumm[1], G. Bürkner[1], M. Kusch[2] ([1]Institute for Machine Tools and Production Processes, TU Chemnitz; [2]Institute for Joining and Assembly Technology, TU Chemnitz).* Nowadays the long welds with large cross-sections as a typical application in structural steel constructions are preferably welded with welding under powder process. Disadvantages of this method include an absence of the opportunity to observe the welding operation by the welder, problems with the powder and slag handling and the moisture in the powder. For these reasons, some considerations have been developed to weld typical UP-welding applications with the GMAW-process. The easiest way to increase the deposition rate of the GMAW-process is to increase to the wire electrode diameter. In this research the GMAW-welding with the G3Si1wire electrodes with the diameter of 3.2 mm and 4.0 mm, as the substitution of the UP-welding, have been studied.

There is a little experience and lack of knowledge of a process of arc formation during the GMA-welding with «thick» wire electrodes, that's why the welding process was monitored with a high-speed camera. The influencing factors, such as current source characteristics, shielding gas composition, burner position and contact tube distance, changed and their effects on the arc behaviour and the welding process have been systematically investigated. Afterwards, an influence of the same process factors on the penetration behaviour. The analysis of the penetration behaviour has been done by analysis of the macro-and microscopic images of the overwelds cross-sections. The correlations between energy yield and structure formation have been established. Finally, the joint welds have been produced on the S355J2 + N plates with the thickness of 12, 15 and 20 mm. The outer quality of the welds has been verified through the visual and dye penetrant testing. The interior part of the joins has been evaluated metallographically. The mechanical and technological properties of the welded joints have been investigated by means of the tensile and impact tests as well as hardness measurements.

ЦИФРОВОЙ СИНТЕЗ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ. *А.В. Владимиров[1], В.А. Хабузов[1], С.Ю. Максимов[2], В.А. Лебедев[2] ([1]ООО «Росвелд», Санкт-Петербург, Россия; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Импульсно-дуговая сварка — прогрессивный способ сварки, характеризующийся рядом существенных преимуществ по сравнению с

DIGITAL SYNTHESIS OF PULSED ARC WELDING. *A.V. Vladimirov[1], V.A. Khabuzov[1], S.Yu. Maksimov[2], V.A. Lebedev[2] ([1]Limited Liability Company «Rosweld», St.-Petersburg, Russia; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Pulsed arc welding is an advanced welding method characterised by a number of essential advantages compared to the traditionally applied

традиционно применяемыми технологиями сварки и наплавки на стационарных режимах:
• управление процессами плавления, переноса и кристаллизации металла независимо от пространственного положения сварочной ванны при значительно меньших средних значениях режима сварки (наплавки);
• уменьшение степени деформационных процессов в сварных конструкциях, наплавленных поверхностях;
• повышение качественных характеристик сварных соединений и наносимого покрытия.
Вместе с тем существует ряд недостатков, затрудняющих широкое применение импульсно-дуговой сварки:
• высокая стоимость оборудования (как приобретения, так и эксплуатации);
• сложность и трудоемкость разработки, высокие требования к оборудованию и разработчикам техпроцессов;
• способы реализованы аппаратно, по принципу один источник — одна технология. Модификация и совершенствование возможны лишь силами разработчика и производителя оборудования.
Разработанный цифровой синтез импульсно-дуговой сварки (ЦСИС) — это способ увеличения преимуществ процесса и устранение отмеченных недостатков. Он базируется на основе унифицированного силового модуля, представляющего собой высокочастотный (75 кГц) инвертор с высоким КПД (95 %). Модули можно соединять параллельно, для достижения требуемых параметров режима. Управление сварочным процессом полностью производится цифровым способом, который предполагает присутствие непосредственно в контуре управления цифрового процессора, вычисляющего управляющие команды. Управлению подлежат:
• переходные процессы (продолжительностью 0,1–1 мс), которые регулируются формой импульсов и изменением динамических свойств источника;
• перенос металла, теплопередача (1–100 мс) — частотой и скважностью импульсов;
• формирование сварного соединения (> 1 с) — сварочной программой.
В источнике предусмотрена возможность адаптации к изменяющимся условиям как за счет собственных характеристик — индуктивность, динамические характеристики привода, чувствительность основных датчиков (тока, напряжения, скорости подачи электрода), так и параметров сварки — форма импульса, скважность и частота импульсов. Регулятор вольт-амперной характеристики обеспечивает стабилизацию напряжения или тока в необходимые интервалы времени работы источника. Исходные данные для регулятора рисуются в графическом редакторе и записываются предварительно в память источника. Аналогичным образом в графическом редакторе рисуется и записывается в память форма импульса.
Реализованная концепция разделения сварочного оборудования на силовую, полностью унифицированную часть, и цифровую, обеспечивающую синтез цифровой адаптивной системы управления сварки, позволяет из набора параметрических регуляторов и датчиков синтезировать структуру адаптивной системы управления и ее начальные параметры, а из необходимого количества модулей собирать силовую часть источника требуемой мощности.
Еще одним важным результатом применения ЦСИС является снижение стоимости как сварочного оборудования, так и погонного метра сварного шва или массы наплавленного металла, которое обусловлено прежде всего применением одного силового модуля для всех видов сварки, плазменной резки, так как при значительном объеме производства модулей их цена существенно сокращается.

technologies of welding and cladding under stationary conditions:
• control of the processes of melting, transfer and solidification of metal independently of the spatial position of the weld pool at much lower average welding (cladding) process parameters;
• decrease in the degree of deformation processes in welded structures and on clad surfaces;
• improvement of quality characteristics of the welded joints and deposited coatings.
At the same time, pulsed arc welding has a number of drawbacks that hamper its wide application:
• high cost (both purchase and operating cost) of the equipment;
• high complexity and labour-intensiveness of the development efforts, high requirements to the equipment and process developers;
• hardware implementation of the methods, based on the one source — one technology principle. Modification and upgrading can be provided only by a developer and manufacturer of the equipment.
The developed digital synthesis of pulsed arc welding (DS PAW) is a method for increasing the advantages and removing the mentioned drawbacks. It is based on the unified power module, which is a high-frequency (75 kHz) high-efficiency (95 %) inverter. The modules can be connected in parallel to achieve the required process parameters. The welding process is controlled entirely by the digital method, which provides for the presence of the digital processor calculating control commands directly in the control circuit. The following functions are subject to control:
• transient processes (with a duration of 01.–1.0 ms), which are regulated by the pulse shape and variations of dynamic properties of the source;
• metal transfer and heat transfer (1–100 ms), regulated by the pulse frequency and duration;
• formation of the welded joints (> 1 s), regulated by the welding program.
The source is made with a possibility of adaptation to changing conditions both through its own characteristics, i.e. inductance, dynamic characteristics of the drive, sensitivity of the main sensors (current, voltage and electrode feed speed), and through the welding parameters, i.e. pulse shape, duration and frequency. The volt-ampere characteristic controller provides stabilisation of voltage or current in the required time intervals of operation of the source. Initial data for the controller are plotted in the graphics editor and stored preliminarily in memory of the source. The pulse shape is plotted in the graphics editor and stored in the memory in a similar way.
The implemented conception of separation of the welding equipment into the power, fully unified part and the digital part providing synthesis of the digital adaptive system for control of the welding process makes it possible to synthesise structure of the adaptive control system and its initial parameters from a set of the parametric controllers and sensors, and to assemble the power part of the source of the required power from the necessary quantity of the modules.
Another important result of application of DS PAW is reduction of both cost of the welding equipment and cost of a running metre of the weld or weight of the deposited metal, which is determined first of all by the use of one power module for all types of welding and plasma cutting, as the price of the modules can be substantially reduced if they are manufactured in considerable amounts. In this case, the after-sales service (repair) of the sources becomes much simpler.

Упрощается при этом и сервисное обслуживание (ремонт) источников.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА СВАРКИ МЕДИ СО СТАЛЬЮ. *П.А. Гавриш, В.И. Тулупов (Донбасская гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Технологические особенности с позиции термического цикла вызывает сварка меди, а также сварка меди со сталью. Ввиду высокой теплопроводности меди большая часть вводимого при сварке тепла отводится от зоны тепловложения, что приводит к необходимости подвода к месту сварки значительно большего количества тепла, чем при сварке других металлов. Поэтому сварка меди со сталью выполняется с предварительным и сопутствующим подогревом.

При сварке меди и медных сплавов со сталью из-за высокой теплопроводности меди в сварном шве образуется крупнозернистая структура металла. В этом случае тепловой поток распространяется от центра сварного шва в основной металл и кристаллизующийся при сварке металл имеет направленную кристаллизацию. Так как не образуются новые центры кристаллизации, то зона с кристаллитами характеризуется направленной избирательной ориентацией. Кристаллиты образуют крупнозернистую столбчатую структуру сварного шва, причем в направлении теплового потока. Надо отметить, что такая структура металла шва не способствует обеспечению равнопрочности сварного соединения основному металлу. Кроме того, интенсивный ввод тепла в основной металл при сварке способствует росту зерна и в зоне термического влияния.

На практике местный подогрев производится различными источниками тепла вплоть до нагрева газокислородными резаками, сварочной дугой и т. п. Современное развитие производства газопламенного оборудования позволяет все более широкое применение для этой цели специальных газокислородных горелок типа ГЗУ, однако этот способ не лишен недостатков.

При сварке разнородных металлов, таких как медь и сталь, целесообразно использовать в качестве предварительного подогрева импульсный нагрев металла, при котором можно получить избирательный нагрев в тех местах сварного соединения, где это необходимо, а также снизить величину зоны термического влияния. Для повышения качества сварки разнородных металлов целесообразно использовать в качестве предварительного подогрева импульсный нагрев металла токами прямоугольной формы.

IMPROVEMENT OF PREHEATING METHODS FOR COPPER TO STEEL WELDING. *P.A. Gavrish, V.I. Tulupov (Donbas State Mechanical Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* Welding of copper, as well as welding of copper to steel has some technological peculiarities in terms of the welding thermal cycle. Because of high thermal conductivity of copper, the major part of the heat introduced in welding is transferred from the heat input zone, this leading to the need to conduct much more heat to the welding location than in welding of other metals. Therefore, welding of copper to steel is performed by using preliminary and concurrent heating.

Welding of copper and copper alloys to steel results in formation of the coarse-grained metal structure in the weld, which is attributable to high thermal conductivity of copper. In this case the heat flow propagates from the weld centre to the base metal. Thus, the metal solidifying in welding has a directed solidification structure. As no new solidification centres are formed, the zone with crystalline grains is characterised by directed selective orientation. The crystalline grains form a coarse-grained columnar structure of the weld in a direction of the heat flow. It should be noted that this structure of the weld metal hampers providing the welded joints with strength equal to that of the base metal. In addition, an intensive heat input into the base metal during welding leads to growth of grains in the heat-affected zone as well.

In practice, local preheating can be performed by using different heat sources, including gas-oxygen torches, welding arc, etc. The current development of production of flame equipment allows an increasingly wider application for this purpose of special gas-oxygen torches of the GZU type. However, this method is not free from drawbacks.

In welding of dissimilar metals, such as copper and steel, it is expedient to use pulsed heating of metal as preheating, which can provide selective heating in such zones of the welded joint where it is necessary, and which allows decreasing the size of the heat-affected zone. To improve the quality of welding of dissimilar metals, it is indicated to perform preheating of metal by the pulsed heating method with square-wave currents.

ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВАРКОЙ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. *А.А. Гайворонский[1], Ю.В. Демченко[1], А.И. Панфилов[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ООО «Стил Ворк», Кривой Рог, Украина).* Разработаны технологии восстановления сваркой элементов металлоконструкций уникального производственного оборудования горно-обогатительных комбинатов, которое в процессе работы накопило значительные повреждения. Использование технологий ремонта сваркой позволяет восстановить поврежденный металл в элементах конструкций и продлить срок безопасной эксплуатации производственного оборудования.

Технология ремонтной сварки включает следующие этапы:

• оценку фактического состояния металла на момент начала ремонта, определение методами неразрушающего контроля протяженности и глубины залегания дефектов;

TECHNOLOGIES FOR WELDING REPAIR OF DAMAGED MEMBERS OF METAL STRUCTURES OF ORE MINING AND PROCESSING EQUIPMENT. *A.A. Gaivoronsky[1], Yu.V. Demchenko[1], A.I. Panfilov[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]Limited Liability Company «Steel Work», Krivoy Rog, Ukraine).* Technologies were developed for welding repair of elements of metal structures of the unique production equipment used at ore mining and processing enterprises, which accumulated substantial damages during operation. The use of the technologies for welding repair allows reconditioning of the damaged metal in structural members and extension of the safe operation life of production equipment. The repair welding technology comprises the following stages:

• evaluation of the actual state of metal by the time of the beginning of repair, and determination of the size and depth of the defects by non-destructive test methods;

• удаление дефектного металла и разделку кромок под сварку, контроль качества подготовленных поверхностей;
• заварку ремонтных разделок, включая технологические операции по регулированию термического цикла и уровня напряжений в соединениях;
• завершающую механическую обработку и контроль качества соединений.

В соответствии с разработанными технологическими процессами и при авторском надзоре специалистов ИЭС совместно с ООО «СТИЛ Ворк» на ЦПО ДОФ ОАО «Полтавский ГОК» (г. Комсомольск) выполнены ремонты зубчатого венца обжиговой печи (сталь 45ГС, *НВ* 240) и лопатки вентилятора предварительного нагрева (сталь S890QL, *НВ* 340). Ремонты выполнены в период плановых остановок оборудования. На венце печи общая длина трещин составила более 1,5 м при сечении 95×500 мм. На вентиляторе проведен ремонт трещины длиной 300 мм. При выполнении работ были использованы воздушно-дуговая строжка угольными электродами, электродуговая резка, ручная дуговая и механизированные способы сварки сварочными материалами отечественного и зарубежного производства. После выполнения ремонта оборудование запущено в эксплуатацию в проектном режиме.

ВПЛИВ МОРФОЛОГІЇ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ НА ФОРМУВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ. *В.В. Головко, І.К. Походня (Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна).* При створенні зварних конструкцій з ВМНЛ сталей є ризик утворення в металі зварного з'єднання індукованих воднем холодних тріщин (ІВХТ), що негативно впливає на надійність та довговічність конструкції в цілому. ІВХТ є проявом, у специфічних умовах термодеформаційного циклу зварювання, більш загального фізичного явища — водневої крихкості металу (ВК), інтенсивність якої залежить від температури металу, його структури, концентрації водню, швидкості пластичних деформацій, величини та конфігурації напружень. Встановлені експериментальні особливості водневої крихкості переконливо свідчать про те, що в основі явища індукованих воднем холодних тріщин у зварних з'єднаннях лежить механізм взаємодії водню з дислокаціями і зміна властивостей дислокаційних скупчень під дією водню. Дислокаційна теорія ВК підтверджується як непрямими експериментами, що встановлюють зв'язок між швидкістю пластичної деформації металу і його чутливістю до водневої крихкості, так і прямими спостереженнями на просвічуючому електронному мікроскопі впливу водню на поводження дислокаційних скупчень і ріст мікротріщин. Тому виявлення й опис дислокаційних механізмів, які відповідальні за зміну механічних властивостей металу в кожному конкретному випадку, є основною задачею.

Детальні експериментальні дослідження цього явища на мікро- так макрорівнях досить коштовні, трудомісткі та часто неспроможні спрогнозувати поведінку конструкцій в умовах, які суттєво відрізняються від вивчених. Проте проведення лише теоретичних досліджень не викликає довіри, оскільки такий підхід не має твердого підгрунтя експерименту і найчастіше не може дати чіткі відповіді на прикладні питання. Найбільш раціональним є шлях, що органічно поєднує у певних пропорціях ці підходи. Існує необхідність спільного експериментально-розрахункового дослідження механізму окрихчувального впливу водню на властивості металу, коли з метою прогнозування механічних характеристик зварних з'єднань теоретичні уявлення проходять верифікацію з практичними результа-

• removal of the defective metal and edge preparation for welding, inspection of quality of the prepared surfaces;
• welding on of the repair grooves, including technological operations on regulation of the thermal cycles and level of stresses in the joints;
• finishing machining and inspection of quality of the joints.

The developed technological processes were used to repair the calcining kiln ring gear (steel 45GS, *HB* 240) and the preheating fan blade (steel S890QL, *HB* 340) at the Joint Stock Company «Poltavsky GOK» (Ore Mining and Processing Enterprise) (Komsomolsk) with the authors' follow up by specialists of the E.O. Paton Electric Welding Institute together with the Limited Liability Company «Steel Work». The repairs were performed during scheduled outages of the equipment. Total length of the cracks at the kiln ring gear was more than 1.5 m at a cross section of 95×500 mm. The repaired crack on the fan was 300 mm long. Air-arc gouging with carbon electrodes, electric arc cutting, and manual and mechanised arc welding using domestic and imported welding consumables were used to perform the work. The repaired equipment was put into operation in the design mode.

EFFECT OF MORPHOLOGY OF NON-METALLIC INCLUSIONS ON FORMATION OF MICROSTRUCTURE OF THE WELD METAL ON HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY STEELS. *V.V. Golovko, I.K. Pokhodnya (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The risk of formation of hydrogen-induced cold cracks (HICC) in metal of the welded joints is run in fabrication of welded structures from high-strength low-alloy (HSLA) steels, this exerting a negative effect on reliability and service life of structure as a whole. Under specific conditions of the thermal-deformation cycle of welding, HICC is manifestation of a more general physical phenomenon — hydrogen brittleness (HB) of metal, the intensity of which depends on the temperature of metal, its structure, hydrogen concentration, plastic strain rate, and value and configuration of stresses. The experimentally revealed peculiarities of hydrogen brittleness prove that the phenomenon of hydrogen-induced cold cracking is based on the mechanism of interaction of hydrogen with dislocations and changes in properties of the dislocation clusters under the effect of hydrogen. The dislocation theory of HB is confirmed both by indirect experiments that establish relationship between the plastic strain rate in metal and its sensitivity to HB, and by direct TEM examinations of the effect of hydrogen on behaviour of the dislocation clusters and growth of microcracks. Therefore, the main task of the studies is to reveal and describe the dislocation mechanisms responsible for changes in mechanical properties of metal in each particular case.

Detailed experimental investigations of this phenomenon at the micro- and macrolevels are expensive, labour-consuming and often incapable of predicting behaviour of structures under the conditions that differ substantially from the studied ones. However, conducting only theoretical investigations causes doubts, as this approach lacks a firm experimental substantiation and most often cannot give clear answers to the application questions. The most rational way is the one that naturally combines these approaches in certain proportions. It is necessary to conduct the combined experimental-calculation investigations of the mechanism of the embrittlement effect on properties of metal, where theoretical notions are verified by practical results to predict mechanical characteristics of the welded joints. This approach makes it

тами. Такий підхід дозволяє заощадити ресурси та виявити важливі практичні аспекти явища, що досліджується.
З цією метою в 2012 р. на основі проведених експериментально-розрахункових досліджень було вдосконалено математичну складову моделі оборотньої водневої крихкості та на її основі створено модулі комп'ютерної програми для розрахунку поведінки субмікротріщини під зовнішнім навантаженням, запропоновано критерій оцінки ризику утворення індукованих воднем холодних тріщин та запропонована макроскопічна модель водневого окрихчення металу, що враховує механізм впливу водню на мікрорівні.

СОЗДАНИЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. *И.А. Гончаров (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Целью данной работы было детальное изучение физико-химических процессов и структурных перестроек при нагреве агломерированных флюсов шлаковой системы $MgO–Al_2O_3–SiO_2–CaF_2$. На основе разработанной методики прогнозирования термодинамических свойств шлаковых расплавов, а также экспериментальных данных исследований активности SiO_2 методом ЭДС установлено, что увеличение содержания оксида магния в составе флюсов системы $MgO–Al_2O_3–SiO_2–CaF_2$ приводит к снижению термодинамической активности SiO_2 в шлаковом расплаве. Это позволяет научно обоснованно подавлять нежелательные процессы восстановления кремния и образования силикатных неметаллических включений в металле шва.
Проведены рентгенографические исследования строения расплавленного и твердого шлака. Установлено, что при содержании оксида алюминия более 15 % и оксида магния более 25 % в шлаковом расплаве образуется твердая шпинельная фаза Al_2MgO_4, температура плавления которой составляет 2105 °С. По данным рентгенографических исследований твердая фаза Al_2MgO_4 находится в расплаве при температурах выше 1500 °С, т. е. при температурах существования сварочной ванны. Наличие кристаллической фазы в жидком шлаковом расплаве при температурах порядка 1100–2000 °С приводит к:
• увеличению вязкости, что делает расплавленный шлак более «длинным» и положительно сказывается на формирующих свойствах флюса;
• уменьшению электропроводности шлакового расплава, снижению эффекта шунтирования тока через шлак, улучшению процесса горения дуги и уменьшению расхода флюса при сварке;
• улучшению отделимости шлаковой корки с поверхности свариваемого металла;
• снижению термодинамической активности компонентов флюса, и, следовательно, снижению окислительной способности флюса.
В результате создан новый класс агломерированных флюсов для многодуговой сварки труб из низколегированных высокопрочных сталей.

ВЫБОР МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВАРИВАЕМОСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ. *С.Н. Гончаров[1], М.П. Шалимов[2] ([1]Уралтрансмаш, Екатеринбург, Россия; [2]Уральский федеральн. ун-т, Екатеринбург, Россия).* Анализ применяемых качественных и количественных методик определения свариваемости высокопрочных среднелегированных сталей показал следующее.

possible to save resources and reveal the important practical aspects of the phenomenon being investigated.
For this purpose, based on the experimental-calculation investigations, in 2012 the mathematical component of the model of reversible hydrogen brittleness was upgraded, software modules were developed on its base to calculate behaviour of a sub-microcrack under external loading, the criterion for estimation of the risk of formation of hydrogen-induced cold cracks was put forward, and a macroscopic model of hydrogen brittleness of metal allowing for the mechanism of the effect of hydrogen at the microlevel was suggested.

DEVELOPMENT OF WELDING FLUXES WITH PREDICTABLE TECHNOLOGICAL AND METALLURGICAL PROPERTIES ON THE BASIS OF STRUCTURAL AND PHYSICAL-CHEMICAL INVESTIGATIONS. *I.A. Goncharov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The purpose of this study was to comprehensively investigate physical-chemical processes and structural transformations occurring in heating of agglomerated fluxes of the $MgO–Al_2O_3–SiO_2–CaF_2$ slag system. As established on the basis of the developed procedure for prediction of thermodynamic properties of the slag melts, as well as the experimental data of investigation of reactivity of SiO_2 by the EMF method, increase in content of magnesium oxides in a composition of fluxes of the $MgO–Al_2O_3–SiO_2–CaF_2$ system leads to decrease in thermodynamic activity of SiO_2 in the slag melt. This allows suppressing the undesirable processes of reduction of silicon and formation of silicate non-metallic inclusions in the weld metal in a scientifically substantiated way.
X-ray examinations of structure of the molten and solid slags were carried out. It was found that at the content of aluminium oxide equal to more than 15 % and that of magnesium oxide equal to more than 25 %, the solid spinel Al_2MgO_4 phase with a melting temperature of 2105 °C is formed in the slag melt. According to the X-ray examination data, the solid Al_2MgO_4 phase is in the melt at temperatures above 1500 °C, i.e. at temperatures of existence of the weld pool. The presence of the crystalline phase in the liquid slag melt at temperatures of about 1100–2000 °C leads to:
• increase in viscosity, this making the molten slag «longer» and exerting a positive effect on the forming properties of the flux;
• decrease in electrical conductivity of the slag melt, decrease in the effect of shunting through the slag, improvement of the arcing process, and decrease in consumption of the flux during welding;
• improvement of detachability of the slag crust from the surface of the metal welded;
• decrease in thermodynamic activity of the flux components and, hence, decrease in oxidising ability of the flux.
As a result, a new class of agglomerated fluxes was developed for multi-arc welding of pipes from low-alloy high-strength steels.

SELECTION OF PROCEDURES FOR EVALUATION OF WELDABILITY OF HIGH-STRENGTH STEELS. *S.N. Goncharov[1], M.P. Shalimov[2] ([1]Uraltransmash, Ekaterinburg, Russia; [2]The Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia).* Analysis of the applied qualitative and quantitative procedures for evaluation of weldability of high-strength medium-alloy steels showed the following.

В качественных пробах свариваемости («жесткая проба» и проба «Тэккен») применение и учет результатов необходимо проводить с учетом количественных методик.

Из анализируемых количественных методик определения свариваемости наиболее объективной является проба «имплант». Для устранения ряда недостатков методики (высокая трудоемкость испытаний, влияние на результаты материала пластины-основания для установки образца) с фиксированием термического цикла сварки (ТЦС) и обеспечением постоянства нагрузки.

Совместно с ИЭС им. Е.О. Патона была модернизирована методика «имплант». Для исключения влияния погрешности качества изготовления надреза образцы-вставки из исследуемой стали испытываются гладкими без надреза. Пластины с отверстиями, в которые устанавливаются образцы-вставки, изготавливаются также из исследуемой стали. Сварка осуществляется в специальном водоохлаждаемом приспособлении с фиксацией ТЦС на осциллографе. Нагрузочное устройство позволяет развивать усилия до 1000–3000 МПа, вполне достаточные для замедленного разрушения сварных соединений из закаливающихся сталей. Установка позволяет проводить одновременно испытания четырех образцов, что резко сокращает сроки испытания.

На основе результатов исследований с использованием указанного оборудования разработана методика комплексного учета влияния основных факторов и применения расчетных методов при оценке свариваемости, обоснованы пути совершенствования технологии сварки высокопрочных сталей и меры по предотвращению образования холодных трещин.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВАРКИ С ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТОЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ. *Е.Г. Григорьева, Д.А. Чинахов (Юргинский технолог. ин-т (филиал) Нац. исследовательского Томского политехн. ун-та, Юрга, Россия).* Одной из существенных проблем, с которыми приходится сталкиваться предприятиям, являются высокие затраты на техническое обслуживание и ремонт рабочих поверхностей деталей машин. К производителям оборудования и машин предъявляются требования по повышению эффективности работы и срока службы данного оборудования, снижению материалоемкости и т. д. Все это обусловливает использование в промышленности высокопрочных сталей.

Использование высокопрочной стали позволяет увеличить срок службы рабочих частей машин в 2 раза по сравнению с обычной сталью. Однако вопрос восстановления изношенных деталей остается актуальным.

Существуют различные способы наплавки высокопрочных сталей, но они имеют ряд недостатков, так как при наплавке стали данного класса склонны к закалке и образованию холодных трещин. Для предотвращения образования холодных трещин зачастую прибегают к дополнительным операциям.

Проведены экспериментальные исследования процессов сварки с одноструйным и с разработанным в ЮТИ ТПУ двухструйным способом газовой защиты зоны сварки. Разработанный способ сварки легированных сталей с двухструйной газовой защитой в среде CO_2 обеспечивает лучшую газовую защиту зоны сварки, высокие механические свойства сварных соединений без предварительного подогрева и последующей термообработки и является ресурсо- и энергосберегающим.

Разработанный способ сварки можно успешно применять и для восстановления изношенного слоя детали. Форми-

The results obtained with the qualitative tests («rigid test» and «Tekken» test) should be applied and considered allowing for the quantitative test procedures.

The «implant» test is the most objective test among the analysed quantitative test procedures for evaluation of weldability. To eliminate a number of drawbacks of the procedure (high labour intensity in the tests, effect on the results by material of a plate, i.e. a base for placement of a specimen) it is necessary to fix the thermal welding cycle (TWC) and provide a constant load.

The «implant» test procedure was upgraded in collaboration with the E.O. Paton Electric Welding Institute. To eliminate the effect of error on quality of making of a notch the implant specimens of a steel investigated are tested without a notch, i.e. with a smooth surface. The plates with holes, wherein the implant specimens are placed, are also made from the investigated steel. Welding is performed in a special water-cooled device by fixing TWC with the oscillograph. The loading device can develop forces of up to 1000–3000 MPa, which are enough for delayed fracture of the welded joints on hardenable steels. The testing machine allows testing four specimens simultaneously, thus dramatically reducing the test time.

The results of the investigations conducted with the said equipment were used to develop the procedure for integrated analysis of the effect of the main factors and application of the calculation methods for evaluation of weldability, as well as substantiate the ways of upgrading of the technology for welding of high-strength steels and measures for prevention of cold cracking.

POSSIBILITY OF USING WELDING WITH DOUBLE-JET GAS SHIELDING FOR REPAIR OF WORN-OUT SURFACES OF PARTS. *E.G. Grigorieva, D.A. Chinakhov (Yurga Technological Institute (branch) of the Tomsk National Research Polytechnic University, Yurga, Russia).* High costs of maintenance and repair of working surfaces of machine parts are one of the important problems the enterprises have to face. Manufacturers of equipment and machines have to meet high requirements for increase of the operating efficiency and extension of service life of the corresponding equipment, decrease in material consumption, etc. All this substantiates the commercial use of high-strength steels.

Application of high-strength steel allows a 2 times extension of the service life of working machine parts compared to conventional steel. However, the problem of repair of worn-out parts still remains topical. Different methods are available for surfacing of high-strength steels, but they have a number of drawbacks, as in surfacing the steels of this class are susceptible to quenching and cold cracking. Additional operations are often applied to prevent cold cracking.

Experimental studies of the processes of welding with single-jet gas shielding of the welding zone, as well as with double-jet shielding developed by the Yurga Technological Institute of the Tomsk National Research Polytechnic University were carried out. The developed method of CO_2 welding of alloyed steels with the double-jet gas shielding provides improved protection of the welding zone and high mechanical properties of the welded joints without preheating and post-weld heat treatment, and is the resource- and power-saving one.

The developed welding method can also be successfully applied to repair the worn-out layer of parts. With the developed method the formed jet of a shielding gas exerts a considerable effect on the surface of the weld pool and geometry

руемая струя защитного газа в разработанном способе оказывает значительное влияние на поверхность сварочной ванны и геометрию наплавляемого валика, обеспечивая более плоскую форму, что является благоприятным фактором для применения его при наплавке.

СВАРКА ВЗРЫВОМ: ПРОЦЕССЫ И СТРУКТУРЫ. *Б.А. Гринберг[1], М.А. Иванов[1], В.В. Рыбин[2], А.М. Пацелов[4], Ю.П. Бесшапошников[3] ([1]Ин-т физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия; [2]Ин-т металлофизики им. Г.В. Курдюмова, НАН Украины, Киев, Украина; [3]Санкт-Петербургский гос. политехн. ун-т, Санкт-Петербург, Россия; [4]ОАО «Уралхиммаш», Екатеринбург, Россия).* Для описания явлений, которые происходят при сварке взрывом, разработан новый подход, впервые учитывающий процессы фрагментации различных типов и прежде всего фрагментацию типа дробления (ФТД). ФТД включает в себя образование, разлет частиц и их частичную консолидацию. ФТД является аналогом фрагментации при взрыве, исследованной Моттом. Выявлена роль ФТД как наиболее быстротечного и эффективного канала диссипации подводимой энергии при сварке взрывом. Кроме ФТД наблюдается также и традиционная фрагментация, которая включает в себя накачку дислокаций, структурные превращения, рекристаллизацию и наблюдается несколько дальше от поверхности раздела по сравнению с ФТД.

Обнаружено, что поверхность раздела не является гладкой, а содержит множество выступов и зон локального расплавления. Выступы наблюдались впервые. Они играют роль «клиньев», связывая контактирующие материалы между собой. Трение на поверхности выступа, усиленное за счет того, что выступ содержит выступы следующих порядков, содействует сцеплению поверхностей.

Показано, что для соединений металлов, не имеющих взаимной растворимости, зоны локального расплавления являются коллоидными растворами, тогда как при нормальной растворимости — истинными растворами. Именно образование коллоидных растворов (эмульсий, суспензий) является ответом на вопрос почему перемешиваются несмешивающиеся взвеси.

Выявлены условия, при которых расплавление приводит к склеиванию контактирующих материалов, поскольку при этом сразу решаются проблемы адгезии, смачивания, теплового расширения. Показано, в каких случаях расплавление, тем не менее, может оказаться опасным для прочности соединения.

Использовались результаты наблюдения структуры следующих соединений: титан–орторомбический алюминид титана, алюминий–тантал и не имеющих взаимной растворимости пар медь–тантал, железо–серебро.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ. *А.Г. Гринь, И.А. Бойко (Донбасская гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* В настоящее время существует ряд методик определения состава порошковых проволок, однако в них не учитывается химический состав ленты оболочки, отсутствует возможность расчета состава шихты для ленты конкретного размера.

Коэффициент заполнения порошковой проволоки, т. е. отношение массы наполнителя к массе проволоки зависит от ряда факторов: насыпная плотность шихты проволоки, геометрические размеры ленты, просыпание порошка во время изготовления проволоки и др. Для наплавочных проволок трубчатой конструкции коэффициент заполнения находится в пределах 30–40 %. При меньшем $K_з$ может

of the weld bead, thus ensuring a flatter shape, which is a favourable factor for surfacing.

EXPLOSION WELDING: PROCESSES AND STRUCTURES. *B.A. Grinberg[1], M.A. Ivanov[1], V.V. Rybin[2], A.M. Patselov[4], Yu.P. Besshaposhnikov[3] ([1]Institute of Metal Physics, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; [2]G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; [3]St.-Petersburg State Polytechnic Institute, St.-Petersburg, Russia; [4]Open Joint Stock Company «Uralkhimmash», Ekaterinburg, Russia).* A new approach was developed to describe phenomena occurring in explosion welding. This approach is pioneering in taking into account the different types of the fragmentation processes, and first of all the crushing type fragmentation (CTF). CTF comprises formation, spread of particles and their partial consolidation. CTF is an analogue of the fragmentation taking place in explosion, which was investigated by Mott. The role of CTF as the fastest and most efficient channel of dissipation of energy input in explosion welding was revealed. In addition to CTF, the traditional fragmentation is also observed, including pumping of dislocations, structural transformations and recrystallisation. The traditional fragmentation takes place a bit farther from the interface compared to CTF.

It was found out that the interface is not smooth. It rather contains many protrusions and local melting zones. The protrusions were observed for the first time. They act as «wedges», thus linking the materials in contact to each other. Friction on the protrusion surface is enhanced due to protrusions of the next orders, this leading to adhesion of the surfaces.

It was shown that in joining materials having no mutual solubility the local melting zones are colloidal solutions, whereas at normal solubility they are true solutions. It is the formation of the colloidal solutions (emulsions, suspensions) that answers the question why the immiscible suspensions are mixed up. The conditions were identified, under which melting leads to adhesion of the contacting materials. This allows solving the problems of adhesion, wetting and thermal expansion. It was shown in what cases melting nevertheless may turn out to be dangerous for strength of the joints.

The study used results of examinations of structure of the following joints: titanium–orthorhombic titanium aluminide, aluminium–tantalum, as well as copper–tantalum and iron–silver pairs having no mutual solubility.

PROCEDURE FOR DETERMINATION OF COMPOSITION OF FLUX-CORED WIRE. *A.G. Grin, I.A. Boiko (Donbas State Mechanical Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* At present a number of procedures are available for determination of composition of flux-cored wires. However, they do not allow for chemical composition of the sheath strip, and offer no possibility of calculating the composition of the charge for a specific size of the strip.

The flux-cored wire fill factor, i.e. the ratio of the mass of the filler to mass of the wire, depends on a number of factors, such as apparent density of the wire charge, geometric size of the strip, spillage of the powder in manufacture of the wire, etc. For surfacing wires of a tubular design the fill factor is 30–40 %. Lower factor may lead to the impossibility of adequate alloying of the deposited metal, and higher factor

возникнуть вероятность невозможности осуществления полноценного легирования наплавленного металла, а при большем — ухудшение сварочно-технологических свойств проволоки ввиду увеличения отставания плавления шихты проволоки от ее оболочки.

Газошлакообразующая часть шихты обычно занимает 15–20 % объема сердечника самозащитной порошковой проволоки. При расчете количества и соотношения легирующих компонентов она во внимание не берется, так как оказывает влияние только на коэффициенты перехода легирующих элементов, которые назначаются предварительно. Раскисляющая часть сердечника может содержать феррокремний в сочетании с ферромарганцем, порошок алюминия, а также ферротитан или титановый порошок и составляет обычно 1–2 % массы проволоки при изготовлении ее оболочки из стали 08кп.

В случае, если сумма массовых частей порошков не превышает 100 %, проводится добавление балластного компонента в шихту в таком количестве, чтобы сумма частей была равна единице. При разработке порошковых проволок для сварки и наплавки стали и чугуна в качестве такого компонента выступает железный порошок. В обратном случае, если при выбранных порошках объема сердечника недостаточно для осуществления полноценного легирования наплавленного металла, необходимо рассмотреть варианты повышения коэффициента заполнения (заменой ленты других размеров), провести выбор более «богатых» порошков для легирования отдельными элементами, а также легирование через оболочку порошковой проволоки.

may lead to deterioration of welding-operational properties of the wire because of a higher lag of melting of the wire charge from that of its sheath.

The gas-slag-forming part of the charge normally constitutes 15–20 % of volume of the core of the self-shielding flux-cored wire. It is neglected in calculation of the amount and proportion of alloying elements, as it affects only the coefficients of transfer of those alloying elements that are specified preliminarily. Deoxidising part of the core can contain ferrosilicon in combination with ferromanganese, aluminium powder, as well as ferrotitanium or titanium powder, and typically constitutes 1–2 % of mass of the wire with a sheath made from steel 08kp (rimmed).

If the sum of the mass parts of powders does not exceed 100 %, a ballast component is added to the charge in such an amount that the sum of the parts is equal to one. Iron powder is used as such a component in development of flux-cored wires for welding and cladding of steel and cast iron. Otherwise, if with the chosen powders the volume of the core is insufficient to ensure adequate alloying of the deposited metal, it is necessary to consider variants of increasing the fill factor (by replacing the given strip with strips of other sizes), choose «richer» powders for alloying with certain elements, and perform alloying through the flux-cored wire sheath.

ДУГОВАЯ СВАРКА АЛИТИРОВАННОЙ СТАЛИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ. *А.Г. Гринь, Т.Б. Золотопупова (Донбасская гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Известно изготовление оснастки химико-термической обработки (ХТО) из дорогостоящих жаропрочных сталей. Авторами исследованы менее затратные процессы изготовления такой оснастки из алитированных листов с применением сварки. Этот вопрос в литературе практически не освещен. Методом математического планирования эксперимента установлен оптимальный режим алитирования. Обработка в течение 120 мин позволяет обеспечить структуру поверхностного слоя, состоящую из эвтектоидной прослойки с последующим переходом в участок твердого раствора алюминия в железе. Содержание алюминия в исследуемом слое не менее 30 %. Полученное содержание алюминия при взаимодействии с низкоуглеродистым металлом в процессе сварки обеспечивает образование сплава высокой жаростойкости. Выполнены исследования влияния режимов алитирования на строение сварных швов. Сварку пластин выполняли на постоянном токе обратной полярности с применением электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на режимах, обеспечивающих хорошее формирование шва, отсутствие дефектов. В качестве газовой защиты применяли CO_2 и смесь Ar + CO_2 в соотношении (75:25) %. Сравнение макрошлифов сварных стыковых швов, выполненных по двум вариантам газовой защиты, показали, что металл шва и зоны сплавления имеет характерный окрас после теплового травления. Наблюдается диффузия алюминия в основной металл, что приводит к упрочнению твердого раствора, вследствие чего предотвращается образование холодных трещин. В результате блокирования перемещений дислокаций и других несовершенств кристаллической решетки металла сварного шва повышается сопротивляемость пластическим деформациям. Алитирование поверхности пластин способствует повышению теплостойкости металла шва, образованию соединений с высокой темпе-

GAS-SHIELDED ARC WELDING OF ALUMINISED STEEL. *A.G. Grin, T.B. Zolotopupova (Donbas State Mechanical Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* It is a known fact that tools for thermochemical treatment (TCT) are made from expensive heat-resistant steels. The authors investigated the less costly processes for manufacture of such tools from aluminised plates by using welding. This issue is hardly covered in literature. The optimal aluminising parameters were determined by the mathematical experimental design method. Treatment for 120 min provides structure of the surface layer consisting of the eutectoid interlayer that subsequently transforms into a region of solid solution of aluminium in iron. The content of aluminium in the investigated layer is not less than 30 %. The resulting content of aluminium in interaction with the low-carbon metal during the welding process provides formation of an alloy with high heat resistance. The effects of the aluminising parameters on structure of the welds were investigated. Welding of plates was performed at a direct current of reverse polarity by using 1.2 mm diameter electrode wire Sv-08G2S under the conditions that provided good weld formation and absence of defects. CO_2 and a mixture of Ar + CO_2 in a proportion of (75:25) % were used as a shielding atmosphere. Comparison of macrosections of the butt welds made by using the above two versions of gas shielding showed that the weld and fusion zone metals have a characteristic colour after thermal etching. Diffusion of aluminium into the base metal takes place, this leading to hardening of solid solution and, hence, cold cracking. Resistance to plastic strains increases as a result of blocking of motion of dislocations and other imperfections of crystalline lattice of the weld metal. Aluminizing of the plate surfaces promotes increase in high-temperature stability of the weld metal and formation of the compounds with a high melting point, thus increasing the temperature of recrystallisation of solid solution and, hence, its heat resistance. After thermal etching a specimen acquires a dark-brown colour in the zone of fusion with the base metal, and

ратурой плавления, тем самым повышая температуру рекристаллизации твердого раствора и как следствие его жаропрочность. После теплового травления образец приобретает темно-коричневую окраску в зоне сплавления с основным металлом и светло-коричневую в зоне шва. Такие окраски характерны для твердых растворов алюминия в железе на базе химических соединений. Кроме того, в случае сварки листов в смеси газов зона сплавления с основным металлом является более контрастной, чем в случае сварки листов в CO_2.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ЗОН СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДАМИ АДАПТИВНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРКИ. *А.А. Демьянченко (Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия).* Низкоуглеродистые легированные стали характеризуются высоким комплексом эксплуатационных свойств и используются для производства ответственных сварных конструкций, обеспечивая их высокую прочность при одновременном снижении металлоемкости. Основным способом изготовления металлоконструкций является сварка. При этом в ходе технологического процесса сварки металл в зонах сварных соединений претерпевает повторное расплавление и последующую кристаллизацию сварочной ванны, вследствие чего первоначальные механические и эксплуатационные свойства металла ухудшаются из-за избыточного тепловложения, которое приводит к структурным изменениям в металле ЗТВ. Одним из перспективных путей управления энерго- и тепловложением при сварке является применение адаптивных импульсных технологий сварки.

Цель работы — изучение влияния импульсных режимов сварки на структуру сварных соединений легированных сталей.

Для проведения экспериментов были изготовлены и сварены образцы из низколегированных сталей (09Г2С, 10Г2С, 17Г1СУ) при помощи ручной дуговой сварки. Сварку проводили на постоянном токе и в режиме импульсного изменения энергетических параметров. Выполненные исследования полученных образцов позволили выявить некоторые особенности их структурных состояний.

Так, например, структура сварных соединений исследуемых сталей после стационарного и импульсного режимов сварки ферритно-перлитного типа. В центре шва после стационарного режима сварки наблюдаются крупные перлитные зерна с зернами феррита по границам. В переходной зоне наблюдается измельчение структуры. Однако размеры этой зоны превышают размеры структурных составляющих свариваемых сталей. После импульсного режима сварки наблюдается значительное измельчение структурных составляющих металла шва (в 1,5–2,5 раза) и наиболее подверженной структурным изменениям ЗТВ (в 2 раза). Зерна этой зоны по размерам приближаются к структурным составляющим свариваемой стали. Сварные соединения с более однородной структурой имеют и более однородное распределение механических свойств, что повышает стойкость к возникновению и распространению трещин в сварном соединении.

В целом выполненные исследования подтвердили перспективность выбранного направления повышения качественных и прочностных характеристик сварных соединений легированных сталей путем применения методов адаптивных импульсных технологий сварки.

a light-brown colour — in the weld zone. Such colours are characteristic of solid solutions of aluminium in iron based on chemical compounds. In addition, in a case of welding of plates in the gas mixture atmosphere the zone of fusion with the base metal is more contrast than in a case of CO_2 welding.

CONTROL OF STRUCTURE OF ZONES OF THE WELDED JOINTS ON ALLOYED STEELS BY USING THE ADAPTIVE PULSED TECHNOLOGIES. *A.A. Demyanchenko (Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia).* Low-carbon alloyed steels are characterised by a high set of service properties. They are applied for manufacture of critical welded structures by providing their high strength with a simultaneous decrease in metal consumption. The main method for fabrication of metal structures is welding. During welding, metal in the zones of the welded joints undergoes re-melting and subsequent solidification of the weld pool, this leading to deterioration of initial mechanical and service properties of this metal due to excessive heat input, which leads to structural changes in the HAZ metal. One of the promising ways of controlling energy and heat inputs in welding is using the adaptive pulsed welding technologies.

The purpose of this study was to investigate the effect of the pulsed welding parameters on structure of the welded joints on alloyed steels.

Specimens of low-alloy steels (09G2S, 10G2S and 17G1SU) were made and welded by the manual arc welding method. Welding was performed at a direct current and in a mode of pulsed changes in energy parameters. Investigations of the resulting specimens allowed revealing some peculiarities of their structural states.

For example, structure of the welded joints on the investigated steels made under stationary and pulsed welding conditions is of the ferrite-pearlite type. The centre of the weld made under the stationary conditions consists of coarse pearlite grains with ferrite grains located along their boundaries. Refining of the structure is observed in the transition zone. However, sizes of this zone exceed sizes of structural components of the steels welded. The pulsed welding conditions result in substantial refining of structural components of the weld metal (1.5–2.5 times) and HAZ (2 times) that is most vulnerable to structural changes. Grains of this zone are close in sizes to structural components of the steels welded. The welded joints with a more homogeneous structure also have a more homogeneous distribution of mechanical properties, this leading to increase in their resistance to initiation and propagation of cracks in them.

In general, the investigations conducted confirmed a high potential of the chosen way of improving the quality and strength properties of the welded joints on alloyed steels by using the adaptive pulsed welding technologies.

К МЕХАНИЗМУ СНИЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ И СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ЗОНЕ СПЛАВЛЕНИЯ АУСТЕНИТНОГО ШВА С УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛЬЮ. *В.П. Елагин, Г.Н. Гордань (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Одной из особенностей зоны сплавления углеродистых сталей с аустенитным швом является наличие в переходном слое мартенситной прослойки, которая при толщине более 0,15 мм способствует образованию трещин типа «отрыв». Утонение ее достигается увеличением в сварочной ванне количества никеля, марганца, азота и кислорода для повышения запаса аустенитности металла, оптимизацией режима сварки, а также вибрацией свариваемых пластин или вращением электрода для улучшения перемешивания металла. Поскольку во всех случаях уменьшаются также размеры «островков» основного металла в шве, которые захватываются потоками металла в сварочной ванне, было проверено влияние этих химических элементов и параметров режимов сварки на толщину переходного слоя, которая определяется условиями перемешивания металлов в ванне. Для этого механизированной сваркой в защитном газе были выполнены наплавки валиков на поверхность пластин из стали Ст3 проволоками с легированием типа Х20Н9Г7Т, Х20Н25Г7М6 и Х25Н40М6Г2 в аргоне, азоте, CO_2, смеси CO_2 с азотом или воздухом при изменении скорости сварки от 15 до 25 м/ч, токе от 180 до 280 А, напряжении от 18 до 26 В и угла наклона электрода от 15 до 45° в направлении сварки углом вперед или назад. Сопоставление результатов металлографических исследований и микрорентгеноспектрального анализа показали хорошую корреляцию утонения мартенситной прослойки и переходного слоя с увеличением уровня легирования проволок при использовании азото-кислородсодержащего газа взамен аргона и совместном снижении силы тока, напряжения дуги и увеличении скорости сварки при наклоне электрода углом назад в указанных пределах. При визуальном наблюдении за сварочной ванной установлено, что при таких изменениях параметров режима и направления наклона электрода снижается толщина слоя жидкого металла впереди дуги. Следовательно, вышеприведенную корреляцию можно объяснить уменьшением экранирующего влияния жидкой прослойки на передачу тепла от дуги основному металлу, повышением интенсивности потоков и перемешиванием металла в сварочной ванне. Видимо в таком же направлении влияет и повышение уровня легирования сварочной проволоки прежде всего никелем, вследствие снижения вязкости жидкого металла и введения азото-кислородсодержащего газа в зону сварки вследствие повышения температуры металла, а следовательно и снижения его вязкости. Более интенсивное перемещение потоков приводит к снижению подплавления основного металла избыточным теплом малоподвижной прослойки жидкого металла, улучшает перемешивание присадочного и основного металла вблизи основного металла и снижает толщину переходного слоя и мартенситной прослойки.

Установленный механизм снижения химической и структурной неоднородности позволил уточнить основные положения сварки разнородных сталей и разработать оптимальную технологию механизированной сварки в защитном газе.

ON THE MECHANISM OF DECREASING CHEMICAL AND STRUCTURAL HETEROGENEITY IN THE AUSTENITIC WELD TO LOW-CARBON STEEL FUSION ZONE. *V.P. Elagin, G.N. Gordan (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* One of the peculiarities of the austenitic weld to low-carbon steel fusion zone is that the transition layer comprises a martensitic interlayer, which at a thickness of more than 0.15 mm leads to formation of cracks of the «tearing off» type. It can be thinned through increasing the amount of nickel, manganese, nitrogen and oxygen in the weld pool to increase the safety factor for austenisation of metal, optimising the welding parameters, vibrating the plates welded or rotating the electrode to improve stirring of the metal. As all this leads to decrease in sizes of the base metal «islands» in the weld, which are captured by the flows of metal in the weld pool, investigations were carried out to check the effect of these chemical elements and welding parameters on thickness of the transition layer, which is also determined by conditions of metal stirring in the weld pool. For this the beads were deposited on plates of steel St3 by the mechanised gas-shielded welding method using wires with alloying of the Kh20N9G7T, Kh20N25G7M6 and Kh25N40M6G2 types in an atmosphere of argon, nitrogen, CO_2, mixture of CO_2 with nitrogen or air, at a welding speed varied from 15 to 25 m/h, current — varied from 180 to 280 A, voltage — from 18 to 26 V, and in the forward and backward welding direction. Comparison of the results of metallographic examinations and X-ray spectrum microanalysis showed a good correlation of thinning of the martensitic interlayer and transition layer with increase in the level of alloying of wires when using the nitrogen-oxygen containing gas atmosphere instead of argon, simultaneously decreasing the current and arc voltage, and increasing the welding speed with backward inclination of the electrode within the said ranges. Visual observation of the weld pool showed that such changes in the process parameters and electrode inclination direction lead to decrease in thickness of the layer of molten metal ahead of the arc. Therefore, the above correlation can be explained by decrease in the screening effect of the liquid interlayer on heat transfer from the arc to the base metal, increase in the intensity of flows and stirring of metal in the weld pool. Increase in the level of alloying of the welding wire, first of all with nickel, seems to exert the similar effect because of decrease in viscosity of the liquid metal and adding the nitrogen-oxygen containing gas to the welding zone due to a rise in metal temperature and, hence, decrease in its viscosity. A more intensive motion of the flows leads to reduction of incipient melting of the base metal due to excessive heat of the slow-moving interlayer of the liquid metal, improves mixing of the filler and base metals near the base metal, and decreases thickness of the transition layer and martensitic interlayer.

The established mechanism of decreasing the chemical and structural heterogeneity allowed checking the main principles of welding of dissimilar steels, and developing the optimal technology of mechanised gas-shielded welding.

УНИКАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА БОЛЬШОЙ ГЛУБИНЕ В МАКСИМАЛЬНО ОГРАНИЧЕННЫХ УСЛОВИЯХ. *Д.И. Зайнулин[1], В.А. Лебедев[2], С.В. Максимов[2], В.Г. Пичак[2] ([1]«Greenfield Energy Limi-*

UNIQUE SYSTEM OF EQUIPMENT FOR AUTOMATIC ARC WELDING AT LARGE DEPTHS UNDER THE MAXIMUM LIMITED CONDITIONS. *D.I. Zainulin[1], V.A. Lebedev[2], S.V. Maksimov[2], V.G. Pichak[2] ([1]«Greenfield Energy Limited», Great Britain; [2]The E.O. Paton*

ted», Великобритания; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина). Компания «Greenfield Energy Limited» является разработчиком технологии и оператором энергоэффективных комплексов «Geoscart™»: отопительные системы замкнутого цикла, системы подготовки расходной горячей воды для производственных нужд, холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. Система «Geoscart™» была разработана для управления тепловыми потоками общественных и коммерческих зданий и предприятий с беспрерывным энергопотреблением высокой плотности: современные супермаркеты, отели повышенного класса, стационарные больничные комплексы, предприятия пищевой и фармакологической промышленности.

Одной из главных функциональных особенностей системы «Geoscart™» является возможность сохранения излишков тепловой энергии до возникновения ее дефицита. Компания использует геотермальные теплообменники специальной конструкции для быстрой и эффективной передачи излишков или дефицита, используя высокую плотность и теплоемкость геологических формаций, расположенных значительно ниже поверхностных грунтов. Стандартными глубинами для теплообменного процесса являются интервалы до 200 м ниже уровня поверхности земли. При строительстве теплообменников, количество которых может достигать несколько десятков в зависимости от размера объекта, используются принципы, схожие с методами, применяемыми в бурении нефтегазовых скважин, при этом функциональные различия требуют множества существенных отличий в технологии строительства. В частности, необходима гарантированная изоляция нижней части эксплуатационной колонны для замкнутых теплообменников во избежание потерь дорогостоящей теплопроводящей рабочей жидкости — раствора пропилен гликолей.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработана технология и оборудование, позволяющие способом мокрой дуговой сварки порошковыми проволоками в автоматическом режиме осуществлять сварку конструктивных элементов, надежно изолирующих нижнюю часть колонны теплообменника. Уникальность работы состоит в создании сварочного автомата, способного работать погруженным в трубу внутренним диаметром 119 мм на глубину 200 м в среду жидкого теплоносителя. При разработке полуавтомата использовались специальные миниатюрные моментные электроприводы для механизмов подачи электродной проволоки и сварочного перемещения. Был разработан специальный кабель со сварочными жилами и проводами управления, способными работать на большом расстоянии от источников питания дуги и системы управления. Разработана конструкция разматывателя кабеля с цифровой регистрацией положения автомата по длине трубы.

Предложена конструкция специального источника сварочного тока, способного компенсировать активные потери в длинном сварочном кабеле, а также регулировать динамические характеристики процесса сварки.

Разработка и внедрение специального сварочного автомата и технологии его применения позволяет повысить надежность теплообменника, сократить временные потери, рационально использовать полезную площадь, снизить финансовые затраты.

Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine). Company «Greenfield Energy Limited» is a developer of the technology and operator of energy-efficient systems «Geoscart™»: closed-cycle heating systems, systems for preparation of consumable hot water for industrial needs, refrigerating units and air conditioning systems. The «Geoscart™» system was developed to control the heat flows in public and commercial buildings and enterprises with a continuous consumption of high-density energy: modern supermarkets, high-class hotels, stationary hospitals, enterprises of food and pharmacological industries.

One of the main functional peculiarities of the «Geoscart™» system is the possibility of preserving excesses of the thermal energy up to a moment when it becomes lacking. The Company employs geothermal heat exchangers of a special design to rapidly and efficiently transfer excesses or deficit of the energy by using high density and heat capacity of geological formations located much lower than the surface soil. Standard depths for the heat exchanging process are ranges of up to 200 m below the ground surface.

The heat exchangers, the quantity of which may amount to several dozens depending on the size of a facility, are constructed based on the principles similar to those used in drilling of oil and gas wells. At the same time, there are functional differences that involve many substantial differences in the construction technology. In particular, the guaranteed insulation of the lower part of a flow string is required for closed heat exchangers to avoid losses of expensive heat-conducting working fluid, i.e. propylene glycol solution.

The E.O. Paton Electric Welding Institute developed the technology and equipment allowing joining of structural elements that reliably insulate the lower part of the string of a heat exchanger by the method of automatic wet arc welding using flux-cored wires. The unique character of the development consists in building of the automatic welding device capable of operating being immersed into a pipe with an inner diameter of 119 mm to a depth of 200 m in a liquid coolant. In development of the automatic device the use was made of special miniature torque electric drives for electrode wire feed and welding travel mechanisms. The special cable was developed, having welding conductors and control leads capable of operating at large distances from the arc and control system power supplies. The special design of the cable unreeler with digital registration of position of the automatic device along the length of the pipe was developed. Design of the special welding current source was suggested, capable of compensating for active losses in a long welding cable, as well as adjusting dynamic characteristics of the welding process.

The development and introduction of the special welding automatic device and its application technology allow improving reliability of the heat exchanger, reducing the time losses, rationally utilising the active area, and decreasing financial expenditures.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ 10Х9НМФБ С АУСТЕНИТНЫМИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫМИ СТАЛЯМИ ТИПА 08Х18Н10Т. *Л.С. Захаров, А.Р. Гаврик (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН*

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR WELDING OF DISSIMILAR JOINTS ON MARTENSITIC STEEL 10KH9NMFB TO AUSTENITIC CHROME-NICKEL STEELS OF THE 08KH18N10T TYPE. *L.S. Zakharov, A.R. Gavrik (The E.O. Paton Electric Welding Institute,*

Украины, Киев, Украина). Основной проблемой при сварке высокохромистых мартенситных и хромоникелевых аустенитных сталей при использовании аустенитных присадочных материалов является образование прослойки феррита в металле ЗТВ стали 10Х9НМФБ в зоне нагрева выше 1000 °С. Это приводит к снижению длительной прочности, вязкости и пластичности, а также повышает склонность к образованию холодных трещин в сварных соединениях.

Образование структурно-свободного феррита обычно связывают с диффузионным перемещением углерода из металла менее легированного хромом в зону более легированного. Однако меры, направленные на предотвращение диффузии углерода, такие как снижение погонной энергии сварки и дополнительное легирование никелем до 60–80 % не позволяют предотвратить образование феррита. В то же время при наплавке как высокохромистого безникелевого, так и чисто никелевого металла феррит полностью отсутствует.

По-видимому, образование зоны структурно свободного феррита связано с различием коэффициентов термического расширения аустенитного и ферритного металла. Под влиянием возникающих при этом напряжений интенсифицируется процесс диффузии углерода.

Дальнейшими исследованиями установлено, что предотвратить образование феррита в металле ЗТВ стали 10Х9НМФБ можно путем ее облицовки мартенситным наплавленным металлом типа 05Х6МФ без последующей термической обработки. Однако при выполнении многопроходной наплавки такого состава наблюдается образование феррита в металле ЗТВ на участке нагрева до температур 500–800 °С. Показано, что предупредить образование зерен феррита в этом случае позволяет применение модулированного тока. Импульсный характер подведения тепла от сварочной дуги значительно уменьшает как ширину ЗТВ, так и продолжительность нагрева металла в этом диапазоне температур.

С целю повышения работоспособности разнородных сварных соединений аустенитных и мартенситных сталей выбран состав промежуточного наплавленного слоя (0,04–0,06 % С, 5,0–7,0 % Cr, 0,8–1,1 % Mo, 0,15–0,30 % V), обеспечивающий равномерное распределение прочностных характеристик в переходной зоне. Разработаны новые низкоуглеродистые электроды АНЛ-10 для сварки модулированным током.

Как результат обобщения проведенных исследований разработана технология сварки сталей 10Х9МФБ и 08Х18Н10Т в конструкциях трубных систем современных энергетических блоков ТЭС. При этом после облицовки основного металла электродами АНЛ-10 предусмотрена возможность сварки основного шва в зависимости от предъявляемых требований как электродами аустенитного класса типа 10Х16Н25АМ6 (ЭА 395/9) без подогрева, так и электродами мартенситного класса типа 10Х9НМФБ (АНВ-8) с предварительным и сопутствующим подогревом.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ БРОНЗ. *В.М. Илюшенко, В.А. Аношин, А.Н. Бондаренко, Т.Б. Майданчук, Н.В. Скорина (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Медные сплавы, в том числе алюминиевые и оловянные бронзы, благодаря их ценным физико-механическим свойствам — коррозионной стойкости, достаточно высокому уровню прочности и пластичности, стойкости к кавитации и износу, широко применяются в различных отраслях про-

NASU, Kiev, Ukraine). The key problem in welding of martensitic high-chromium to austenitic chrome-nickel steels by using austenitic filler metals is formation of a ferrite interlayer in the HAZ metal of steel 10Kh9NMFB within the zone of heating to more than 1000 °C. This leads to decrease in long-time strength, toughness and ductility, and increases the sensitivity to cold cracking of the welded joints.

Formation of structurally free ferrite is usually related to diffusion of carbon from the metal that is less alloyed with chromium into the zone of a more chromium-alloyed one. However, the measures aimed at prevention of diffusion of carbon, such as decrease in welding heat input and extra alloying with nickel to 60–80 %, do not allow prevention of formation of ferrite. At the same time, there is no ferrite at all in cladding of both high-chromium nickel-free and pure nickel metal.

Formation of the zone of structurally free ferrite is likely to be associated with differences in the thermal expansion coefficients of austenitic and ferritic metals. The process of diffusion of carbon is intensified under the effect of stresses induced in this case.

Further investigations showed that formation of ferrite in the HAZ metal on steel 10Kh9NMFB can be prevented by cladding it with the martensitic deposited metal of the 05Kh6MF type without subsequent heat treatment. However, multi-pass cladding of this composition of metal results in formation of ferrite in HAZ in a region of heating to temperatures of 500–800 °C. It was shown that the use of the modulated current makes it possible to prevent formation of ferritic grains in this case. The pulsed character of heat input from the welding arc provides a considerable decrease in both width of HAZ and time of metal heating in this temperature range.

The composition of an intermediate deposited layer (0.04–0.06 % C, 5.0–7.0 % Cr, 0.8–1.1 % Mo, 0.15–0.30 % V) providing the uniform distribution of strength characteristics in the transition zone was chosen to improve performance of dissimilar welded joints between austenitic and martensitic steels. New low-carbon electrodes ANL-10 were developed for welding using the modulated current.

As a result of generalisation of the investigation results, the technology was developed for welding of 10Kh9MFB to 08Kh18N10T steels in structures of piping systems for modern power units of heat power stations. To achieve it, after cladding the base metal using electrodes ANL-10, the possibility is provided for welding of the base weld, depending on the imposed requirements, by using the austenitic grade electrodes of the 10Kh16N25AM6 (EA 395/9) type without preheating, and the martensitic grade electrodes of the 10Kh9NMFB (ANB-8) type with preliminary and concurrent heating.

DEVELOPMENT OF ELECTRODE MATERIALS FOR WELDING AND CLADDING OF MULTI-COMPONENT BRONZES. *V.M. Ilyushenko, V.A. Anoshin, A.N. Bondarenko, T.B. Maidanchuk, N.V. Skorina (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Copper alloys, including aluminium and tin bronzes, are widely applied in different industries (power machine building, ship building, metallurgy, etc.) owing to their valuable physical-mechanical properties, corrosion resistance, sufficiently high strength and ductility levels, and cavitation and wear resistance.

мышленности (энергомашиностроение, судостроение, металлургия и др.)

Многие из этих сплавов являются труднодеформируемыми и используются в литом состоянии, в связи с чем возникает необходимость изготовления литосварных конструкций, а также заварки дефектов бронзового литья. С целью экономии дефицитных цветных металлов широко используются также биметаллические изделия, изготавливаемые наплавкой рабочего слоя на стальную основу.

Ведущим технологическим процессом сварки и наплавки бронзы является дуговая сварка — в среде защитных газов и покрытыми электродами. Отсутствие проволок требуемого состава сдерживает применение механизированных процессов сварки и наплавки сложнолегированных бронз. Решить эту проблему можно путем создания специальных порошковых и композитных проволок. В Украине отсутствует также производство электродов для сварки и наплавки алюминиевых и оловянных бронз.

В ИЭС им. Е.О. Патона в последние годы выполнен комплекс научно-исследовательских работ по изучению особенностей сварки сложнолегированных бронз и созданию электродных материалов, обеспечивающих состав металла шва (наплавки), близкий к основному металлу и, соответственно, требуемые его эксплуатационные свойства.

Для сварки и наплавки в среде защитных газов (неплавящимся электродом) Al- и Mn–Al-бронз разработаны порошковые проволоки Св.ПП-Бр.АНМц и Св.ПП-БрМцАН, обеспечивающие требуемые механические свойства и химический состав наплавленного металла, мас. %: 7,5–10,0 Al, 1,0–2,0 Mn, 1,0–2,0 Ni, 2–3 Fe, Cu — ост. и 7,5–9,0 Al, 9–11 Mn, 1,0–2,0 Ni, 2–3 Fe, Cu — ост. соответственно. Для сварки и ремонта изделий из Al-бронзы на базе стержней из стандартной проволоки Бр.АМц9-2 разработаны также покрытые электроды марки АНБА-1. Шлако- и газообразующая основа покрытия обеспечивает устойчивое горение дуги, хорошее формирование швов и отделимость шлака, высокую стойкость против образования пор.

Для автоматической наплавки оловянно-фосфористой бронзы БрО10Ф1, используемой в энергомашиностроении, разработана специальная порошковая проволока марки Св.ПП-Бр.ОФ10-1. При оптимальной технике наплавки под флюсом проволока обеспечивает минимальное проплавление стали, отсутствие межкристаллитных проникновений, пор и трещин и требуемый химический состав наплавленного металла.

Для сварки и ремонта изделий из оловянных бронз общего назначения, в том числе художественной бронзы, разработаны покрытые электроды марки АНБО-1, обеспечивающие химический состав наплавленного металла, мас. %: 5–7 Sn, 0,15–0,25 P, 0,5–1,0 Mn, 0–0,8 Ni, Cu — ост. Металл типа оловянно-фосфористой бронзы БрО10Ф1 обеспечивают электроды марки АНБО-2. Разработанные электроды для сварки и наплавки оловянных бронз имеют хорошие сварочно-технологические свойства, по ряду показателей (отделимость шлака, стойкость против образования пор) превосходят зарубежные аналоги. Опытные партии разработанных порошковых проволок и электродов изготавливаются в НТК «ИЭС им. Е.О. Патона».

Many of these alloys are hard-to-deform and used in the cast state, this making it necessary to fabricate the cast-welded structures, as well as weld the bronze casting defects. Bimetal parts made by deposition of a working layer on the steel substrate are extensively applied to save scarce non-ferrous metals.

Arc welding, either gas-shielded or using covered electrodes, is the key technological process of welding and cladding. The absence of wires of the required composition limits application of the mechanised processes of welding and cladding of multi-component bronzes. This problem can be solved by developing special flux-cored and composite wires. Moreover, Ukraine does not produce electrodes for welding and cladding of aluminium and tin bronzes.

Recently, the E.O. Paton Electric Welding Institute has conducted a package of research to investigate peculiarities of welding of multi-component bronzes and develop electrode materials providing the weld (and cladding) metal with a composition close to the base metal and, accordingly, its required service properties.

Flux-cored wires Sv.PP-Br.ANMts and Sv.PP-BrMtsAN providing the required mechanical properties and chemical composition of the deposited metal, wt.%: 7.5–10.0 Al, 1.0–2.0 Mn, 1.0–2.0 Ni, 2–3 Fe, Cu — balance, and 7.5–9.0 Al, 9–11 Mn, 1.0–2.0 Ni, 2–3 Fe, Cu — balance, respectively, were developed for gas-shielded (covered electrode) welding and cladding of Al and Mn-Al bronzes. Covered electrodes of the ANBA-1 grade were developed on the basis of the rods of standard wire Br.AMts9-2 for welding and repair of parts of Al bronze. The slag- and gas-forming base of a covering provides stable arcing, good weld formation and detachability of slag, and high porosity resistance.

Special flux-cored wire of the Sv.PP-Br.OF10-1 grade was developed for automatic cladding of tin-phosphorus bronze BrO10F1 used in power machine building. With the optimal submerged-arc cladding procedure, the wire ensures minimal penetration of steel, absence of intercrystalline inclusions, pores and cracks, and required chemical composition of the deposited metal.

Covered electrodes of the ANBO-1 grade providing the following chemical composition of the deposited metal, wt.%: 5–7 Sn, 0.15–0.25 P, 0.5–1.0 Mn, 0–0.8 Ni, Cu — balance, were developed for welding and repair of general-application tin bronzes, including decorative bronzes. Metal of the type of tin-phosphorus bronze BrO10F1 is provided by electrodes of the ANBO-2 grade. The developed electrodes for welding and cladding of tin bronzes feature good welding-operating properties, and are superior in a number of properties (detachability of slag, porosity resistance) to foreign analogues. Experimental batches of the developed flux-cored wires and electrodes are manufactured by the Science and Technology Complex «The E.O. Paton Electric Welding Institute».

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ТОЛСТОГО МЕТАЛЛА. *В.М. Илюшенко, А.В. Ганчук, В.А. Лысенко, В.Н. Петриченко, Д.Н. Степченко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В последние годы все большее применение находят гибридные и комбинированные спо-

HIGH-EFFICIENCY TECHNOLOGY FOR WELDING OF THICK METAL. *V.M. Ilyushenko, A.V. Ganchuk, V.A. Lysenko, V.N. Petrichenko, D.N. Stepchenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The hybrid and combined arc welding methods providing an increased efficiency of the process due to a simultaneous use

собы дуговой сварки, обеспечивающие повышение эффективности процесса за счет одновременного использования нескольких источников нагрева. К ним относятся гибридная лазерно-дуговая сварка, комбинированные способы плазменно-дуговой сварки и др.

Отличительной особенностью разработанного в ИЭС им. Е.О. Патона комбинированного двухдугового процесса является использование в качестве первого источника нагрева погруженной МАГ-дуги, обеспечивающей глубокое проплавление при выполнении корневого прохода. При сварке электродной проволокой диаметром 1,2 мм на плотностях тока $i \geq 300$–350 А/мм^2 глубина проплавления составляет 10–12 мм, процесс характеризуется высокой стабильностью, отсутствием разбрызгивания электродного металла, хорошим формированием шва.

Для исключения электромагнитного взаимодействия дуг сварка осуществляется раздвинутыми дугами, причем вторая дуга выполняется под флюсом расщепленным электродом проволокой диаметром 1,2–2,0 мм. Скорость перемещения двухдугового аппарата (скорость сварки) при двусторонней однопроходной сварке металла толщиной 30–40 мм составляет 30–40 м/ч, что обеспечивает полное заполнение разделки, постоянство сечения шва и хорошее его формирование.

Выполнен комплекс экспериментальных исследований по оптимизации конструктивных элементов подготовки кромок стыковых соединений, что позволило уменьшить сечения сварных швов при применении данного комбинированного процесса, снизить их металлоемкость и обеспечить экономию сварочных материалов (~30 %). По сравнению с широко применяемой в настоящее время технологией механизированной сварки многослойными швами автоматизированный комбинированный процесс обеспечивает существенное (в 6–8 раз) повышение производительности.

Новая технология автоматизированной сварки с использованием комбинированных источников нагрева может быть рекомендована для промышленного освоения при изготовлении сварных толстостенных крупногабаритных металлоконструкций.

of several heat sources are finding now an increasingly wider application. They include hybrid laser-arc welding, combined methods of plasma-arc welding, etc.

A distinctive feature of the combined twin-arc process developed by the E.O. Paton Electric Welding Institute is the use of the immersed MAG-arc as a first heat source, which provides deep penetration in making the root pass. In welding with the 1.2 mm diameter electrode wire at current densities of $i \geq 300$–350 A/mm^2 the penetration depth is 10–12 mm, and the process is characterised by a high stability, absence of spattering of the electrode metal and good weld formation.

To eliminate electromagnetic interaction of the arcs, welding is performed with the separated arcs, the second arc burning under a flux layer using the 1.2–2.0 mm diameter split electrode wire. The speed of movement of the twin-arc device (welding speed) in two-sided one-pass welding of 30–40 mm thick metal is 30–40 m/h, this providing complete filling up of the groove, consistent cross section of the weld and its good formation.

The package of experimental studies was carried out to optimise design elements of edge preparation for the butt joints, which made it possible to reduce the cross section of the welds when using this combined process, decrease their metal consumption, and provide saving of the welding consumables (~ 30 %). Compared to the widely applied technology of mechanised welding with multilayer welds, the automated combined process provides a substantial (6–8 times) increase in productivity.

The new automated welding technology using the combined heat sources can be recommended for commercial application to fabricate thick-walled large-size metal welded structures.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ СВАРКЕ ЛИСТОВ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ. *С.В. Кабыш, Г.Б. Есауленко, М.Г. Менжерес (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Проведено экспериментально-теоретическое изучение особенностей термомеханических процессов, реализующихся в зоне соединения полимерных (высокомолекулярный полиэтилен и полипропилен) листов толщиной 5 и 10 мм при их тепловой и ультразвуковой сварке. Исследовались стыковые и нахлесточные соединения с различным углом разделки свариваемых кромок. Параметры тепловой сварки варьировались в следующих пределах: температура нагревательного инструмента 160–300 °С; сварочное давление 0,01–0,5 МПа; время нагрева и время технологической паузы выбирались на основе анализа геометрии и размеров сварочного грата. При ультразвуковой сварке амплитуда колебаний волновода варьировалась в пределах 20–45 мкм; вводимая мощность 600–1400 Вт; сварочное усилие выбиралось из условия возможности образования акустического контакта (нижнее значение) и условия защемления колебаний волновода (верхнее значение). Морфологические исследования проводились с использованием оптического микроскопа в поляризованном свете.

Установлено, что независимо от способа сварки характер термических циклов, геометрия, размеры и структура шва

PECULIARITIES OF FORMATION OF SUPERMOLECULAR STRUCTURE OF THE JOINING ZONE IN ULTRASONIC AND THERMAL WELDING OF CRYSTALLINE POLYMERIC SHEETS. *S.V. Kabysh, G.B. Esaulenko, M.G. Menzheres (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Experimental-theoretical investigation was carried out to study peculiarities of the thermomechanical processes occurring in the joining zones on polymeric (supermolecular polyethylene and polypropylene) sheets 5 and 10 mm thick in their thermal and ultrasonic welding. Butt and overlap joints with different groove angles on the weld edges were investigated. Parameters of thermal welding were varied within the following ranges: heating tool temperature — 160–300 °C, welding pressure — 0.01–0.5 MPa, and time of heating and time of the process pause were chosen on the basis of analysis of geometry and size of the welding flash. In ultrasonic welding the amplitude of oscillations of a wave guide was varied from 20 to 25 μm, power input — from 600 to 1400 W, and welding force was chosen on the basis of the possibility of formation of the acoustic contact (lower value) and condition of jamming of oscillations of the wave guide (higher value). Morphological investigations were carried out by using the optical microscope in polarised light.

It was established that independently of the welding method the character of thermal cycles, geometry, size and structure of the weld are determined by the value of the reduced

определяются величиной приведенного коэффициента интенсивности режима, который характеризует совместное действие подведенной (диссипированной) энергии и сварочного давления. С использованием разработанных методик изучено влияние каждого из основных параметров режимов сварки на особенности формирования микрогетерогенной структуры сварных соединений. Показано, что признаком оптимальности технологического режима сварки является такая структура, при которой в зоне сплавления образуются кристаллиты, одновременно принадлежащие обеим свариваемым деталям. Систематизированы макро- и микроструктурные зоны сварных соединений, разработаны рекомендации по технологии тепловой и ультразвуковой сварки листов из кристаллических полимеров.

coefficient of intensity of the parameters, which characterises the combined effect of the power (dissipated) input and welding pressure. The effect of each of the main welding parameters on peculiarities of formation of a microheterogeneous structure of the welded joints was studied by using the developed procedures. It was shown that an indicator of optimality of the welding process parameters is a structure at which the crystalline grains simultaneously belonging to both pieces welded are formed in the fusion zone. Macro- and microstructural zones of the welded joints were systematised, and recommendations on application of the technology for thermal and ultrasonic welding of crystalline polymeric sheets were worked out.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНОЙ ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОРМЫ ПОД РЕМОНТНУЮ СВАРКУ. *В.Д. Кассов, А.М. Кущий (Донбасская гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Подготовка конструкций сложной объемно-поверхностной формы под ремонтную сварку может проводиться различными способами, наиболее распространенным из которых являются воздушно-дуговая резка (ВДР) плавящимся электродом. Она может выполняться в вариантах разделительной резки, при которой процесс осуществляется за один проход и последовательной строжки (поверхностной резки) с углублением дуги в разрезаемый металл после каждого прохода. Исследовались оба варианта при ручном и механизированном ведении процесса. С целью увеличения режущих свойств дуги воздух подается двумя близко расположенными параллельными струями, которые интенсивно обжимают дугу.

В результате исследования параметров воздушно-дуговой резки и строжки доказано, что при прямой полярности обеспечивается высокая устойчивость процесса. Величину расхода воздуха для обеспечения стабильности процесса необходимо выбирать минимально возможной при условии соответствия качества строжки необходимым требованиям, так как увеличение расхода воздуха увеличивает число замыканий перед стабильным горением дуги.

Также установлено, что вылет электрода при воздушно-дуговой строжке целесообразно выбирать минимально возможным, но большим, чем разрывная длина дуги на данном режиме. Оптимальная стабильность процесса и чистота обработки наблюдается при расстоянии между столбом дуги и местом подачи воздуха 8–16 мм.

Сравнительное осциллографирование процесса строжки с пульсацией воздуха и без нее показало более высокую стабильность дуги в первом случае. При строжке с поперечными колебаниями электрода можно обеспечить снятие небольшого слоя металла с поверхности изделия при обеспечении необходимой ширины прострагиваемой канавки. Разработана приставка для воздушно-дуговой строжки, позволяющая получить стабильное горение дуги в условиях пульсации потока воздуха.

UPGRADING OF THE TECHNOLOGY FOR SURFACE PREPARATION OF METAL STRUCTURES OF A COMPLEX VOLUME-SURFACE SHAPE FOR REPAIR WELDING. *V.D. Kassov, A.M. Kushchij (Donbas State Mechanical Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine)* Preparation of structures of a complex volume-surface shape for repair welding can be performed by different methods, the most common of which is air-arc cutting (AAC) using metal electrodes. It can be performed by variants of severing cutting, at which the process is carried out in one pass, and successive gouging (surface cutting) by deepening the arc into the metal being cut after making each pass. Both variants with manual and mechanised performance of the process were studied. To improve cutting properties of the arc, air is fed in two, closely located parallel jets, which intensively squeeze the arc.

As proved by investigation of the parameters of air-arc cutting and gouging, the high stability of the process is ensured at a straight polarity. The selected value of flow rate of air to ensure stability of the process should be as low as possible, providing that the quality of gouging corresponds to the requirements, as increase in the flow rate of air increases the quantity of short circuits before the stable burning of the arc.

Also, it was established that the electrode extension in air-arc gouging should be selected to be as minimal as possible, but larger than the discontinuous length of the arc at the given parameters. The optimal stability of the process and finishing are observed at a distance between the arc column and air feed point equal to 8–16 mm.

Comparative oscillography of the gouging process with and without air pulsation showed a higher stability of the arc in the first case. In gouging with transverse oscillations of the electrode it is possible to remove a small metal layer from the surface of a workpiece by providing the required width of the gouged groove. An attachment was developed for air-arc gouging, providing the stable arcing under conditions of pulsation of the air flow.

ОСОБЕННОСТИ ПАЙКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ГЕРМОВВОДОВ. *В.В. Квасницкий[1], А.М. Костин[2], А.В. Лабарткава[2], Ал.В. Лабарткава[2] ([1]НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина; [2]Нац. ун-т кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина).* В современной промышленности широко применяются конструкции и их узлы из керамики и металла. Характерным примером такого узла является ме-

PECULIARITIES OF BRAZING OF CERMET PRESSURE SEALS. *V.V. Kvasnitsky[1], A.M. Kostin[2], A.V. Labartkava[2], Al.V. Labartkava[2] ([1]National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine; [2]Admiral Makarov National Institute of Ship-Building, Nikolaev, Ukraine).* Structures and assemblies of metal and ceramics are widely applied in modern industry.

таллокерамический гермоввод для вакуумного оборудования.

Наиболее распространенным способом соединения керамики с металлом является пайка. Предпочтение обычно отдается пайке активными припоями и пастами, широкий спектр которых выпускается на промышленной основе. Однако существующие промышленные припои не всегда удовлетворяют существующим требованиям к паянным соединениям. Основными проблемами при пайке металла с керамикой являются остаточное напряжения и плохое смачивание керамики. Характеристики смачивания керамики и ковара должны быть близкими.

Исследования паяных соединений проводились с помощью растрового рентгеноспектрального микроскопа-микроанализатора РЕММА-102-02 и рентгеновского дифрактометра ДРОН-УМ1 в монохроматическом CuK_α-излучении методом шагового сканирования. В качестве монохроматора использовался монокристалл графита.

В работе исследовано растекание по ковару (сплав 29НК), керамике Al_2O_3 и ВК94-1 в вакууме $1\cdot10^{-2}$ Па, для активного припоя СТЕМЕТ-1203 и припоя 50 % Ti–Cu 50 % (по объему). Краевой угол смачивания при 1000 °С Ti–Cu по ковару составил 5±2°, а СТЕМЕТ-1203 — 14±2°. Наилучшее растекание по корундовой керамике ВК94-1 показал припой Ti–Cu с краевым углом смачивания 20±2°. На основе проведенных исследований для пайки металлокерамических гермовводов был рекомендован припой 50 % Ti–Cu 50 % (по объему).

Исследования показали, что в паяном шве образуются три фазовые составляющие с кубической решеткой: Cu_2Ti_4O, Ti_3Cu_3O и Al_4Cu_9. Интерметаллида типа Ti_xFe_y, ведущего к образованию трещин, не обнаружено.

Разработана технология пайки металлокерамического гермоввода, обеспечивающая низкий уровень остаточных напряжений.

A typical example of such an assembly is a cermet pressure seal for vacuum equipment.

The most common method for joining ceramics to metal is brazing. Usually, the preference is given to brazing using active filler alloys and pastes, which are commercially produced in wide ranges. However, available commercial filler alloys do not always meet existing requirements imposed on the brazed joints. The main problems in brazing of metal to ceramics are residual stresses and poor wetting of ceramics. Characteristics of wetting of ceramics and Kovar should be close to each other.

Investigations of the brazed joints were carried out by using scanning X-ray spectral microscope — microanalyser REMMA-102-02 and X-ray diffractometer DRON-UM1 in monochromatic CuK_α-radiation by the step scan method. The graphite single crystal was used as a monochromator.

Spreading on Kovar (alloy 29NK) and on ceramics Al_2O_3 and VK94-1 in $1\cdot10^{-2}$ Pa vacuum for reactive filler alloy STEMET-1203 and filler alloy 50 % Ti–Cu 50 % (vol.%) was investigated. The contact angle on Kovar at 1000 °C for Ti–Cu was 5±2°, and that for STEMET-1203 was 14±2°. The best spreading on corundum ceramics VK94-1 was exhibited by filler alloy Ti–Cu with a contact angle of 20±2°. Filler alloy 50 % Ti–Cu 50 % (vol.%) was recommended on the basis of the conducted investigations for brazing of cermet pressure seals.

The investigations showed that three phase components with a cubic lattice form in the brazed seal: Cu_2Ti_4O, Ti_3Cu_3O and Al_4Cu_9. Intermetallic of the Ti_xFe_y type leading to cracking was not detected.

The technology was developed for brazing of cermet pressure seals, providing the low level of residual stresses.

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИАЦИОННО-ПУЧКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. *В.В. Квасницкий[1], Л.И. Маркашова[2], В.Ф. Квасницкий[3], Н.Н. Коваль[4], Ю.Ф. Иванов[4], В.В. Углов[5], Н.Н. Черенда[5], И.Л. Левченко[1] ([1]НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [3]Нац. ун-т кораблестроения, Николаев, Украина; [4]Ин-т сильноточной электроники, Томск, Россия; [5]Белорус. гос. ун-т, Минск, Беларусь).* В работе рассмотрены закономерности формирования модифицированного поверхностного слоя сталей и жаропрочных соединений при диффузионной сварке в вакууме (ДСВ). Модифицирование соединяемых поверхностей проводили путем их обработки низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками (НСЭП) в вакууме 10^{-2} Па и высокоэнергетическими плазменными потоками (ВПП) в среде инертного газа или водорода при давлении $1{,}3\cdot10^{2}$–$6{,}5\cdot10^{3}$ Па. Определены режимы модифицирования поверхностей армко-железа, аустенитных хромоникелевых сталей и жаропрочных никелевых сплавов.

Модифицированные слои всех исследованных материалов вне зависимости от способа обработки имеют кристаллическое строение с субмикрокристаллической структурой. Плотность дислокаций в модифицированном слое достигает $2\cdot10^{11}$ см$^{-2}$. В жаропрочном сплаве наибольшая плотность дислокаций формируется по границам упрочняющей фазы.

Высокие дисперсность структуры, плотность дислокаций и уровень напряжений 3-го рода свидетельствуют о высоком уровне энергии, аккумулированной в модифициро-

DIFFUSION BONDING OF METALS USING RADIATION-BEAM TECHNOLOGIES. *V.V. Kvasnitsky[1], L.I. Markashova[2], V.F. Kvasnitsky[3], N.N. Koval[4], Yu.F. Ivanov[4], V.V. Uglov[5], N.N. Cherenda[5], I.L. Levchenko[1] ([1]National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [3]Admiral Makarov National Institute of Ship Building, Nikolaev, Ukraine; [4]Institute of High-Current Electronics, Tomsk, Russia; [5]Belarus State University, Minsk, Belarus).* The study considers principles of formation of a modified surface layer of steels and heat-resistant compounds in vacuum diffusion bonding (VDB). Modification of the mating surfaces was carried out by treating them with low-energy high-current electron beams (LHEB) in vacuum of 10^{-2} Pa and high-energy plasma flows (HPF) in an atmosphere of inert gas or hydrogen under a pressure of $1.3\cdot10^{2}$–$6.5\cdot10^{3}$ Pa. Parameters were identified for modification of the surfaces of Armco iron, austenitic chrome-nickel steels and nickel superalloys. The modified layers on all investigated materials have crystalline constitution with a sub-microcrystalline structure, independently of the treatment method. The density of dislocations in the modified layer amounts to $2\cdot10^{11}$ cm^{-2}. In a superalloy, the highest dislocation density forms along the boundaries of the strengthening phase.

The high dispersion of the structure, dislocation density and level of the third-kind stresses are indicative of a high level of the energy accumulated in the modified layer. This leads to deformation activation of the surfaces and allows a substantial decrease in the diffusion bonding temperature. In bonding of Armco iron and austenitic steels, it is expedient

ванном слое, что способствует деформационной активации поверхностей и позволяет существенно снизить температуру диффузионной сварки. При сварке армко-железа и аустенитных сталей целесообразно модифицировать обе поверхности, а дисперсионно-упрочняемых никелевых сплавов — одну из поверхностей, а вторая деталь должна находиться в состаренном состоянии, что локализует в зоне стыка пластические деформации и обеспечивает равнопрочность соединений с основным металлом.

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИАЦИОННО-ПУЧКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. *В.В. Квасницкий[1], Л.И. Маркашова[2], В.Ф. Квасницкий[3], Н.Н. Коваль[4], Ю.Ф. Иванов[4], В.В. Углов[5], Н.Н. Черенда[5], И.Л. Левченко[1] ([1]НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [3]Нац. ун-т кораблестроения, Николаев, Украина; [4]Ин-т сильноточной электроники, Томск, Россия; [5]Белорус. гос. ун-т, Минск, Беларусь).* В работе рассмотрены закономерности формирования легированного элементами-депрессантами поверхностного слоя жаропрочных никелевых сплавов и их соединения при пайке с давлением. Легирование проводили путем переплавки предварительно нанесенного на поверхность элемента-депрессанта с использованием низкоэнергетического сильноточного электронного пучка (НСЭП) или высокоэнергетического потока плазмы (ВПП) инертного газа или водорода. В качестве элемента-депрессанта использовали металл, который вводится в жаропрочные сплавы в небольших концентрациях для повышения жаропрочности и стойкости против высокотемпературной солевой коррозии, но при более высоких концентрациях снижает температуру плавления жаропрочного никелевого сплава. Таким образом, поверхностный слой представляет собой по сути припой на основе высокопрочного никелевого сплава с металлом-депрессантом. Для выравнивания химического состава в зоне стыка уже в процессе пайки толщина прослойки припоя в стыке уменьшается путем приложения небольшого давления сжатия.

Определены режимы легирования жаропрочных сплавов с применением НСЭП и ВПП, а также пайки с давлением. Исследования структуры, химического и фазового состава показали высокую степень однородности металла паяного соединения, а механические испытания показали, что свойства соединений не ниже 90 % прочности и коррозионной стойкости основного металла. Легированный поверхностный слой играет роль не только припоя, но и способствует развитию пластических деформаций в стыке за счет структурных напряжений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕЗОНАНСНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ. *А.Е. Коротынский (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* При резонансной дуговой сварке с использованием индуктивно емкостных преобразователей (ИЕП) наилучшее формирование шва достигается при дугах длиной $l_д \approx 4–5$ мм. В этом случае реализуется режим мелкокапельного и даже струйного переноса электродного металла. Однако на токах ниже 120 А наблюдается нарушение струйного переноса металла из-за нестабильного напряжения на дуге. Перенос металла становится комбинированным — струйным с отдельными крупными каплями, что приводит к неравномерности формирования сварного соединения.

В результате исследований, проведенных в работе, показано, что устранение этого недостатка в системе с саморегу-

to modify both surfaces, and in bonding of precipitation-hardening nickel alloys — to modify one of the surfaces, whereas the second piece should be in the aged state, thus localising plastic strains in the bond zone and providing the bonds having strength equal to that of the base metal.

BRAZING OF METALS USING RADIATION-BEAM TECHNOLOGIES. *V.V. Kvasnitsky[1], L.I. Markashova[2], V.F. Kvasnitsky[3], N.N. Koval[4], Yu.F. Ivanov[4], V.V. Uglov[5], N.N. Cherenda[5], I.L. Levchenko[1] ([1]National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [3]Admiral Makarov National Institute of Ship Building, Nikolaev, Ukraine; [4]Institute of High-Current Electronics, Tomsk, Russia; [5]Belarus State University, Minsk, Belarus).* The study considers principles of formation of the surface layer alloyed with depressant elements on nickel superalloys and their joints in pressure brazing. Alloying was performed by remelting of the depressant elements preliminarily deposited on the surface by using a low-energy high-current electron beam (LHEB) or a high-energy plasma flow (HPF) in an atmosphere of inert gas or hydrogen. The depressant element was a metal added to superalloys in small concentrations to increase heat resistance and resistance to high-temperature salt corrosion. However, at higher concentrations it decreases the melting temperature of nickel superalloys. Therefore, in fact, the surface layer is a filler metal based on a high-strength nickel alloy containing the depressant element. To blend chemical composition in the joining zone, thickness of the filler metal interlayer in the joint is decreased during the brazing process due to application of a low compressive pressure.

Parameters of alloying of superalloys by using LHEB and HPF, as well as pressure brazing were identified. Investigations of structure, chemical and phase compositions showed a high degree of homogeneity of the brazed joint metal. At the same time, mechanical tests showed that strength and corrosion resistance of the joints were not lower than 90 % of those of the base metal. The alloyed surface layer does not only act as a filler metal, but also promotes development of plastic strains in the joints due to structural stresses.

INVESTIGATION OF SELF-ADJUSTMENT PROCESSES IN RESONANCE ARC WELDING. *A.E. Korotynsky (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* In resonance arc welding using inductance-capacitance transducers (ICT) the best weld formation is achieved at arc length $l_a \approx 4–5$ mm. In this case the mode of a fine-drop or even spray electrode metal transfer is realised. However, at a current below 120 A the spray metal transfer is violated because of unstable arc voltage. The metal transfer becomes of the combined type — spray with individual coarse droplets, this leading to a non-uniform formation of the welded joint.

As shown by the investigations, this drawback in a system with self-adjustment of the arc can be eliminated owing to adaptive control of characteristics of the resonance circuit.

лированием дуги возможно путем адаптивного управления характеристик резонансного контура. Предложено два метода саморегулирования в таких устройствах:
• модуляция добротности сварочного контура;
• автоматическое регулирование вторичного напряжения сварочного трансформатора на основе выбранного критерия.
На основе полученных уравнений статистической характеристики (саморегулирование резонансного источника) определена основная его характеристика — коэффициент саморегулирования по току.
Приведенные результаты экспериментальных исследований предложенных вариантов показали, что лучшие динамические характеристики могут быть достигнуты в схемах с модуляцией добротности сварочного контура.
Именно его величина и параметры нестабильности определяют качество саморегулирования.

Two methods are suggested for self-adjustment in such devices:
• modulation of Q-factor of the welding circuit;
• automatic adjustment of secondary voltage of the welding transformer based on the selected criterion.
Main characteristic of the resonant-mode power supply, i.e. current self-adjustment coefficient, was determined on the basis of the derived statistical characteristic equations.
Results of experimental investigations of the suggested variants showed that the best dynamic characteristics can be achieved in circuits with modulation of the welding circuit Q-factor.
It is this value and instability parameters that determine the quality of self-adjustment.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕЙЛОРОВСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ. *А.Е. Коротынский, И.В. Вертецкая, В.А. Шапка (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Ряд задач в области сварки и других родственных технологий базируются на решении вопросов, связанных с анализом работы нелинейного колебательного контура. К ним относятся: анализ процессов в сварочном контуре, нелинейность которого определяется ВАХ дуги; анализ процессов саморегулирования сварочной дуги; оптимальный расчет инструмента при высокочастотной механической проковке, где нелинейность связана с режимами работы пьезоэлемента и др.
Для решения такого класса задач Г.Е. Пуховым был предложен и разработан операторный метод дифференциального тейлоровского преобразования (ДТП), основанный на решении нелинейных дифференциальных уравнений с помощью рядов Тейлора.
Основное отличие ДТП от интегральных преобразований заключается в том, что переход от оригинала к изображению производится дифференцированием оригинала. В основу метода положена идея в преобразовании функции оригинала от непрерывного аргумента (например, времени) в функцию изображения от дискретного аргумента, коэффициенты которого называются дискретами. Разработанная в ДТП система правил перехода позволяет создавать изображающие уравнения, практически не прибегая к дифференцированию. Процедуры в области изображения производятся на уровне алгебраических преобразований.
Обратный переход от изображения к оригиналу осуществляется достаточно просто — путем применения рядов Тейлора. На основе такого подхода в докладе показана эффективность анализа процессов в контуре.

APPLICATION OF DIFFERENTIAL TAYLOR TRANSFORM IN PROBLEMS OF INVESTIGATION OF THE PROCESSES OCCURRING IN NONLINEAR OSCILLATORY CIRCUIT. *A.E. Korotynsky, I.V. Vertetskaya, V.A. Shapka (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* There are issues in the field of welding and related technologies that are based on solving the problems associated with analysis of operation of the nonlinear oscillating circuit. They include: analysis of the processes occurring in the welding circuit, whose nonlinearity is determined by the volt-ampere characteristic of the arc, analysis of the processes of self-adjustment of the arc, optimal design of the tool used for high-frequency mechanical peening, where nonlinearity is associated with operating conditions of a piezoelectric cell, etc.
To solve this class of the problems, G.E. Pukhov suggested and developed an operator method of differential Taylor transform (DTT), which is based on solving nonlinear differential equations by using the Taylor series.
The main difference of DTT from integral transformations lies in the fact that transition from an original to an image is performed by differentiation of the original. The method is based on the idea of transformation of the original function of a continuous argument (e.g., time) to the image function of a discrete argument, the coefficients of which are called discrete values. The system of transition rules developed in DTT allows deriving the image equations without differentiation. Procedures in the image field are performed at a level of algebraic transformations.
The reverse transition from the image to the original is carried out sufficiently simply, i.e. by using the Taylor series. The paper shows the efficiency of analysis of the processes occurring in the circuit on the basis of this approach.

ОСОБЕННОСТИ ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ. *А.Е. Коротынский, Н.П. Драченко, В.А. Шапка (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Некоторые виды современных технологических процессов требуют использования мощных импульсных источников питания (ИИП). В настоящее время в схемах высокоэффективных ИИП применяются энергетические накопители на суперконденсаторах (СК) с двойным электрическим слоем. По некоторым характеристикам СК весьма схожи с Li-Ion аккумуляторами, но в отличие от них имеют способность поглощать или отдавать электрические импульсы

PECULIARITIES OF CHARGING-DISCHARGING PROCESSES IN WELDING CIRCUIT. *A.E. Korotynsky, N.P. Drachenko, V.A. Shapka (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Some types of modern technological processes require the use of a high-capacity switch-mode power supply (SMPS). At present the circuits of high-efficiency SMPS comprise energy stores based on supercapacitors (SC) with a double electric layer. SCs are very similar to Li-Ion accumulators in some characteristics, but unlike these accumulators they are capable of absorbing or returning the high-power electric pulses. They are little critical to cyclicity and level of the charging current,

большой мощности. Они мало критичны к цикличности и уровню зарядного тока, что накладывает свои особенности на схемотехнику устройств их заряда. В отличие от обычных зарядных устройств зарядное устройство для СК использует гибкие адаптивные алгоритмы, позволяющие максимально эффективно заряжать СК не только в базовом режиме стабильной мощности заряда, но и производить их заряд при поглощении мощных импульсов. Уровень зарядно-разрядных токов СК определяется исходя из требований диссипации тепла, выделяемого в активной зоне СК в процессе его работы. В связи с этим необходимо соблюдать условие, при котором среднеквадратичные значения токов заряда — разряда в цикле не должны превышать максимального значения номинального тока для каждого конкретного типа СК. Время рабочего цикла определяется индивидуально для конкретного варианта применения СК и его конструктивного исполнения. Обычно, для получения заданных величин емкости и напряжения СК объединяют в батареи с последовательно-параллельным соединением элементов — БаСК, что, в свою очередь, требует применения дополнительных аппаратных средств (эквалайзеров) для выравнивания напряжений на отдельных ячейках БаСК в процессе ее работы.

Предложенные схемы заряда СК с использованием эквалайзера могут найти применение в различных мобильных сварочных комплексах, в системах накопления и рекуперации электрической энергии, а также в установках для контактной сварки. Весьма перспективно их применение в импульсно-дуговых процессах и других приложениях.

this setting certain peculiarities on circuitry of their charging devices. In contrast to conventional charging devices, the charging device for SCs uses flexible adaptive algorithms, which permit charging SCs to the maximum possible degree not only in the basic mode of stable power of the charge, but also charging them at absorption of high-power pulses. The level of charging-discharging currents of SCs is determined on the basis of requirements for dissipation of the heat released in the active zone of SC during its operation. In this connection, it is necessary to meet the condition at which the root-mean-square values of the charging-discharging currents should not exceed the maximal value of the rated current for each specific type of SC.

The time of a work cycle is determined individually for a specific variant of application of SC and its design embodiment. Normally, to provide the preset values of capacitance and voltage, SCs are joined into banks with series-parallel connection of the elements, BaSC, this in turn requiring the use of additional hardware (equalisers) for equalising of voltages at individual cells of BaSC during its operation.

The suggested circuits of charging SCs by using the equaliser can find application in different mobile welding complexes, systems for storing and recuperation of the electric power, as well as in units for resistance welding. They hold high promise for the pulsed-arc processes and other applications.

НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ И РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ. *В.М. Кулик, Э.Л. Демченко, Д.В. Васильев, В.П. Елагин (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины разработаны высоколегированные хромомарганцевые электроды и самозащитная порошковая проволока для сварки и наплавки аустенитным металлом без подогрева и отпуска трудносвариваемых закаливающихся и разнородных сталей, в том числе 110Г13Л, горнодобывающего, горно-обогатительного и др. оборудования. Они приемлемы для заварки дефектов литья, ремонтной сварки труднодоступных участков конструкций, насыщенных в процессе эксплуатации серой и другими загрязнениями. Их производство освоено НИЦ МСН ИЭС им. Е.О. Патона, стоимость — в 2–3 раза ниже хромоникелевых сварочных материалов.

Стержни и оболочка новых материалов выполняются из недорогой низкоуглеродистой стали, покрытие и заполнитель обеспечивают требуемое легирование наплавленного металла, стабильное горение дуги, газошлаковую защиту зоны сварки, связывание водорода. Сварка новыми материалами характеризуется умеренным разбрызгиванием электродного металла, удовлетворительной отделимостью от шва шлаковой корки, устойчивостью против образования пор и трещин в сварных соединениях.

Повышенное содержание углерода (до 0,39 %) и азота в металле, наплавленном электродами АНВМ-2 и АНВМ-3 (проволокой ПП-АНВМ-3), обеспечивает высокие значения его предела текучести — 380–540 и 420–610 МПа, временного сопротивления — 610–720 и 670–760 МПа с достижением стыковым соединением прочности 910 МПа. Сужение мартенситной прослойки в зоне сплавления с легированной сталью уменьшает отрицательное влияние ее на ударную вязкость, а склонность хромомарганцевого металла шва к деформационному упрочнению (возрастание твердости до *HRC* 39–50) способствует увеличению

NEW ELECTRODE MATERIALS FOR WELDING AND CLADDING OF HIGH-STRENGTH AND DISSIMILAR STEELS. *V.M. Kulik, E.L. Demchenko, D.V. Vasiliev, V.P. Elagin (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine developed high-alloy chrome-manganese electrodes and self-shielding flux-cored wire for welding and cladding of hard-to-weld hardening and dissimilar steels, including 110G13L, mining, ore mining and processing and other equipment with austenitic metal without preheating and tempering. They can be used for welding of casting defects, repair welding of hard-to-reach areas of structures that become saturated with sulphur and other contaminants during operation. Their production was mastered by the Engineering Centre for Welding and Cladding Consumables of the E.O. Paton Electric Welding Institute, their cost being 2–3 times lower than cost of the chrome-nickel welding consumables.

The rods and sheaths of the new consumables are made from inexpensive low-carbon steel, the covering and filler providing the required alloying of the deposited metal, stable arcing, gas-slag shielding of the welding zone, and fixing of hydrogen. Welding using the new consumables is characterised by moderate spattering of the electrode metal, satisfactory detachability of the slag crust from the weld, and resistance to pores and cracks in the welded joints.

Increased carbon (up to 0.39 %) and nitrogen contents of the metal deposited with electrodes ANVM-2 and ANVM-3 (wire PP-ANVM-3) provide the high values of its yield strength, i.e. 380–540 and 420–610 MPa, and tensile strength, i.e. 610–720 and 670–760 MPa, with the butt joint achieving strength of 910 MPa. Narrowing of a martensite interlayer in the zone of fusion to alloyed steel decreases the negative effect on impact toughness, whereas the sensitivity of the chrome-manganese weld metal to strain hardening (increase in hardness to *HRC* 39–50) leads to increase in impact-abrasive wear resistance. This ensures improvement

ударно-абразивной износостойкости. Этим достигается повышение работоспособности и эксплуатационной долговечности сварных соединений и снижение на 25–30 % расхода электродных материалов, электроэнергии и трудоемкости сварки.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ВЯЗКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. *Т.М. Лабур (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Создание новых высокоэффективных легких изделий для авиации и ракетостроения неразрывно связано с решением трех основных проблем машиностроения: уменьшение веса, снижение стоимости и повышение эксплуатационных характеристик. Поэтому алюминий и его сплавы остаются основными конструкционными материалами на современном этапе и в ближайшей перспективе. Реализации их широкого применения в различных областях народного хозяйства содействует развитие высокоэффективных сварочных технологий. Выбор способа и оптимального процесса формирования качественных неразъемных соединений определяется степенью разработки металловедческих проблем сварки алюминиевых сплавов и уровнем техники, использующейся при этом. Для получения соединений из алюминиевых сплавов в настоящее время опробованы практически все известные способы сварки плавлением и в твердой фазе.

Плавление и кристаллизация структурных составляющих свариваемых алюминиевых сплавов, протекающие при сварке плавлением, вызывают образование в межзеренном пространстве протяженных хрупких участков из пересыщенных и интерметаллидных фаз. Это приводит к развитию неоднородности структуры по содержанию легирующих элементов и примесей, содержащихся в различных зонах сварных соединений вследствие их сегрегации вдоль границ зерен, создает предпосылки для охрупчивания металла и ускоренного зарождения и распространения трещин. По мере увеличения объемной доли таких участков в структуре сварного соединения отмечается рост уровня концентрации напряжения, на что указывает образование плоских участков рельефа вдоль границ кристаллитов и зерен на изломах разрушенных образцов. Уровень номинального разрушающего напряжения металла при этом снижается до значений 265 МПа, критического коэффициента интенсивности напряжения 21,5 МПа$\sqrt{\text{м}}$, критического раскрытия трещины 0,03 мм, энергии зарождения и удельной работы распространения трещины 2,5 Дж/см^2 и 3,8 Дж/см^2 соответственно.

Рассмотрены пути повышения характеристик прочности и вязкости разрушения, определяющих надежность конструкций из алюминиевых сплавов в условиях безопасной эксплуатации, с использованием различных технологических процессов, включая сварку. Показано, что использование низкой погонной энергии при сварке и новых модифицированных сварочных проволок наряду с уменьшением количества вредных примесей в основном металле обеспечивает получение стабильного качества швов и высокий уровень физико-механических свойств во всех структурных зонах соединения, полученных при сварке алюминиевых сплавов плавлением, что улучшает их работоспособность в конструкциях, эксплуатирующихся в сложных условиях.

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ МЕТАЛЛА МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ. *В.А. Лебедев[1], А.И. Гедрович[2], К.В. Бородина[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, Луганск, Украина).* При изготов-

of performance and extension of service life of the welded joints, and a 25–30 % decrease in consumption of the electrode materials, electric power and labour intensity in welding.

INCREASE IN STRENGTH AND TOUGHNESS OF WELDED JOINTS ON ALUMINIUM ALLOYS. *T.M. Labur (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Manufacture of new high-efficiency light parts for aircraft and rocket engineering is inseparably linked with solving of the three main engineering problems: decrease in weight, reduction of cost, and improvement of service characteristics. Therefore, aluminium and its alloys remain to be the key structural materials and will be so in the nearest future. Their wide application in different industries promotes development of the high-efficiency welding technologies. The choice of the method and optimal process for formation of quality permanent joints is determined by the degree of elaboration of metals science problems in welding of aluminium alloys, as well as by the engineering level used in this case. Practically all known fusion welding and solid-state joining methods were tried out to produce joints on aluminium alloys.

Melting and solidification of structural components of aluminium alloys in fusion welding lead to formation of extended brittle regions of oversaturated and intermetallic phases in grain spacings. This causes development of heterogeneity of structure as to the content of alloying elements and impurities in different zones of the welded joints because of their segregation along the grain boundaries, creates preconditions for embrittlement of metal and accelerated initiation and propagation of cracks. Growth of the level of concentration of stresses is observed in structure of the welded joints with increase in volume fraction of such regions, this being indicative of formation of the flat relief regions along the boundaries of crystallites and grains at fractures of the destructed specimens. The level of rated fracture stresses in metal in this case decreases to the values of 265 MPa, that of critical stress intensity factor — to 21.5 MPa$\sqrt{\text{m}}$, critical crack displacement — to 0.03 mm, and energy of initiation and specific energy of propagation of crack — to 2.5 and 3.8 J/cm^2, respectively.

The ways of improving the characteristics of strength and fracture toughness are considered, which determine reliability of structures of aluminium alloys under the safe operation conditions using different technological processes, including welding. It is shown that the use of low heat input in welding and new modified welding wires, along with decrease in the amount of harmful impurities in the base metal, provides the consistent quality of the welds and high level of physical-mechanical properties in all structural zones of the joints produced in fusion welding of aluminium alloys, which improves their performance in structures operating under severe conditions.

ELECTRIC-ARC FUSION WELDING OF METAL OF SMALL THICKNESS. *V.A. Lebedev[1], A.I. Gedrovich[2], K.V. Borodina[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V. Dal East-Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine).* Thin metal is used

лении большого количества сварных металлоконструкций используется тонкий металл. Это стенки вагонов, емкости, силосы и другие изделия. В результате сборки и сварки возникают две проблемы: получение качественных сварных швов и требуемой геометрии конструкции. Многочисленные исследования, проведенные при сварке тонкого металла (0,4–2,0 мм) позволили установить следующее. Качество сварных швов определяется большим количеством факторов: качеством сборки под сварку, погонной энергией сварки, точностью наведения дуги на стык и т. д. Из всего многообразия факторов выделяется погонная энергия сварки, которая обеспечивает требуемое проплавление и геометрию шва. Избыточное тепло может вызвать чрезмерные деформации тонкого листа в плоскости и из плоскости. Поэтому стыковые соединения сталей толщиной 0,5-1,2 мм рекомендуется сваривать на медных, стеклянных и керамических подкладках. Для уменьшения деформаций и поводок предпочтительнее преимущественно использовать нестационарные процессы по следующим направлениям: импульсная подача проволоки диаметром 0,6–0,8 мм, модулированные режимы, сварка в импульсном режиме при питании от источника с повышенными динамическими свойствами по току, сварка с частыми принудительными короткими замыканиями, использовать импульсные источники питания дуги. Сварку необходимо вести вертикальным электродом, дугу направлять на ванну жидкого металла. В качестве защитных газов рекомендуются углекислый газ и смеси Ar + 25 % CO_2, Ar + O_2 + + 20 % CO_2. В качестве источников рекомендуются преобразователи различных моделей и выпрямители (разработки ИЭС им. Е.О. Патона) с механизмом импульсной подачи электродной проволоки системы Лебедева. Кроме того, возможна сварка с периодическим изменением мощности дуги или прекращением процесса с использованием проволоки диаметром 0,8–1,2 мм. Изменение мощности или прекращение процесса производят с частотой 0,3–4,0 Гц.

ФОРМИРОВАНИЕ ШВОВ ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ БАЛОК В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ. *В.А. Лебедев[1], А.И. Гедрович[2], В.Н. Сысоев[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, Луганск, Украина).* В работе рассматривается возможность сварки поясных швов балок составного сечения (коробчатого и других профилей) в импульсном режиме, обеспечивая получение изделий с минимальным продольным прогибом. Сварка балок большой длины без соответствующей оснастки для жесткого ее крепления при сварке вызывает необходимость в послесварочной обработке: тепловой правке, виброобработке, градиентной обработке и т. п. для устранения продольного прогиба, появление которого связано с образованием усадочной силы. Величина усадочной силы от углового шва пропорциональна погонной энергии сварки. Внедрение импульсной технологии сварки позволяет более полно использовать энергию дуги и получать швы такого же поперечного сечения на погонных энергиях на 40–50 % меньших, чем при сварке по традиционной технологии. Таким образом, можно получать конечные деформации в пределах допуска. Однако при реализации импульсной технологии необходимо решить вопросы, связанные с формированием сварных швов, с обеспечением стабильности процесса и минимальным разбрызгиванием металла сварочной ванны. Исследования проводили при сварке балочных элементов из низкоуглеродистой стали «в лодочку» проволокой диаметром 1,2 мм в смеси защитного газа 80 % углекислоты и 20 % кислорода. Основной

for fabrication of a large number of welded metal structures. These are walls of railway cars, tanks, silo towers and other parts. Two problems arise as a result of assembly and welding of thin metal: production of quality welds and required geometry of a structure. Numerous investigations conducted in welding of thin metal (0.4–2.0 mm) made it possible to establish the following. Quality of the welds is determined by a large number of factors, such as quality of fit-up for welding, welding heat input, accuracy of guiding of the arc to a joint, etc. Among a wide variety of factors we can distinguish the welding heat input, which provides the required penetration and geometry of the weld. Excessive heat can cause excessive distortions of a thin sheet in plane and out of plane. Therefore, it is recommended to weld the butt joints on steels 0.5–1.2 mm thick using the copper, glass or ceramic backings. To reduce distortions and buckles, it is preferable to use the following non-stationary processes: pulsed feed of 0.6–0.8 mm diameter wire, modulated modes, welding in a pulsed mode with the power supplied from a source having increased dynamic current characteristics, welding with frequent forced short circuits, and use of pulsed arc power supplies. Welding should be performed with a vertical electrode, and the arc should be directed to the molten metal pool. It is recommended to use carbon dioxide and mixtures of Ar + 25 % CO_2 or Ar + O_2 + 20 % CO_2 as shielding gases. Different models of transducers and rectifiers (developed by the E.O. Paton Electric Welding Institute) with the Lebedev's system mechanism for pulsed feed of the electrode wire are indicated for use as the power supplies. In addition, it is possible to perform welding with periodic changes in the arc power or shutdown of the process using the 0.8–1.2 mm diameter wire. The power is changed or the process is shutdown at a frequency of 0.3–4.0 Hz.

FORMATION OF WELDS IN GAS-SHIELDED PULSED ARC WELDING OF BEAMS. *V.A. Lebedev[1], A.I. Gedrovich[2], V.N. Sysoev[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V. Dal East-Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine).* The paper considers the possibility of welding of belt welds on beams of a compound section (box-like and other profiles) in the pulsed mode, providing parts with a minimal longitudinal sag. Welding of a long beam without appropriate fixture for its rigid fastening during welding leads to the need to conduct post-weld heat treatment: thermal straightening, vibration treatment, graded treatment, etc., to remove the longitudinal sag, the formation of which is related to the effect of a shrinkage force. The value of the shrinkage force due to the fillet weld is proportional to the welding heat input. Application of the pulsed welding technology allows a more complete utilisation of the arc energy and production of welds of the same cross section at heat inputs that are 40-50 % lower than in welding using the traditional technology. Therefore, the final distortions in this case can be kept within the tolerable limits. However, implementation of the pulsed technology requires solving the problems related to formation of the welds, ensuring stability of the process and minimal spattering of the weld pool metal. Investigations were carried out in gravity welding of beam elements of low-carbon steel using the 1.2 mm diameter wire in a shielding gas mixture of 80 % carbon dioxide and 20 % oxygen. The main drawback of this technology is an increased spattering of the electrode metal. Stability of the process is associated with

недостаток этой технологии — повышенное разбрызгивание электродного металла. Стабильность процесса связана с переносом электродного металла в сварочную ванну. Характер переноса электродного металла устанавливали высокоскоростной киносъемкой. В ходе экспериментов изменяли ток, частоту импульсов, амплитуду колебания тока. Установлено, что перенос электродного металла может быть крупнокапельным с короткими замыканиями дугового промежутка, крупнокапельным без коротких замыканий, перенос каплями среднего размера, струйный перенос. Подтверждено мнение, существующее в технической литературе о наличии диапазона режимов сварки, обеспечивающих минимальное разбрызгивание и хорошее формирование металла шва при сварке в нижнем положении: при токе 150–450 А соответствующее напряжение 24–35 В.

transfer of the electrode metal to the weld pool. The character of transfer of the electrode metal was determined by high-speed filming. The current, pulse frequency and current oscillation amplitude were varied during the experiments. It was found that transfer of the electrode metal can be globular with short circuits of the arc gap, globular without short circuits, transfer by droplets of a medium size, and spray transfer. The opinion existing in literature that there is a range of the welding parameters providing minimal spattering and good weld formation in flat welding at a current of 150–450 A and voltage of 24–35 V was confirmed.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ И ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАПЛАВЛЕННОГО ВАЛИКА ПРИ УПРАВЛЯЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. *В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов, И.В. Лендел (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Процессы дуговой механизированной наплавки, а также оборудование для их реализации постоянно совершенствуются, в частности, для получения валиков с оптимальными геометрическими параметрами, регулирования глубины проплавления, минимизации потерь электродного металла, уменьшения размера ЗТВ, снижения затрат электроэнергии и др.

В настоящей работе исследовались характеристики тепловых полей при импульсной подаче электродной проволоки, а также решалась задача поиска оптимальных геометрических параметров наплавленного валика при различного вида низкочастотных, управляемых колебаний ванны жидкого металла.

Как известно, параметры (частота, шаг, скважность) импульсной подачи электродной проволоки, их комбинации, влияют на ввод тепла в наплавляемое изделие, размер тепловых полей и размер ЗТВ, в частности. По результатам экспериментальных данных создана математическую модель, используя которую можно прогнозировать характеристики ЗТВ при заданных параметрах импульсной подачи электродной проволоки.

Для изучения влияний различного вида колебаний сварочной ванны был разработан специальный экспериментальный стенд (манипулятор) с различными характеристиками колебаний стола с наплавляемым изделием. Его использование дало возможность исследовать влияние таких колебаний на наплавляемый металл, и, в частности, создать математическую модель для определения оптимальных геометрических параметров наплавляемого валика от параметров колебаний (частоты, амплитуды, расстояния от центра вращения). Эти исследования позволили расширить знания о влиянии различного вида управляемых механических колебаний на наплавляемый металл.

MATHEMATICAL MODEL OF TEMPERATURE FIELDS AND OPTIMAL PARAMETERS OF THE DEPOSITED BEAD UNDER CONTROLLED MECHANICAL EFFECTS. *V.A. Lebedev, S.Yu. Maksimov, I.V. Lendel (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The processes of mechanised arc cladding, as well as the equipment for their implementation are continuously improved. This concerns, in particular, production of beads with optimal geometric parameters, adjustment of the penetration depth, minimisation of electrode metal losses, decrease in HAZ size, reduction of power consumption, etc.

This study was aimed at investigation of characteristics of the temperature fields in pulsed electrode wire feeding, as well as at addressing of the problem of finding the optimal geometric parameters of the deposited beads at different types of low-frequency, controlled oscillations of the molten metal pool.

Parameters (frequency, pitch, pulse ratio) of pulsed electrode wire feeding and their combinations are known to affect the input of heat into a workpiece being clad, size of the temperature fields and size of HAZ, in particular. The mathematical model was developed on the basis of the experimental data. This model can be used to predict the HAZ characteristics at preset parameters of the pulsed electrode wire feed.

The special test rig (manipulator) with different characteristics of oscillations of the table for a workpiece to be clad was developed to study the effects of different types of oscillations of the weld pool. The application of this rig made it possible to investigate the effect of these oscillations on the deposited metal and, in particular, develop the mathematical model for identification of optimal geometric parameters of the deposited bead depending on the oscillation parameters (frequency, amplitude, and distance from the rotation centre). These investigations allowed widening of the knowledge on the influence of different types of controlled mechanical oscillations on the deposited metal.

ИСТОЧНИК ДЛЯ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ. *В.А. Лебедев[1], С.Ю. Максимов[1], Ю.А. Ярос[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]АМИТИ, ООО НПФ, Николаев, Украина).* Задачи, связанные с механизированной сваркой плавящимся электродом на удаленных объектах, возникают в случаях применения полуавтоматов как в естественной среде (монтаж многоэтажных гражданских и промышленных объектов), так и под водой, где дуга горит непосредственно в водной среде (свар-

POWER SUPPLY FOR MECHANISED METAL ARC WELDING OF REMOTE OBJECTS. *V.A. Lebedev[1], S.Yu. Maksimov[1], Yu.A. Yaros[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]Reserach and Production Company «AMITI», Nikolaev, Ukraine).* The problems related to mechanised metal arc welding of remote objects arise in the cases of using semiautomatic devices both in the natural environment (erection of multi-storeyed civil and industrial facilities) and under the water, where the arc burns directly in the water environment (wet welding). In these and other similar cases the welding current source is

ка мокрым способом). В этих и других подобных случаях источник сварочного тока удален от механизма подачи на значительное расстояние, которое может достигать нескольких сотен метров. При этом возникает проблема длинных сварочных кабелей, которые в значительной мере искажают статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) и динамические характеристики источника сварочного тока — падение напряжения в сварочной цепи, достигающее десятков вольт, изменение (в разы) постоянной времени в указанной цепи.

Решить рассмотренную задачу, используя известные и выпускаемые промышленностью источники сварочного тока, принципиально невозможно.

В ИЭС им. Е.О. Патона и научно-производственной фирме АМИТИ выполнен необходимый комплекс исследований и на их основании предложена конструкция специализированного источника питания для механизированной и автоматической сварки сплошными и порошковыми электродными проволоками, предназначенного для работы при большом удалении подающего механизма (автомата) от источника питания.

Отличительной особенностью источника питания является возможность формирования регулируемой ВАХ для компенсации падения напряжения на сварочных кабелях.

Для обеспечения высокого качества сварки при применении различных видов сварочной проволоки источник питания имеет возможность регулирования динамических характеристик для установки необходимой для конкретной электродной проволоки скорости нарастания тока процесса. Обоснованное применение принципа ПИД регулирования для создания необходимых характеристик позволяет гарантировать стабильную работу источника питания во всем диапазоне регулировок и повторяемость выбранных параметров настройки.

Источник в макетном и промышленном исполнениях изготовлен фирмой АМИТИ, испытан и успешно внедрен в комплекте оборудования для автоматической мокрой подводной сварки на токе до 300 А.

located at a substantial distance, which may cause a problem of long welding cables, thus considerably distorting static (volt-ampere characteristics — VAC) and dynamic properties of the welding current source, such as the drop of voltage in the welding circuit amounting to tens of volts, and variations (by several factors) of time constant in the said circuit. This problem cannot be solved, in principle, by using the known and commercially produced welding current sources.

The E.O. Paton Electric Welding Institute and Research and Production Company «AMITI» completed the required package of research and suggested, on its base, the design of a specialised power supply for mechanised and automatic solid and flux-cored wire welding, which is intended for operation at a large distance of the feed mechanism (automatic device) from the power supply.

A distinctive feature of the power supply is the possibility of formation of adjustable VAC to compensate for the drop of voltage in welding cables.

To assure the high quality of welding using different types of welding wire, the power supply has the possibility of adjusting dynamic characteristics in order to set the current growth rate required for a specific electrode wire. The substantiated use of the PID control to form the required characteristics guarantees the stable operation of the power supply over the entire control range and repeatability of the selected control parameters.

The power supply in the mock-up and commercial embodiments was manufactured by Company «AMITI», was tested and successfully applied in a set of equipment for automatic wet underwater welding at a current of up to 300 A.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. *В.А. Лебедев[1], Д.В. Плющ[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ООО «Навко-Тех», Киев, Украина).* Одним из важнейших технико-экономических показателей качества любого изделия является его надежность. В стандартной формулировке надежность изделия рассматривается как его свойство обеспечивать установленные значения параметров функционирования при заданных условиях. Обычно говорят о технической надежности изделия. При этом выделяют такие ее компоненты, как безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость.

Применительно к сварочному оборудованию высокие показатели безотказности, ремонтопригодности, долговечности и сохраняемости должны быть в основном заложены в его конструкции при изготовлении путем обеспечения высокого уровня надежности технических решений, высокого качества изготовления, контроля, испытания и доводки, а также обеспечены организацией соответствующих условий хранения и должного уровня обслуживания при эксплуатации.

Целью настоящей работы является анализ возможных вариантов обеспечения технологической надежности сварочного оборудования как составляющей его технической надежности.

В этом случае целесообразно рассматривать такие составляющие технологической надежности, как вылет и ско-

TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF MECHANISED WELDING EQUIPMENT. *V.A. Lebedev[1], D.V. Plyushch[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]Limited Liability Company «Navko-Teh», Kiev, Ukraine).* One of the most important technical-economic indicators of quality of any product is its reliability. In its standard meaning, reliability is regarded as a property to provide the specified values of functioning parameters under specified conditions. Normally, the point is a technical reliability of a product, where such its components as trouble-free operation, long service life, repairability and storageability are distinguished.

For the welding equipment, the high values of trouble-free operation, long service life, repairability and storageability should be built into its design in manufacture by ensuring the high level of reliability of technical solutions, high quality of manufacture, monitoring, testing and optimisation, and should be provided by arrangement of the required storage conditions and proper level of maintenance in operation.

The purpose of this study was to analyse the possible variants of ensuring the technological reliability of the welding equipment as a component of its technical reliability.

In this case it is expedient to consider such components of the technological reliability as electrode wire extension and feed speed, and movement along the joint being welded, the deviations from the specified and maintained values of which cause problems with formation of the weld bead, metal quality, mechanical properties of the weld and HAZ. The prob-

рость подачи электродной проволоки, перемещение вдоль линии свариваемого стыка, при отклонении от заданных и поддерживаемых значений которых возникают проблемы с формированием валика шва, качеством металла, механическими свойствами как шва, так и зоны термического влияния. Очень важное значение в этих условиях приобретают задачи, связанные с энерго- и ресурсосбережением, которые неизбежно возрастают при нарушении технологических режимов. Очевидно, что указанные отклонения являются следствием ненадежно работающего сварочного оборудования, его отдельных систем или неправильного выбора самого оборудования или условий его эксплуатации, что и приводит к проблеме обеспечения технологической надежности.

С точки зрения обеспечения требуемого качества сварного соединения и его повторяемости от изделия к изделию техническая надежность является составляющей технологической надежности. Следует отметить, что любое сварочное производство сопряжено с широким спектром технологических возмущений. Для процесса дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов это избыточный зазор (постоянный или переменный), смещение электрода от линии соединения, изменение вылета и пространственного положения электрода (отклонение от нормали или заданного угла), а также депланация и неодинаковая толщина металла по длине шва (стыковые швы). С целью компенсации этих возмущений необходимо вводить коррекцию параметров режима сварки, а когда этого недостаточно — использовать соответствующие конкретным условиям системы слежения, стабилизацию параметров работы оборудования, применять другие процессы и т. п. Очевидно, что выбор эффективного способа получения надежного соединения при указанных возмущениях — сложная, многофакторная задача. В качестве примера обеспечения технологической надежности за счет изменения режимов сварки с их увеличением, можно рассмотреть распространенный случай смещения электрода с линии стыкового шва (как неизбежного явления) без скоса кромок в нижнем положении при однопроходной сварке со сквозным проплавлением в среде защитных газов. Решая эту задачу и обеспечивая надежное соединение, можно получить как ухудшение служебных качеств металла шва, так и существенное повышение расхода электроэнергии и электродного металла. Здесь решение следует искать в комбинированных процессах (модуляция, колебания электрода, активирующие пасты и др).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСОМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ С КОРОТКИМИ ЗАМЫКАНИЯМИ. *В.А. Лебедев[1], М.С. Сорокин[2], А.А. Белов[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]«Эллой-ИТ», Нижний Новгород, Россия).* Решение проблем управления переносом электродного металла, в частности, при механизированной сварке с короткими замыканиями дугового промежутка имеет множественные разработки в алгоритмическом и техническом направлениях, которые сводятся к решению задач, связанных со свойствами сварного соединения, энерго- и ресурсосбережением. Полное решение комплекса задач при сварке и наплавке остается перспективой, достижение которой и представляет собой научный и технико-технологический поиск, проводимый как ведущими фирмами-производителями современного сварочного оборудования, так и отдельными группами специалистов. В последнее время вся новизна технических решений основывается на возможностях инверторных источников сварочного тока,

lems related to power- and resource-saving, which inevitably aggravate in violation of technological conditions, acquire a very high significance in this case. Apparently, the said deviations result from an unreliably working welding equipment, its separate systems, or an improper choice of the equipment itself or its service conditions, this leading to the problem of ensuring the technological reliability. In terms of assuring the required quality of a welded joint and its repeatability from product to product, the technical reliability is a component of the technological reliability. It should be noted that any welding production involves a wide range of technological disturbances. For the process of gas metal arc welding, this is an excessive gap (constant or variable), displacement of electrode from the joining line, variations in electrode extension and spatial position (deviation from a normal or from a preset angle), as well as deplanation and differing thickness of metal along the length of the weld (butt welds). To compensate for these disturbances it is necessary to make correction of the welding process parameters, and when it is not enough, use the tracking systems corresponding to the specific conditions, stabilise the equipment operation parameters, use other methods, etc. Apparently, the choice of an efficient method for producing the reliable joint at the said disturbances is a challenge of a complex and multifactorial character. The common case of displacement of electrode from the butt weld line (as an inevitable phenomenon) without bevelling in flat single-pass welding with through penetration in a shielding atmosphere can be regarded as an example of ensuring the technological reliability due to changing the welding parameters towards increasing them. Solving this problem and providing the reliable joint may involve deterioration of service properties of the weld metal and considerable increase in the power and electrode metal consumption. Here the solution should be sought by using the combined processes (modulation, oscillations of electrode, activating pastes, etc.).

UPGRADING OF PRINCIPLES OF CONTROL OF ELECTRODE METAL TRANSFER IN ARC WELDING WITH SHORT CIRCUITS. *V.A. Lebedev[1], M.S. Sorokin[2], A.A. Belov[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]«Alloy-IT», Nizhny Novgorod, Russia).* The problem of control of electrode metal transfer, in particular, in mechanised welding with short circuits of the arc gap can be addressed by using many developments available in the algorithmic and technical areas, which are reduced to solving the problems related to properties of a welded joint and power- and resource-saving. An integrated solution of the set of the problems in welding and cladding is still a perspective, reaching which consists in a scientific and technical-technological search conducted both by leading manufacturers of modern welding equipment and by individual groups of specialists. The entire novelty of technical solutions is now based on the capabilities of inverter-type welding current sources, systems for processing of information and control of fast processes in real time, and investigation of the processes of electrode metal transfer, which

систем обработки информации и управления быстропротекающими процессами в реальном масштабе времени и изучении процессов переноса электродного металла, который, в основном, и определяет совершенство современного оборудования и технологий. Важны не только возможности оперативного формирования статических и динамических характеристик любого вида и назначения, но управление на микроуровне в цикле переноса электродного металла.

Анализ сварочного оборудования на мировом рынке показывает, что большинство полуавтоматов для сварки в среде защитных газов с элементами управления переносом электродного металла, в том числе и синергетическими алгоритмами работы, лишь фрагментарно решают задачи управления переносом, подстраивая параметры источника под состояние перехода капли в ванну. При этом не учитывается ряд явлений, сопутствующих этому процессу. Также не до конца используются возможности инверторной техники с развитым компьютеризованным управлением.

Компания «Эллой-ИТ», являясь производителем высококачественного сварочного оборудования, опираясь на научно-техническое содействие ИЭС им. Е.О. Патона, приняла стратегию разработки и производство сварочного оборудования по двум основным направлениям:

• создание наиболее эффективных алгоритмов управления переносом электродного металла на уровне отслеживания состояния капли и дугового пространства и их технической реализации;

• разработка элементов импульсного управления переносом, в том числе и комбинированного, как с использованием информации о состоянии процесса (замкнутая система) так и «принудительная», имеющая основой знания закономерностей образования и переноса капли.

Реализация стратегии позволила выполнить разработку источника сварочного тока с полностью цифровыми способами измерения параметров сварочной цепи и управления выходным сигналом с высокими динамическими характеристиками, что дало возможность производить полный анализ текущего состояния нагрузки источника и рассчитывать необходимые коррекции выхода схемы управления в течение одного периода ШИМ инвертора; управлять временными и амплитудными параметрами всех стадий капельного переноса, а для момента замыкания иметь несколько фаз управления нагревом капли. Это позволило реализовать оптимальные алгоритмы фиксации начала касания каплей ванны, формы импульса тока для нагрева капли, определения момента отрыва капли для уменьшения разбрызгивания.

Система управления источником имеет возможность накапливания значений тока и напряжения каждого периода ШИМ в пределах полного цикла переноса капли (регистрация полного периода между двумя каплями), что является базой развития синергетики на новом уровне.

Активно решаются задачи введения специально разработанных импульсных алгоритмов стабилизации процесса сварки и переноса электродного металла как его составляющей.

mainly determines perfection of the modern equipment and technologies. The important factors are not only the possibilities of prompt formation of static and dynamic characteristics of any type and purpose, but also control at a microlevel in the electrode metal transfer cycle. Analysis of the welding equipment available in the world market shows that majority of semiautomatic devices for gas-shielded arc welding with elements of control of electrode metal transfer, including synergic operation algorithms, solve the problems of the metal transfer control only fragmentarily, by adjusting the source parameters to the state of transfer of a droplet to the pool. This ignores a number of phenomena accompanying this process. Besides, the capabilities of the inverter devices with the developed computer control are underutilised.

Company «Alloy-IT», being a manufacturer of high-quality welding equipment, with the R&D assistance rendered by the E.O. Paton Electric Welding Institute adopted a strategy of development and production of welding equipment in two main areas:

• development of the most efficient algorithms for control of electrode metal transfer at a level of tracing of the state of a droplet and arc space, and their technical implementation; and

• development of elements of pulsed control of the transfer process, including the combined one, by using information on the state of the process (closed system), and the forced one, based on knowledge of the principles of formation and transfer of a droplet.

Realisation of this strategy allowed the development of the welding current source with fully digital methods of measurement of the welding circuit parameters and control of an output signal with high dynamic characteristics, which made it possible to conduct comprehensive analysis of the current state of loading on the source, calculate the required corrections for output of the control system in one period of the PWM inverter, control the time and amplitude parameters of all stages of the drop transfer, and have several phases of the droplet heating control for a short circuiting moment. This permitted implementation of the optimal algorithms of fixation of the beginning of touching the pool by the droplet, current pulse shape for heating of the droplet, and determination of the moment of detachment of the droplet in order to decrease spattering.

The source control system has the possibility of accumulating the values of the current and voltage in each period of PWM inverter within a complete cycle of transfer of the droplet (registration of a full period between two droplets), this serving as a base for development of synergy at a new level.

The problems of introduction of the specially developed pulse algorithms for stabilization of the welding process and electrode metal transfer as its component are actively solved.

ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПОЛОЖЕННІ. *Л.М. Лобанов, О.М. Тимошенко, П.В. Гончаров (Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна).* Дугове точкове зварювання (ДТЗ) є ефективним способом зварювання, що забезпечує мінімальні деформації при зварюванні та має невеликі енергетичні витрати в порівнянні зі зварюванням су-

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR ARC SPOT WELDING IN THE VERTICAL POSITION. *L.M. Lobanov, O.M. Timoshenko, P.V. Goncharov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Arc spot welding (ASW) is an effective welding process that ensures minimum welding deformations and involves low power consumption, compared to welding by a continuous weld. ASW allows welding sheets to frame structures with access from one side. In order to achieve a satisfactory quality

цільним швом. ДТЗ дозволяє виконувати приварювання листів до каркасних конструкцій з однобічним доступом. Щоб отримати задовільну якість точкового з'єднання у вертикальному положенні необхідно виконувати зварювання по отворам, що зроблені завчасно у зовнішніх елементах конструкції, а це збільшує працевтрати виконання точкового зварного з'єднання. За відсутності отворів для виконання точкового з'єднання необхідно виконати пропалювання зовнішнього елемента конструкції, що призводить до витікання розплавленого металу із з'єднання, під дією сили ваги. Все це призводить до погіршення формування зварного точкового з'єднання та неможливості забезпечити повторюваність зварних точок.

Виконання зварного точкового з'єднання відбувається в декілька технологічних етапів, відмінних за своїм призначенням: пропалювання та формування точкового з'єднання. Для оптимізації підбору зварювальних параметрів при ДТЗ за складним зварювальним циклом запропонована математична модель.

Запропонована технологія точкового зварювання включає імпульсно-дугові способи управління процесом переносу електродного металу. Встановлено, що використання імпульсної подачі дроту і модульованого зварювального струму при виконанні зварних точкових з'єднань в вертикальному положенні стабілізує умови переносу електродного металу й забезпечує стабільність режиму зварювання при переході від одного технологічного етапу до іншого в циклі зварювання.

Створене устаткування та розроблена технологія надає нові можливості застосування дугового точкового зварювання у різних галузях промисловості, особливо при виготовленні та ремонті каркасних конструкцій сучасних вантажних і пасажирських вагонів.

of the spot joint in the vertical position, it is necessary to perform welding of holes made beforehand in the structure external elements, and that increases labour consumption in spot weld performance. In the absence of holes, it is necessary to perform burning-through of the structure external element for making the spot joint that results in molten metal flowing out of the joint under the action of gravity. All the above leads to deterioration of formation of the spot welded joint, and impossibility of ensuring the spot weld repeatability.

A spot welded joint is performed in several technological steps, differing by their purpose: burning-through and formation of a spot joint. A mathematical model is proposed to optimize selection of welding parameters at ASW by a complex welding cycle.

The proposed technology of spot welding includes pulsed-arc processes of controlling electrode metal transfer. It is established that application of pulsed wire feed and modulated welding current at performance of spot welded joints in the vertical position stabilizes the conditions of electrode metal transfer and ensures the stability of the welding mode at transition from one technological step to another in the welding cycle.

Manufactured equipment and developed technology open up new possibilities for arc spot welding application in different industries, particularly in manufacture and repair of frame structures of modern freight and passenger cars.

ВЛИЯНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ СОЕДИНЯЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКЕ В ВАКУУМЕ С ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕМ. *М.В. Матвиенко[1], Г.В. Ермолаев[1], В.В. Квасницкий[2] ([1]Нац. ун-т кораблестроения, Николаев, Украина; [2]НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина).* Ранее выполненные исследования методом компьютерного моделирования позволили установить основные закономерности формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) при диффузионной сварке (ДС) в вакууме узлов из разнородных материалов. Это позволило оптимизировать конструкцию и технологию ДС таких узлов. По существующей технологии узел устанавливают в сварочную камеру установки ДС и после достижения необходимого вакуума нагревают до температуры сварки, сжимают постоянным усилием и проводят термоциклирование: охлаждение и нагрев в заданном интервале температур. При этом благодаря возникающим в зоне соединения напряжениям и деформациям интенсифицируются диффузионные процессы. При такой технологии в образовании соединения не участвует этап нагрева изделия от комнатной температуры до температуры сварки. Поэтому нами выполнено исследование НДС на этом этапе с целью определения влияния предварительного нагружения с учетом коэффициента трения на НДС узла втулка–втулка, являющегося частью электромагнитного клапана.

Анализ результатов моделирования показывает, что приложение давления уже на этапе нагрева до температуры сварки позволяет использовать его в общем цикле сварки и сократить за счет этого продолжительность процесса и расход электроэнергии с сохранением высокого качества

INFUENCE OF SLIPPING OF DISSIMILAR MATERIAL SURFACES BEING JOINED ON THE STRESS-STRAIN STATE IN VACUUM DIFFUSION WELDING WITH THERMAL CYCLING. *M.V. Matvienko[1], G.V. Ermolaev[1], V.V. Kvasnitsky[2] ([1]National Shipbuilding University, Nikolaev, Ukraine; [2]NTUU «Kiev Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine).* Research performed earlier by computer simulation method allowed establishing the main regularities of formation of stress-strain state (SSS) in vacuum diffusion welding (DW) of components from dissimilar materials. This allowed optimization of design and technology of DW of such components. In keeping with the current technology, a component is placed into the welding chamber of DW installation and after the required vacuum has been reached, it is heated up to the welding temperature, compressed by a constant force, and thermal cycling is performed as follows: cooling and heating in the specified temperature range. Stresses and strains arising in the joint zone lead to intensification of the diffusion processes. With such a technology, the stage of the item heating from room up to welding temperature is not involved in the joint formation. Therefore, we have studied the SSS at this stage, in order to determine the influence of pre-loading, allowing for the fiction coefficient, on SSS of sleeve-sleeve component, which is part of an electromagnetic valve.

Analysis of simulation results shows that pressure application already at the stage of heating up to the welding temperature allows it to be used in the general welding cycle, and thus reducing process duration and power consumption with preservation of a high quality of the welded joint. On the whole, in the presence of slipping between the surfaces being joined, component SSS is preserved, but slipping promotes a more uniform distribution of plastic deformations along the butt.

сварного соединения. В целом, при наличии проскальзывания между соединяемыми поверхностями, сохраняется НДС узла, но проскальзывание способствует более равномерному распределению пластических деформаций вдоль стыка.

ВЛИЯНИЕ СВАРКИ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА НА МЕТАЛЛУРГИЮ СВАРКИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА ДЛЯ ТВЕРДОЙ НАПЛАВКИ. *П. Мейр, М. Куш, Л. Эберт, Ф. Подлесак (Технологический ун-т Хемница, кафедра сварочного пр-ва, Хемниц, Германия).* Сплавы на основе кобальта широко используются как материал для твердой наплавки, в особенности, в сочетании с такими частицами второй фазы, как карбиды. Слои, сваренные плазменной дугой прямого действия (ПД), часто характеризуются неравномерным распределением карбидов из-за различий в плотности матрицы и частиц второй фазы. Более того, закристаллизовавшийся металл шва может состоять из слишком крупных дендритных структур из-за направленной кристаллизации сварочной ванны. Такие грубые структуры могут привести к низкой вязкости и высокой склонности к растрескиванию. В Технологическом университете Хемница была разработана система для создания нестабильных импульсных потоков газа и применена к процессу сварки прямой плазменной дугой. Было показано, что из-за воздействия на силу дуги и, следовательно, на движение сварочной ванны, можно регулировать рост дендритов и распределение карбидов. Более того, было показано, что эти эффекты могут повысить однородность, износостойкость и вязкость наплавки шва. Это приводит к повышению эффективности и экономичности процесса твердой наплавки благодаря снижению необходимости в механической обработке и склонности к растрескиванию.

INFLUENCE OF PLASMA TRANSFER ARC WELDING WITH PULSED PROCESS GAS ON WELDING METALLURGY OF COBALT BASED HARDFACING ALLOYS. *P. Mayr, M. Kusch, L. Ebert, F. Podlesak (Chemnitz University of Technology, Chair of Welding Engineering, Chemnitz, Germany).* Cobalt based alloys are widely used as material for hardfacing applications, especially in combination with second phase particles such as carbides. Plasma Transfer Arc (PTA) welded layers often have an inhomogeneous distribution of carbides due to differences in density between matrix and second phase particles. Furthermore, solidified weld material can consist of unfavourable large dendritic structures because of directional solidification of the weld pool. Such coarse structures can result in poor toughness and high susceptibility to cracking. At the Chemnitz University of Technology a system to create unsteady, pulsed gas flows was developed and applied to the Plasma Transfer Arc process. It was shown that due to effects on the arc force and thus to the melt pool's movement, dendritic growth and distribution of carbides can be manipulated. Moreover, it was demonstrated that these effects can enhance homogeneity, wear resistance and toughness of the weld deposit. This results in an increased efficiency and cost effectiveness of the hardfacing process due to reduced need of machining and reduced cracking susceptibility.

АТТЕСТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ КОМБИНИРОВАННЫХ РОТОРОВ ИЗ СТАЛЕЙ 25Х2НМФА + + 20Х3МВФА (ЭИ 415) ДЛЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН. *С.И. Моравецкий, А.К. Царюк, В.Ю. Скульский (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В связи с необходимостью строительства новых тепловых электростанций и реконструкции энергоблоков существующих ТЭС предприятием ОАО «Турбоатом» разработана турбина нового поколения К-325-23,5 мощностью 325 МВт, имеющая технические характеристики на уровне лучших мировых образцов. Ротор цилиндра среднего давления (ЦСД), спроектированный для новой турбины, содержит комбинированное сварное соединение сталей 25Х2НМФА + ЭИ 415, в связи с чем стала актуальной разработка технологии механизированной сварки указанных соединений.

В ИЭС им. Е.О. Патона исследована свариваемость сталей 25Х2НМФА и ЭИ 415, разработана и аттестована технология автоматической сварки соединений 25Х2НМФА + + ЭИ 415 с применением отечественных сварочных материалов — проволоки Св-08ХН2ГМЮ в сочетании с флюсом АН-17М, а также материалов, произведенных фирмой «Беллер-Тиссен» (Австрия–Германия) — проволоки Union S 3 NiMoCr в сочетании с флюсом UV 420 TT.

Установлено, что импортные сварочные материалы обеспечивают хорошие сварочно-технологические свойства, требуемый химический состав и минимальное содержание вредных примесей и газов в металле шва. Металл шва и сварных соединений 25Х2НМФА + ЭИ 415, полученных по аттестованной технологии с применением как отечественных, так и импортных сварочных материалов, имеет

CERTIFICATION OF THE TECHNOLOGY OF WELDING COMBINED ROTORS FROM STEELS 25Kh2NMFA + 20Kh3MVFA (EI415) FOR STEAM TURBINES. *S.I. Moravetsky, A.K. Tsaryuk, V.Yu. Skulsky (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* In view of the need for construction of new thermal power stations and upgrading the power units of the currently operating TPS, OJSC «Turboatom» enterprise developed a new generation turbine K-325-23.5 of 325 MW power, with technical parameters on the level of the best world standards. Medium pressure cylinder rotor (MPCR) designed for the new turbine, has a combined welded joint of steels 25Kh2NMFA + EI 415, thus making development of the technology of mechanized welding of the above joints an urgent task.

E.O. Paton Electric Welding Institute studied the weldability of steels 25Kh2NMFA and EI 415, developed and certified the technology of automatic welding of 25Kh2NMFA + EI 415 joints with application of local welding consumables, namely Sv-08KhN2GMYu wire in combination with AN-17M flux, as well as consumables produced by Beller-Tyssen Company (Austria-Germany), namely wire Union S 3 NiMoCr in combination with UV 420 TT flux.

It is established that imported welding consumables provide good welding-technological properties, required composition and minimum content of impurities and gases in the weld metal. The metal of weld and welded joints of 25Kh2NMFA + EI415 produced by the certified technology with application of both local and imported welding consumables has (after high-temperature tempering at 630 °C/30 –100 h) physico-mechanical properties, satisfy-

(после высокого отпуска 630 °С/30–100 ч) физико-механические свойства, удовлетворяющие техническим требованиям. Механизированная сварка под флюсом с использованием как отечественных, так и импортных сварочных материалов может применяться для изготовления роторов ЦСД и ЦНД новых мощных паровых турбин.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ С ПНЕВМОПРИВОДОМ ДЛЯ СВАРКИ ВСТЫК ТРУБ ДИАМЕТРОМ ДО 400 мм ИЗ КРИСТАЛЛО-АМОРФНЫХ ПОЛИМЕРОВ. *Н.П. Нестеренко, А.Н. Гальчун, В.Ю. Кондратенко, А.Г. Скок (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Для строительства систем газо-, водоснабжения, канализации и теплоснабжения широко используют пластмассовые трубы. В Украине полимерные трубы производят более 20 предприятий и их число с каждым годом увеличивается благодаря растущему спросу на эту продукцию и малым капитальным затратам на организацию производства. При этом строительство пластмассовых трубопроводов, как правило, осуществляют с использованием сварки нагретым инструментом встык.

Для выполнения сварочных работ используют установки с гидравлическим и электрическим приводами и различной степенью автоматизации: с ручным управлением, со средней и высокой степенью автоматизации. Нормативными документами на строительство газопроводов из полиэтилена предписано использовать установки лишь со средней и высокой степенью автоматизации. Для сварки полиэтиленовых водопроводов разрешено использовать сварочные установки с ручным управлением, простые в управлении и с относительно низкой стоимостью. Обеспечение качества сварных соединений на таких установках затрудняется ввиду отсутствия объективного контроля основных параметров технологического процесса. Тем не менее, на наш взгляд, получение заданных характеристик сварных соединений на установках с ручным приводом можно обеспечить путем незначительного усовершенствования их конструкции.

В ИЭС им. Е.О. Патона проведены комплексные исследования по обеспечению стабильности качества сварных соединений полиэтиленовых труб диаметром до 400 мм на усовершенствованной сварочной установке. С этой целью создан контрольно-измерительный стенд, проведен комплекс мер по созданию методик контроля и записи основных параметров процесса сварки встык полиэтиленовых труб. С использованием разработанных программ проведены расчеты и моделирование механических нагрузок, возникающих при торцевании труб и создании контактных усилий на стадиях оплавления, прогрева и осадки свариваемых образцов. Показано, что эффективность установок данного типа можно повысить заменой гидро- и электроприводов пневмоприводами. При этом механизация сварочного процесса осуществляется с использованием пневмопривода для перемещения труб, зажатых в центраторе, а также для механической обработки их торцов. С помощью системы рычагов центратора обеспечивается синхронность и плавность работы двух пневмоцилиндров, отвечающих за скоростной подвод-отвод свариваемых торцов труб. Использование пневмопривода в торцевателе обосновано его низкой чувствительностью к механическим перегрузкам. Кроме того, в данной установке предусмотрена возможность работы в режиме ручного привода, что может быть полезно при возникновении нештатных ситуаций при монтаже трубопроводов в полевых условиях.

Созданная установка обеспечивает высокую повторяемость результатов сварки полиэтиленовых труб диаметром

ing the technical requirements. Mechanized submerged-arc welding with application of both local and imported welding consumables, can be applied for manufacture of MPC and LPC rotors of the new high-power steam turbines.

ON EFFECTIVENESS OF APPLICATION OF PNEUMATICALLY DRIVEN MACHINE FOR BUTT WELDING OF UP TO 400 mm DIAMETER PIPES FROM CRYSTAL-AMORPHOUS POLYMERS. *N.P. Nesterenko, A.N. Galchun, V.Yu. Kondratenko, A.G. Skok (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Plastic pipes are widely accepted in construction of systems of gas and water supply, sewage and heat supply. In Ukraine polymer pipes are manufactured by more than 20 enterprises, and their number increases every year, owing to a growing demand for these products and low capital costs required for setting up their production. Construction of plastic pipelines, as a rule, is performed using heated tool butt welding.

Welding operations are performed with application of machines with hydraulic and electric drives and varying degrees of automation, namely with manual control, with medium and high degree of automation. Normative documents for construction of polyethylene gas pipelines specify application of machines with only medium and high degree of automation. Welding of polyethylene water pipelines is allowed to be performed by welding machines with manual control, easy to handle and relatively low-cost. Testing of welded joint quality in such machines is difficult, because of absence of objective monitoring of the main parameters of the technological process. Nonetheless, in our opinion, producing specified characteristics of welded joints can be ensured in manually-driven machines by a slight improvement of their design.

E.O. Paton Electric Welding Institute has conducted comprehensive studies to ensure stable quality of welded joints of polyethylene pipes of up to 400 mm diameter in an improved welding machine. With this purpose, a monitoring-measuring facility was made, a set of measures were taken to develop procedures of monitoring and recording the main parameters of the process of butt welding of polyethylene pipes. Developed programs were used to perform calculations and simulation of mechanical loads arising at trimming of pipe edges and applying contact forces at the stages of surface melting, heating and upsetting of samples being welded. It is shown that the effectiveness of machines of this type can be increased by replacement of hydraulic and electric drives by pneumatic drives. Mechanization of the welding process is performed with application of a pneumatic drive for displacement of pipes clamped in the line-up clamp, as well as for machining of their edges. A system of levers of the line-up clamp provides synchronous and smooth operation of the two pneumatic cylinders, responsible for fast feed-removal of the edges of pipe being welded. Application of a pneumatic drive in the line-up clamp is based on its low sensitivity to mechanical overloads. In addition, this machine provides the possibility of operation in the manual drive mode that can be useful in case of contingencies during mounting of pipelines in the field conditions.

Developed machine ensures a high repeatability of the results of welding polyethylene pipes of 160–400 mm diameter, and can be recommended for welding plastic water pipelines.

160–400 мм и может быть рекомендована для сварки пластмассовых водопроводов.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ТЕРМОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АВТО- И АВИАСТРОЕНИИ. *Н.П. Нестеренко[1], С.М. Дьяченко[2], И.К. Сенченков[3] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ТОО «ПУТЕК», Киев, Украина; [3]Ин-т механики им. С.П. Тимошенко, Киев, Украина).* Современное авто- и авиастроение немыслимы без широкого применения полимерных материалов, которые позволяют существенно снизить массу конструкций, уменьшить трудоемкость их изготовления, материалоемкость, повысить надежность и безопасность, улучшить комфортабельность, а также повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции. В настоящее время в авто- и авиастроении интенсивно начали использоваться композиционные материалы (КМ) на основе высокотемпературных полимерных матриц, обеспечивающих высокие упруго-прочностные свойства, ударную прочность, размерную стабильность и износостойкость при колебаниях температуры в диапазоне более 100 °С. К таким полимерным КМ относятся полиэфиримиды (PEI), полиэфирэфиркетоны (PEEK) и полифениленсульфид (PPS). Благодаря наличию термопластичной матрицы многие конструкции из указанных материалов могут соединяться с использованием сварки. Однако большая доля наполнителя (более 70 %) и высокая температура плавления представляют определенные сложности при разработке технологии и оборудования для их сварки.

Исследования проводились на ультразвуковом оборудовании, изготовленном ТОО «ПУТЕК». При этом интервал изменения амплитуды колебаний волновода составлял 25–50 мкм, а интервал варьирования выходной мощности ультразвукового генератора составлял 400–2000 Вт.

Показано, что качественные сварные соединения таких КМ можно получить с использованием технологий, обеспечивающих высококонцентрированный подвод энергии в зону соединения. К таким технологиям, в частности, относится ультразвуковая сварка. Исследованы особенности процесса формирования точечных и нахлесточных сварных соединений при ультразвуковой сварке армированных углеволокном PEEK, PEI и PPS. Получены соотношения для расчета термического цикла и для определения времени сварки, учитывающие температурную зависимость механических и теплофизических характеристик КМ, а также дана оценка влияния доли армирующей фазы на прочностные характеристики сварных соединений, разработана технология ультразвуковой сварки листовых термостойких КМ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТОНКИХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК. *Н.П. Нестеренко, Н.Г. Кораб, А.Н. Гальчун (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В последние годы возрастающее внимание уделяется разработке технологии лазерной сварки полимерных материалов. Лазерная сварка имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами получения сварных соединений: возможность получения пространственных швов; отсутствие физического контакта с заготовками; высокая степень автоматизации процесса; локальность зоны термического влияния и т. д. Более широкое ее внедрение сдерживается низкой стабильностью получения заданных характеристик сварных соединений. Экспериментальное изучение и определение оптимальных

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR ULTRASONIC WELDING OF HEAT-RESISTANT COMPOSITE MATERIALS APPLIED IN AUTOMOTIVE AND AIRCRAFT CONSTRUCTION. *N.P. Nesterenko[1], S.M. Dyachenko[2], I.K. Senchenkov[3] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]LLC «PUTEK», Kiev, Ukraine; [3]S.P. Timoshenko Institute of Mechanics, Kiev, Ukraine).* Modern automotive and aircraft construction is unthinkable without broad application of polymer materials, which allow an essential reduction of structure weight, labour consumption in their manufacturing, and their material content, improving the reliability and safety, and increasing the comfort level, as well as enhancing the competitiveness of manufactured products. At present composite materials (CM) based on high-temperature polymer matrices, began to be widely applied in automotive and aircraft construction. These matrices ensure high elastic-strength properties, impact strength, dimensional stability and wear resistance at temperature variations in more than 100 C range. Such polymer CM include polyetherimides (PEI), polyetheretherketones (PEEK) and polyphenylenesulphide (PPS). Owing to the presence of thermoplastic matrix, many structures from the above materials can be joined by welding. However, the large fraction of the filler (more than 70 %) and high melting temperature present certain difficulties in development of technology and equipment for their welding.

Investigations were conducted in ultrasonic equipment, manufactured by «PUTEK» LLC. The range of variation of waveguide oscillation amplitude was equal to 25–50 μm, and the range of variation of output power of ultrasonic generator was equal to 400–2000 W.

It is shown that sound welded joints of such CM can be made with application of technologies ensuring highly-concentrated energy supply to the joint zone. Such technologies, in particular, include ultrasonic welding. Features of the process of formation of spot and overlap welded joints in ultrasonic welding of PEEK, PEI and PPS reinforced by carbon fibre, were studied. Relationships for calculation of the thermal cycle of welding and for determination of welding time, which allow for temperature dependence of CM mechanical and thermophysical characteristics were derived, assessment of the influence of reinforcing phase fraction on strength properties of welded joints was made, and technology of ultrasonic welding of sheet heat-resistant CM was developed.

EXPERIMENTAL-THEORETICAL INVESTIGATION OF LASER WELDING OF THIN POLYETHYLENE FILMS. *N.P. Nesterenko, N.G. Korab, A.N. Galchun (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Over the recent years development of the technology of laser welding of polymer materials has been given ever greater attention. Laser welding has a number of advantages, compared to other processes of producing welded joints: possibility of making 3D welds; absence of physical contact with the blanks, high degree of process automation; local nature of the HAZ, etc. Its wider introduction is restrained by a low stability of achieving the specified characteristics of welded joints. Experimental study and determination of optimal parameters of welding modes involve certain procedural and technical difficulties, and require con-

параметров режима сварки сопряжены с методическими и техническими трудностями, требуют значительных финансовых затрат. В этой связи создание корректных математических моделей термомеханических процессов, реализующихся в зоне соединения полимерных материалов, разработка численных алгоритмов для их компьютерной реализации является актуальной задачей.

Исследовалась лазерная сварка пленок из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) толщиной 0,15 мм. В качестве верхней детали использовалась прозрачная пленка, а в качестве нижней — пленка из ПЭВД, наполненная техническим углеродом. Нагрев пленок до температуры плавления осуществлялся когерентным лучом лазера в видимой части спектра (длина волны составляла 532 мкм). Оптимизация основных параметров режима сварки проводилась с использованием результатов численного моделирования технологического процесса. При этом разработана соответствующая математическая модель, рассчитана форма и глубина зоны прогрева, ширина сварного шва, границы между подобластями, которые занимают различные фазы полимерного материала в процессе нагрева и температурное поле в свариваемых пленках. Изучена морфология сварных соединений, полученных при различных скоростях сварки. Приводится сравнение формы и размеров зоны проплавления, полученных расчетным и экспериментальным путями, показано удовлетворительное согласование полученных результатов.

Изготовлен экспериментальный образец сварочной установки, оснащенной диодным лазером мощностью до 10 Вт. Создана соответствующая программа, позволяющая получать швы сложной конфигурации и имеющие стабильную заданную погонную прочность. Показана эффективность использования разработанной лазерной установки для герметизации медицинской упаковки при различном сочетании материалов полимерных пленок и ламинированной бумаги.

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРУБ ИЗ НЕПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА. *Н.П. Нестеренко, Э.А. Минеев (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В настоящее время трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) широко используются при строительстве трубопроводов различного назначения. Они, как правило, соединяются врастуб склеиванием или механическим способом — с использованием упругих кольцевых уплотнителей, резьбы и т. п. Однако такие соединения не обеспечивают высоких эксплуатационных характеристик трубопроводов. Используемые технологии и оборудование для сварки труб из полиэтилена и полипропилена не позволяют получить качественные соединения труб из НПВХ ввиду узкого диапазона температур вязкотекучести этого материала. В связи с этим представляет интерес исследование возможности сварки нагретым инструментом встык труб из НПВХ с целью создания высокоэффективных технологий их сварки.

Исследования проводились на трубах из НПВХ диаметром 50 и 90 мм с использованием разработанных в ИЭС им. Е.О. Патона сварочной установки и контрольно-измерительного комплекса, что позволило производить поточный контроль и запись основных параметров режима стыковой сварки. При этом температура нагревательного инструмента варьировалась в пределах 80–260 °С, а сварочное усилие — в пределах 0,01–0,6 МПа. Моделирование термомеханического процесса, реализующегося в зоне соединения, проводилось с использованием конечно-элементных методик.

siderable financial expenditure. In this connection, construction of correct mathematical models of thermomechanical processes realized in the zone of polymer material joint, and development of numerical algorithms for their computer realization is an urgent task.

Laser welding of films from high-pressure polyethylene (HPPE) 0.15 mm thick was studied. Transparent film was used as the upper part, and commercial carbon-filled HPPE film was used as the lower one. Film heating up to melting temperature was performed by a coherent laser beam in the visible part of the spectrum (wave length was equal to 532 μm). Optimization of the main parameters of welding modes was performed with application of the results of numerical simulation of the technological process. Appropriate mathematical model was developed, shape and depth of the heating zone, weld width, construction, taken by various phases of the polymer material during heating and temperature field in the films being welded were calculated. Morphology of welded joints, produced at different welding speeds, was studied. Comparison of shape and dimensions of penetration zone derived by calculation and experimental methods is given, and satisfactory agreement with the obtained results is shown.

A pilot sample of welding machine fitted with up to 10 W diode laser, was produced. An appropriate program of machine control was created, which allows producing welds of a complex configuration, having a stable specified linear strength. Effectiveness of application of the developed laser machine for sealing medical packing is demonstrated at different combinations of materials of polymer films and laminated paper.

FEATURES OF WELDING PIPES FROM UNPLASTICIZED POLYVINYLCHLORIDE. *N.P. Nesterenko, E.A. Mineev (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* At present pipes from unplasticized polyvinylchloride (UPVC) are widely applied in construction of various purpose pipelines. They, as a rule, are connected by a spigot joint by adhesion bonding or by mechanical method — using elastic ring seals, thread, etc. Such joints, however, do not ensure high performance of pipelines. Technologies and equipment applied for welding polyethylene and polypropylene pipes do not allow producing sound joints of UPVC pipes, because of a narrow temperature range of plasticity of this material. In this connection, it is of interest to study the possibility of butt welding of UPVC pipes by a heated tool, in order to develop highly-effective technologies of their welding.

Investigations were conducted on UPVC pipes boundaries between subregions of 50 and 90 mm diameter using the welding machine and monitoring-measuring system developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute that allowed performance of on-line monitoring and recording of the main parameters of butt welding mode. Heating tool temperature was varied in the ranges of 80–260 °C, and welding force — in the ranges of 0.01–0.6 MPa. Modeling of the thermomechanical process, realized in the joint zone, was conducted using the finite element procedures.

It is shown that minimizing the products of thermal decomposition in UPVC volume at its heating depends not only on absolute value of the heater temperature, but also on the time of temperature field impact. Presence of such low-mo-

Показано, что минимизация продуктов термического разложения в объеме НПВХ при его нагреве зависит не только от абсолютного значения температуры нагревателя, но и от времени воздействия температурного поля. Наличие в зоне соединения таких низкомолекулярных продуктов существенно снижает прочностные и эксплуатационные характеристики сварных швов.

Установлено, что снижения интенсивности процесса диссоциации макромолекул НПВХ можно достичь за счет увеличения температуры нагрева свариваемых торцов труб при минимально возможном времени их прогрева. Показано, что практическая реализация этого принципа возможна при кардинальном изменении стандартного рабочего цикла сварки нагретым инструментом встык пластмассовых труб. Анализ разработанной математической модели термомеханического процесса, реализующегося в зоне соединения труб из НПВХ, показал, что при этом в рабочем цикле должна присутствовать стадия низкотемпературного нагрева свариваемых торцов. Поэтому новый рабочий цикл предполагает выполнение следующей последовательности операций: низкотемпературный прогрев торцов труб; технологическая пауза (удаление низкотемпературного нагревательного инструмента); высокотемпературный прогрев торцов труб при рабочем давлении 0,4–0,04 МПа; вторая технологическая пауза; осадка труб с линейным ростом давления до 0,5 МПа. Определены оптимальные сочетания основных параметров разработанного процесса сварки труб из НПВХ при нормальных, пониженных и повышенных температурах окружающей среды. Проведенные механические испытания сварных соединений показали, что их разрушение происходит по основному материалу. Установлено, что использование более «мягких» или «жестких» режимов сварки приводит к разрушению сварных соединений по линии сплавления. Технология рекомендована для использования при строительстве трубопроводов из НПВХ различного назначения.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ. *Б.Е. Патон[1], Ю.Н. Сараев[2], В.А. Лебедев[1] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины; [2]Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия).* В настоящее время традиционные процессы сварки и наплавки (электродуговая, электрошлаковая, плазменная) практически исчерпали свои технологические возможности. Вместе с тем непрерывный поиск и организация промышленного производства новых перспективных марок сталей настоятельно требуют разработки и всестороннего исследования по наиболее эффективному применению новых технологических решений, которые бы значительно расширили границы возможностей как традиционных источников нагрева (дуга, плазма, лазерное излучение), так и их гибридного сочетания, применительно к созданию неразъемных соединений из перспективных марок сталей.

Такие возможности открывают импульсные технологические процессы сварки и наплавки, а также специализированное оборудование, активно разрабатываемое в последнее десятилетие как известными научными школами стран СНГ, так и ведущими мировыми лидерами в производстве продукции сварочно-технического назначения.

Несмотря на кажущуюся общность научных идей и теорий, используемых различными научными коллективами для создания названной выше продукции, формируемый

lecular products in the joint zone essentially lowers the strength and service properties of welds. It is established that lowering of the intensity of the process of dissociation of UPVC macromolecules can be achieved through increase of the temperature of heating of pipe edges being welded at minimum possible time of their heating. It is shown that practical realization of this principle is possible at cardinal change of the standard working cycle of butt welding of plastic pipes by a heated tool. Analysis of the developed mathematical model of thermomechanical process, realized in the zone of joining UPVC pipes, showed that this working cycle should include the stage of low-temperature heating of the edges being welded. Therefore, the new welding cycle envisages performance of the following sequence of operations: low-temperature heating of pipe edges; technological pause (removal of low-temperature heating tool; high-temperature heating of pipe edges at working pressure of 0.4–0.04 MPa; second technological pause; pipe upsetting with linear pressure rise up to 0.5 MPa. Optimum combinations of the main working parameters of developed process of welding UPVC pipes were determined at normal, lower and higher ambient temperatures. Conducted mechanical testing of welded joints showed that their failure occurs through the base material. It is found that application of «softer» or «more stringent» welding modes leads to welded joint failure along the fusion line. The technology is recommended for application at construction of UPVC pipelines for various purposes.

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT AND PRACTICAL APPLICATION OF PULSED WELDING AND SURFACING TECHNOLOGIES TO IMPROVE OPERATING RELIABILITY OF CRITICAL METAL STRUCTURES. *B.E. Paton[1], Yu.N. Saraev[2], V.A. Lebedev[1] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev; [2]Institute of Physics of Strength and Materials Science, SD of RAS, Tomsk, Russia).* At present the traditional processes of welding and surfacing (electric arc, electroslag, plasma) have practically exhausted their technological capabilities. On the other hand, continuous search for and setting up production of new promising steel grades urgently require development and comprehensive investigations of the most efficient application of new technological solutions, which would greatly expand the capabilities of both the traditional heat sources (arc, plasma, laser radiation) and their hybrid combination, for the case of making permanent joints from promising steel grades.

Such capabilities are opened up by pulsed welding and surfacing technological processes, as well as specialized equipment, actively developed over the recent years both by the known scientific schools of CIS countries, and world leaders in manufacture of products for welding-technical purposes. Despite the apparent commonality of scientific ideas and theories, used by various scientific teams for creation of the above products, the approach formed by them to development of new highly-efficient technological processes also has essential differences, which are based on the level of understanding of physical processes, accompanied by formation of permanent joints, as well as allowing for micrometallurgical

ими подход к созданию новых высокоэффективных технологических процессов имеет также и существенные отличия, которые основываются на уровне понимания физических процессов, сопровождаемых формирование неразъемных соединений, а также учете микрометаллургических особенностей процессов сварки и наплавки новых марок сталей.

Так, например, подходы, развиваемые украинскими и российскими учеными при разработке импульсных процессов, основываются на реализации законов управления, позволяющих обеспечивать возможность стабилизации мгновенных значений основных технологических параметров интервала плавления и переноса каждой капли электродного металла. Это становится возможным благодаря наличию каналов обратных связей, контролирующих состояние объекта управления по основным мгновенным значениям технологических параметров, несущим наибольшую информацию, например, напряжению на дуге, сварочному току, средней мощности отдельного микроцикла, энергии, затраченной на плавление отдельной капли электродного металла.

features of the processes of welding and surfacing of new steel grades.

So, for instance, approaches pursued by Ukrainian and Russian scientists at development of pulsed processes, are based on realization of the laws of control, providing the possibility of stabilization of instantaneous values of the main technological parameters of the interval of melting and transfer of each electrode metal drop. This is made possible by availability of feedback channels, monitoring the condition of the object of control by the main instantaneous values of technological parameters, carrying the greatest amount of information for instance, by arc voltage, welding current, average power of individual microcycle, and energy spent for melting of individual electrode metal drop.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАЛЛА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ ПРОВОЛОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ. *Б.Е. Патон[1], К.А. Ющенко[1], И.И. Лычко[1], С.А. Супрун[1], С.М. Козулин[1], А.А. Клименко[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», Сумы, Украина).* Достаточно полные теоретические и практические представления о явлениях, имеющих место при электрошлаковой сварке (протекающей практически в закрытом пространстве), были получены на основе использования приемов косвенного наблюдения. Однако они не полностью раскрывают сущность электрошлакового сварочного процесса и недостаточны для более эффективного решения задачи управления им.

Для получения таких данных были разработаны и использованы комплексные приемы, базирующиеся на применении скоростной кино- и фотосъемки зоны сварки через оптически прозрачную среду. Эти исследования включают:

- материалы скоростной кино- и фотосъемки электрошлакового сварочного процесса через оптически прозрачную среду (образцы из низколегированной стали толщиной S = = 60 мм, количество электродов n = 2, диаметр электрода 3 мм, глубина шлаковой ванны h_s = 45 мм, зазор B = = 27 мм, флюс АН 8);
- методы анализа динамики изменения геометрических размеров основных параметров зоны сварки путем компьютерной обработки кадров киносъемки электрошлакового процесса;
- анализ основных электрических параметров сварочного процесса ($I_с$, $U_с$, $V_{п.п}$) для идентичных условий посредством записи в скоростном режиме по программе Power Graph и сопоставление их значений с геометрическими параметрами зоны сваривания во времени;
- изучение тепловых явлений в зоне сварки путем измерений текущих значений температур шлаковой и металлической ванны и сопоставление полученных данных с материалами кино- и фотосъемки.

Приведены результаты исследований зоны сварки при ЭШС, которая представляет собой закрытое пространство, образованное свариваемыми кромками, формирующими шов устройствами, а также швом и зеркалом шлаковой ванны, в котором осуществляется электрошлаковый сварочный процесс.

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF FORMATION OF WELDED JOINT METAL IN ELECTROSLAG WELDING WITH WIRE ELECTRODES. *B.E. Paton[1], K.A. Yushchenko[1], I.I. Lychko[1], S.A. Suprun[1], S.M. Kozulin[1], A.A. Klimenko[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]PJSC «Sumi NPO im. M.V. Frunze», Sumi, Ukraine).* Sufficiently complete theoretical and practical concepts of the phenomena occurring in electroslag welding (running practically in a closed space), were formed on the basis of application of indirect observation methods. They, however, do not completely disclose the essence of the electroslag welding process and are insufficient for a more effective solution of the problems of their control.

In order to obtain such data, comprehensive techniques were developed and applied, which are based on application of high-speed filming and photography of the welding zone through an optically transparent medium. These investigations include:

- materials of high-speed filming and photography of the electroslag welding process through an optically transparent medium (low-alloyed steel samples from steel of thickness S = 60 mm, number of electrodes n = 2, electrode diameter of 3 mm, slag pool depth h_s = 45 mm, gap B = 27 mm, AN 8 flux);
- methods of analysis of the dynamics of variation of the main parameters of welding zone by computer processing of frames of electroslag process filming;
- analysis of the main electrical parameters of the welding process (I_w, U_w, $V_{w.f}$) for identical conditions by recording in the high-speed mode by Power Graph program and comparison of their values with geometrical parameters of the welding zone in time;
- studying thermal phenomena in the welding zone by measurement of current values of temperatures of slag and metal pool and comparison of obtained data with filming and photography materials.

Given are the results of investigation of welding zone at ESW, which is a closed space, created by edges being welded, weld forming devices, as well as weld and surface of the slag pool, in which the electroslag process is conducted.

A description of characteristic regions of the welding zone is given, defined by means of its filming and photography through an optically transparent medium. Features of melting of filler electrode and base metal, and formation of liquid

Дано описание характерных областей зоны сварки, определенных благодаря кино- и фотосъемке ее через оптически прозрачную среду. Раскрыты особенности плавления присадочного электродного и основного металла, формирования жидкой металлической ванны, а также показан механизм передачи тепловой энергии основному металлу. Полученные данные сопоставлены с результатами записи основных электрических параметров режима сварки, а также анализом тепловых характеристик процесса.
Выполненные исследования позволили получить наиболее объективные (новые или уточненные) представления о природе электрошлакового процесса, которые создают реальные предпосылки для разработки эффективных приемов управления сварочным процессом как с точки зрения регулирования тепловложением, так и надежности выполнения шва.

metal pool are described, and mechanism of transfer of heat energy to base metal is shown.
Obtained data are compared with the results of recording the main electrical parameters of the welding mode, as well as analysis of thermal characteristics of the process.
Performed investigations allowed establishing the most objective (new or precised) concepts of the nature of electroslag process, which create real prerequisites for development of effective techniques of controlling the welding process both in terms of heat input adjustment and reliability of weld performance.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ. *И.В. Пентегов, В.Н. Сидорец, С.В. Рымар, А.М. Жерносеков (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В результате проведенных исследований по влиянию на электрическую сеть современных источников питания сварочной дуги установлено, что все они, являясь нелинейными нагрузками, в большей или меньшей степени генерируют в нее высшие гармоники тока. Высшие гармоники тока ухудшают качество электроэнергии сети, электромагнитную совместимость источников питания, искажают форму тока и напряжения, повышают добавочные потери в проводах, оборудовании и нагрузках, приводят к другим отрицательным явлениям. Особую опасность представляет генерация третьей и кратных ей гармоник тока, перегружающих нейтральные провода сети.
Помимо сварочной дуги, являющейся нелинейным элементом электрической цепи, отрицательное влияние на сеть оказывают нелинейные элементы силовых цепей самих источников питания. Так, источники питания сварочной дуги, имеющие в своем составе силовые электронные ключи, хотя и характеризуются хорошими технологичными свойствами, значительно ухудшают качество электроэнергии сети. Значительный уровень высших гармоник тока генерируют сварочные инверторы, производство которых в настоящее время стремительно развивается. Поэтому совместно с такими источниками питания целесообразно применение фильтров высших гармоник тока.
Авторами установлено, что трансформаторные источники питания сварочной дуги, помимо своей технологичности, надежности и небольшой стоимости, оказывают наименьшее отрицательное влияние на сеть и отличаются хорошей электромагнитной совместимостью, поскольку имея повышенную индуктивность, являются своеобразными фильтрами высших гармоник тока. В связи с этим и в дальнейшем перспективно разрабатывать источники питания на основе сварочных трансформаторов, например, оснащая их созданными в ИЭС им. Е.О. Патона конденсаторными умножителями напряжения, устройствами стабилизации горения сварочной дуги, индуктивно-емкостными и другими цепями, улучшающими качество сварки.

INFLUENCE OF MODERN ARC POWER SOURCES ON THE MAINS. *I.V. Pentegov, V.N. Sidorets, S.V. Rymar, A.M. Zhernosekov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* As a result of the conducted investigations of the influence of modern power sources of the welding arc on the mains, it is found that all of them, being non-linear loads, generate higher current harmonics in it to varying degrees. Higher current harmonics impair the quality of mains power, electromagnetic compatibility of power sources, distort the shape of current and voltage, increase added losses in the wires, equipment, and loads, and lead to other negative phenomena. Particularly hazardous is generation of the third and its multiple current harmonics, overloading the neutral wires of the mains.
In addition to the welding arc, which is a nonlinear element of the electric circuit, the nonlinear elements of power circuits of the sources proper have an adverse influence on the mains. So, welding arc power sources, having power electronic switches, even though they are characterized by good technological properties, significantly impair the quality of mains power. A considerable level of higher harmonics is generated by welding inverters, manufacturing of which is now making rapid progress. Therefore, it is rational to apply filters of higher current harmonics together with such power sources.
The authors established that the transformer power sources of the welding arc, in addition to their adaptability-to-fabrication, reliability and low cost, have the smallest adverse influence on the mains, and good electromagnetic compatibility, as, having an increased inductance, they are a kind of filters of higher current harmonics. In this connection, it is promising to develop transformer-based power sources also in the future, for instance, fitting them with the capacitor-type voltage multipliers, devices for welding arc stabilization, inductive-capacitive and other circuits developed at the E.O. Paton Institute, which improve welding quality.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ ШВОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ. *А.С. Письменный, А.А. Письменный, А.С. Прокофьев, Р.С. Губатюк (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* При строительстве высокоскоростных

INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR HEAT TREATMENT OF WELDS OF RAILWAY RAILS. *A.S. Pismenny, A.A. Pismenny, A.S. Prokofjev, R.S. Gubatyuk (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Welded butt joints of rails are ever wider applied in construction of high-speed main railway tracks.

магистральных рельсовых путей все больше применяют сварные стыки рельсов. При этом наряду с принятием мер по повышению качества металла применение сварки для изготовления рельсовых плетей большой длины благоприятно сказывается на работе и обслуживании пути. Прочность стыковых соединений рельсов, сваренных способом контактной сварки оплавлением, кроме выбора режима сварки, определяется правильным выбором технологии и режима их термической обработки.

Без проведения термической обработки сварного соединения рельсов металл шва имеет крупнозернистую структуру, характеризующуюся меньшей пластичностью и повышенной хрупкостью по сравнению с основным металлом рельса. Кроме того, после сварки новых типов высокопрочных рельсов в стыках наблюдается значительное снижение твердости до *HB* 150, в том числе в закаленном слое металла головки рельса.

Объемная термическая обработка сварных стыков рельсов током частотой 2,4 кГц в диапазоне температур 825–950 °С позволяет повысить пластичность (улучшить показатели хрупкой прочности и ударной вязкости) металла шва шейки и основания рельса путем нормализации, а также выровнять твердость металла головки путем принудительного ее охлаждения воздушной или водо-воздушной смесью после нагрева.

Проведенные работы по созданию и испытанию опытной конструкции нагревательной головки в неразъемном индукторе показали технологический результат, полностью удовлетворяющий действующим требованиям Технических условий для режимов термообработки стыков рельсов с узкой зоной нагрева и может быть основой для конструирования и выпуска промышленных установок для термообработки сварных стыков рельсов в полевых условиях и в стационарных технологических линиях рельсосварочных предприятий, в том числе с ускоренным циклом производства. При этом возможно создание автоматических систем для измерения, управления и регулирования режимов индукционной термообработки стыков рельсов.

Alongside taking measures to improve metal quality, application of welding for manufacturing rail sections of great length is favourable for operation and maintenance of the track. Strength of butt joints of rails, made by flash-butt welding, in addition to selection of welding mode, is determined by correct selection of the technology and mode of their heat treatment.

Without heat treatment of rail welded joint, the weld metal has a coarse-grained structure, characterized by lower ductility and higher brittleness, compared to rail base metal. Moreover, after welding of new types of high-strength rails, a significant lowering of hardness to *HB* 150 is observed in the butt joints, in particular in the quenched layer of rail head metal. Bulk heat treatment of rail welded butt joints by current of 2.4 Hz frequency in the temperature range of 825–950 °C allows increasing the ductility (improving brittle strength and impact toughness values) of metal of the weld of rail web and base through normalizing, as well as leveling the head metal hardness by its forced cooling by air or water-air mixture after heating. Conducted work on development and testing of experimental design of heating head in a one-piece inductor, showed a technological result, completely satisfying the current requirements of Specifications for modes of heat treatment of rail butt joints with a narrow heating zone, and can be the basis for design and manufacture of production systems for heat treatment of welded butt joints of rails in the field conditions and in stationary technological lines of rail-welding enterprises, also those with accelerated production cycle. It is also possible to develop automatic systems for measurement, control and regulation of the modes of induction heat treatment of rail butt joints.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ШОВНОЙ СВАРКИ И СВАРКОПАЙКИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ. *А.С. Письменный, В.В. Полухин, Вл.В. Полухин, Р.С. Губатюк (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Работа направлена на разработку технологии и оборудования для изготовления тонкостенных спиральношовных труб из нержавеющей стали с применением высокочастотной сварки взамен труб металлургического сортамента.

Как известно, сегодня в большинстве случаев для сооружения различных трубопроводов применяются сварные трубы металлургического сортамента с толщиной стенки, рассчитанной на заведомо большее давление (7–10 МПа и более).

Основной целью работы является уменьшение себестоимости трубопроводов для холодного и горячего водоснабжения, химической, нефтеперерабатывающей и пищевой промышленности, пригодных для транспортировки жидких и газообразных агрессивных сред.

Уменьшение себестоимости достигается за счет изготовления труб с толщиной стенки, соответствующей фактическому рабочему и испытательному давлению системы, а также другим конкретным условиям работы. Фактически масса таких труб может быть ниже массы трубы металлургического производства. Также уменьшение себестоимости изготовления трубопроводов достигается за

EXPERIMENTAL TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR SEAM WELDING AND BRAZE-WELDING OF THIN-WALLED PIPES FROM HIGH-STRENGTH STEELS BY HIGH-FREQUENCY CURRENTS. *A.S. Pismenny, V.V. Polukhin, Vl.V. Polukhin, R.S. Gubatyuk (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The work is aimed at development of technology and equipment for manufacturing thin-walled spirally-welded pipes from stainless steels with application of high-frequency welding to replace pipes of metallurgical range.

As is known, today welded pipes of metallurgical range with wall thickness designed for definitely higher pressure (7–10 MPa and more) are used in most cases for construction of various pipelines.

The main purpose of the study is reducing the cost of pipelines for cold and hot water supply, chemical, petroleum processing and food industry, suitable for transportation of liquid and gaseous aggressive media.

Cost reduction is achieved due to fabrication of pipes with wall thickness, corresponding to actual working and testing pressure of the system, as well as other specific operating conditions. Actually, the weight of such pipes can be equal to 20 % of that of pipes of metallurgical production. Such a reduction of the cost of pipeline manufacture is achieved due to absence of anticorrosion coating, lowering of mounting costs and many times extension of service life of such pipes.

счет отсутствия антикоррозионного покрытия, снижения расходов на монтаж и многократного увеличения срока службы таких труб.

Проведенные опыты по изготовлению сварных тонкостенных труб с использованием высокочастотного нагрева свидетельствуют о возможности создания сварного спирального шва, равнопрочного основному металлу. При этом распределение нагрузок внутри такой трубы создает благоприятные условия для работы таких швов, так как нагрузки от внутреннего давления вдоль оси трубы в два раза меньше поперечных.

Скорость высокочастотной сварки, применяемой в данной технологии, может составлять до 80 м/мин и поэтому, несмотря на спиральный шов, обеспечивает высокую производительность процесса.

Conducted experiments on manufacture of thin-walled welded pipes with application of high-frequency heating are indicative of the possibility of making a spiral weld, the strength of which is equivalent to that of base metal. Load distribution inside such a pipe creates favourable conditions for operation of such welds, as loads from inner pressure along the pipe axis are two times smaller than the transverse ones. Speed of high-frequency welding applied in this technology, can be up to 80 m/min, and, therefore, despite the spiral weld, it provides high process efficiency.

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ. *В.Б. Порохонько, И.В. Протоковилов, А.Т. Назарчук, Д.А. Петров, Л.М. Бабич (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В работе приведен анализ технологических приемов и методов воздействия на процесс электрошлаковой сварки (ЭШС), направленных на оптимизацию структуры металла шва и зоны термического влияния. Показана целесообразность сочетания различных методов воздействия на процесс ЭШС, основанных на тепловых и гидродинамических механизмах управления формированием сварных соединений. Тепловые методы основаны на оптимизации термического цикла сварки путем снижения величины сварочного зазора и погонной энергии сварки, что позволяет уменьшить протяженность зоны перегрева основного металла и снизить интенсивность протекания процессов структурных превращений в нем. Гидродинамические методы воздействия основаны на использовании внешних магнитных полей с целью управления процессами тепломассопереноса в сварочной ванне и формирования металла шва с мелкозернистой однородной структурой.

Представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию внешних поперечных магнитных полей различных амплитудных и частотных характеристик на технологические особенности ЭШС плит титановых сплавов толщиной 60–115 мм и формирование сварных соединений. Показана перспективность использования поперечного импульсного магнитного поля для управления кристаллизацией металла шва. Эффективность такого воздействия определяется гидродинамическими ударами на фронт кристаллизации, позволяющими измельчать структуру металла шва, а также возможностью снижения массогабаритных характеристик магнитных систем.

Проведены работы по оптимизации сварочного зазора при ЭШС титановых плит толщиной 115 мм. Экспериментально показана целесообразность снижения сварочного зазора до 20–22 мм, позволяющая снижать на 20–25 % погонную энергию сварки и уменьшать протяженность зоны термического влияния.

Разработанные методы воздействия позволяют повысить производительность процесса сварки, уменьшить расход сварочных материалов и электроэнергии и обеспечивают получение качественных сварных соединений с гомогенной структурой металла шва.

ELECTROSLAG WELDING OF TITANIUM ALLOYS WITH PULSED ELECTROMAGNETIC IMPACT. *V.B. Porokhonko, I.V. Protokovilov, A.T. Nazarchuk, D.A. Petrov, L.M. Babich (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The study gives analysis of technological measures and methods of controlling the process of electroslag welding (ESW), aimed at optimization of the structure of weld metal and heat-affected zone. The rationality of combining various methods of making an impact on ESW process, based on thermal and hydrodynamic mechanisms of controlling welded joint formation, is shown. Thermal methods are based on optimization of thermal cycle of welding by reducing the size of welding gap and welding heat input that allows reducing the extent of the zone of base metal overheating and lowering the intensity of running of structural transformation processes in it. Hydrodynamic impact methods are based on application of external magnetic fields, in order to control the processes of heat mass transfer in the weld pool and to form weld metal with a fine-grained uniform structure.

Results of experimental studies on the influence of external transverse magnetic fields with various amplitude and frequency characteristics on technological features of ESW of titanium alloy plates 60–115 mm thick and welded joint formation are given. Good prospects for application of transverse pulsed magnetic field to control weld metal solidification are shown. Effectiveness of such impact is determined by hydrodynamic shocks applied to the solidification front, allowing refinement of weld metal structure, as well as by the possibility of reduction of the weight and dimensions of magnetic system.

Work has been performed on optimization of welding gap at ESW of titanium pates 115 mm thick. Rationality of reducing the welding gap to 20–22 mm, allowing 20–25 % lowering of welding heat input and reducing the length of heat-affected zone, is shown experimentally.

Developed methods of impact allow increasing the efficiency of the welding process, reducing the consumption of welding consumables and power, and ensure production of sound welded joints with a homogeneous structure of weld metal.

ОБЗОР ТЕНДЕЦИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ. *А. Похмурская[1], Б. Вьелаж[2], Т. Лампке[2], К. Рупрехт[2] ([1]Факультет сварки, диагностики и восстановления, Нац. ун-т «Львовская политехника», Львов, Украина; [2]Ин-т*

OVERVIEW LECTURE ABOUT RESEARCH TRENDS FOR TS-PROCESSES. *H. Pokhmurska[1], B. Wielage[2], Th. Lampke[2], Ch. Rupprecht[2] ([1]Department of Welding, Diagnosis and Restoration, National University Lviv Polytechnika, Lviv, Ukraine; [2]Institute of Materials Sci-*

материаловедения и машиностроения, Технологический ун-т Хемница, Германия). Процессы термического напыления в настоящее время используются во многих отраслях промышленности, в особенности для защиты от износа и коррозии. Общие тенденции разработки новых материалов покрытий для газотермического напыления основаны на реальных потребностях промышленности. Многие исследования направлены на замену опасных или дорогих материалов, разработку энергосберегающих технологий, функционализацию покрытий и поверхностей материалов и т. д.

В докладе изложены результаты отобранных исследовательских проектов, которые были выполнены в Институте материаловедения и машиностроения Университета Хемница в области термического напыления. Основное внимание уделено разработке исходных материалов на основе железа, как порошков для напыления, так и порошковых проволок. Даны некоторые примеры применения разработанных покрытий для улучшения износостойкости деталей машин в печатной промышленности и машиностроении, сопротивления высокотемпературной газовой эрозии компонентов в энергетике и комбинированной защиты легких материалов от коррозии и износа.

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ВОДОРОДОМ ХОЛОДНЫЕ ТРЕЩИНЫ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ВПНЛ СТАЛЕЙ. *И.К. Походня, А.В. Игнатенко, А.П. Пальцевич, В.С. Синюк (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина)*. Вероятность развития индуцированных водородом холодных трещин (ИВХТ) в сварном соединении зависит от ряда взаимосвязанных и сложных физических явлений. В Институте электросварки им. Е.О. Патона НАНУ проведены исследования процессов абсорбции водорода металлом, его диффузии в сварном соединении с учетом кинетики температурного градиента, ловушек водорода и роста остаточных напряжений, выполнены математическое моделирование и расчетно-экспериментальные исследования механизмов образования и роста ИВХТ в сварных соединениях на микро- и макроуровне.

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования подтвердили существование значительных отличий механизмов диффузии водорода в недеформированном и пластически деформированном металле, что необходимо учитывать для адекватного расчета кинетики изменений поля концентрации водорода в сварном соединении в процессе его охлаждения.

Показано, что в основе механизма водородной хрупкости лежит взаимодействие водорода с дислокациями. Водород оказывает влияние на зарождение и рост микротрещин в металле, облегчая слияние дислокаций, что приводит к локализации пластической деформации под влиянием водорода.

Влияние водорода на зарождение микротрещины на макроуровне проявляется в виде снижения нормальных растягивающих напряжений, необходимых для ее зарождения. Если микротрещина не теряет стабильность в момент своего зарождения (хрупкий механизм), то дальнейший ее рост происходит по квазихрупкому механизму за счёт образования новых микродефектов в ее вершине под влиянием водорода, что лежит в основе замедленного разрушения.

Моделирование роста субмикротрещины в зерне металла с учетом эффекта водородной локализации пластичности показало, что при уменьшении размера зерна металл становится более хрупким и чувствительным к водородной

ence and Engineering,Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany). Thermal spray processes are used currently in many branches of industry, especially for wear and corrosion protection. General trends in the development of new coating materials for thermal spraying are based on the actual industrial demands. Many investigations are aimed on the substitution of the hazardous or expensive materials, developing of energy-saving technologies, functionalisation of coatings and material surfaces, etc.

In the present paper the results of selected research projects that have been carried out in the Institute of Materials Science and Engineering of Chemnitz University of Technology in the field of thermal spraying are shortly summarised. The main attention is paid to the development of the iron-based feedstock materials, both the spray powders and cored powder wires. Some application examples of the developed coating for improvement of wear resistance of machine parts in printing industry and machine building, hot gas erosion resistance of components in energy production, combined corrosion and wear protection of light weight materials are presented.

HYDROGEN-INDUCED COLD CRACKS IN WELDED JOINTS OF HSLA STEELS. *I.K. Pokhodnya, A.V. Ignatenko, A.P. Paltsevich, V.S. Sinyuk (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine)*. Probability of development of hydrogen-induced cold cracks (HICC) in the welded joint depends on a number of interrelated and complex physical phenomena. E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU conducted investigations of the processes of hydrogen absorption by metal, and its diffusion in the welded joint, allowing for the kinetics of the temperature gradient, hydrogen traps and residual stress growth, performed mathematical simulation and calculation-experimental investigations of the mechanisms of HICC formation and growth in welded joints on the micro- and macrolevel.

Conducted calculation experimental investigations confirmed the existence of considerable differences in the mechanisms of hydrogen diffusion in undeformed and plastically-deformed metal that should be taken into account for adequate calculation of the kinetics of variation of hydrogen concentration field in the welded joint during its cooling.

It is shown that hydrogen embrittlement mechanism is based on hydrogen interaction with the dislocations. Hydrogen affects microcrack initiation and growth in the metal, facilitating dislocation coalescence that leads to localizing of plastic deformation under the influence of hydrogen.

Hydrogen influence on microcrack initiation on the macrolevel is manifested in the form of lowering of normal tensile stresses, required for its initiation. If the microcrack does not loose its stability at the moment of its initiation (brittle mechanism), then its further growth occurs by the quasibrittle mechanism, because of formation of new microdefects in its tip under the influence of hydrogen that is the basis for delayed fracture.

Simulation of the growth of submcirocrack in the metal grain, allowing for the effect of hydrogen-induced localizing of ductility, showed that at refinement the metal of the grains becomes more brittle and sensitive to hydrogen embrittlement, although the absolute value of fracture stress rises.

Proceeding from experimental investigations and computer simulation a mechanism of macrocrack development in hydrogen-containing metal was proposed that allows for the

хрупкости, хотя абсолютная величина напряжения разрушения возрастает.
На основе проведенных экспериментальных исследований и компьютерного моделирования предложен механизм развития макротрещины в содержащем водород металле, который учитывает эффект водородной локализации пластичности. Присутствие водорода ведет к уменьшению степени пластической деформации металла, необходимой для разрушения образца, что значительно снижает энергию разрушения и приводит к охрупчиванию.

effect of hydrogen-induced localizing of ductility. Hydrogen presence leads to reduction of the degree of plastic deformation of metal, required for sample fracture that significantly lowers the fracture energy and leads to embrittlement.

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ С МНОГОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И АРКТИКИ. *С.Г. Псахье[1], К.А. Ющенко[2], Ю.Н. Сараев[1], Ю.Н. Каховский[2], В.П. Безбородов[2] ([1]Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В работе предлагается новый подход для решения проблемы повышения эксплуатационной надежности, прежде всего прочности и усталостной прочности сварных соединений, изготавливаемых из современных марок низколегированных, среднелегированных и высокомарганцовистых сталей, методами модифицирования присадочных материалов мультимодальными композиционными частицами химических соединений и формируемых неразъемных соединений, применением адаптивных импульсных технологий сварки и наплавки. Использование в шихте расходных материалов — в электродах, проволоках и порошковых материалах компонентов, содержащих микролегирующие добавки, позволит активно влиять на структуру и свойства формируемого металла. Состав наплавленного металла будет отличаться от исходного электродного (присадочного) материала вследствие перемешивания с основным металлом, химического взаимодействия легирующих элементов с материалом флюса, насыщения газами (кислородом, азотом, водородом) из воздуха и при взаимодействии с влагой. Благодаря высокой скорости охлаждения и повышенному содержанию примесей в наплавленном металле появляются неравновесные выделения избыточных фаз, вследствие чего у такого металла, как правило, снижаются характеристики пластичности (относительное удлинение, относительное сужение) и ударная вязкость, особенно при низких температурах. При модифицировании происходит измельчение структуры сварного шва и покрытий, а также повышаются физико-механические и эксплуатационные свойства.
Проведение исследований в указанном направлении позволит решить фундаментальную проблему повышения прочностных и эксплуатационных свойств сварных конструкций, машин и механизмов, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера и Арктики.

ESTABLISHING SCIENTIFIC FUNDAMENTALS OF DEVELOPMENT OF MULTIMODAL WELDING CONSUMABLES AND PULSED TECHNOLOGIES TO PRODUCE PERMANENT JOINTS AND FUSED COATINGS WITH MULTISCALE STRUCTURE FOR ITEMS OPERATING IN EXTREME NORTH AND ARCTIC REGIONS. *S.G. Psakhtje[1], K.A. Yushchenko[2], Yu.N. Saraev[1], Yu.N. Kakhovsky[2], V.P. Bezborodov[2] ([1]Institute of Strength Physics and Materials Science of SD of RAS, Tomsk, Russia; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The study proposes a new approach to solution of the problem of improvement of operating reliability, primarily strength and fatigue strength of welded joints made on currently available grades of low-alloyed, medium-alloyed and high-manganese steels, by the methods of modifying the filler materials by multimodal composite particles of chemical compounds and formed permanent joints and application of adaptive pulsed technologies of welding and surfacing. Application of components containing microalloying additives in the charge of consumable materials, namely in electrodes, wires and powderlike materials, will allow actively influencing the structure and properties of the formed material. Deposited metal composition will differ from the initial electrode (filler) material as a result of mixing with the base metal, chemical interaction of alloying elements with flux material, saturation with gases (oxygen, nitrogen, hydrogen) from air and at interaction with moisture. Owing to high cooling rate and increased content of impurities, non-equilibrium precipitates of excess phases are formed in the deposited metal that results, as a rule, in lowering of characteristics of ductility (relative elongation, relative reduction in area) and impact toughness in such a metal, particularly at low temperatures. Modification results in refinement of the structure of the weld and coatings, as well as improvement of physico-mechanical and service properties.
Performance of investigations in the mentioned direction will allow solving the fundamental problem of improvement of strength and service properties of welded structures, machines and mechanisms, operating under the conditions of Extreme North and Arctic regions.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УПРАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ. *А.Д. Размышляев, М.В. Миронова, С.В. Ярмонов, П.А. Выдмыш (ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь, Украина).* При сварке и наплавке используют продольные и поперечные магнитные поля. Однако данные об эффективности применения таких полей при дуговой наплавке проволокой под флюсом противоречивы и не выяснены в полной мере.

IMPROVEMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE PROCESSES OF ARC WELDING AND SURFACING UNDER THE IMPACT OF CONTROLLING MAGNETIC FIELDS. *A.D. Razmyshlayev, M.V. Mironova, S.V. Yarmonov, P.A. Vydymysh (SHEE «Priazov. State Techn. Univ.», Mariupol, Ukraine).* Longitudinal and transverse magnetic fields are used in welding and surfacing. However, the data on effectiveness of application of such fields in submerged-arc wire surfacing are contradictory and have not yet been completely clarified.

Целью настоящей работы явилось исследование производительности расплавления электродного металла и проплавления основного металла при дуговой наплавке под флюсом с использованием продольного магнитного поля (ПРМП) и поперечного магнитного поля (ПОМП).

Установлено, что при наплавке под флюсом с воздействием ПРМП коэффициент расплавления электрода зависит от магнитных свойств материала электрода, возрастая при увеличении магнитной проницаемости материала. Это наблюдается при наплавке с воздействием постоянного и переменного, в том числе и частотой 50 Гц ПРМП проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками, имеющими оболочки из ферромагнитных материалов. Коэффициент расплавления электродной проволоки α_p при обратной полярности наплавки под флюсом с воздействием ПРМП повышается на 30 %, а при прямой полярности процесса — на 50 %. При наплавке проволоками из немагнитных материалов воздействие ПРМП α_p электродов не повышает. Глубина и площадь проплавления основного металла при этом уменьшаются в 2–3 раза, а доля участия основного металла в наплавленном — в 1,3–2,5 раза.

При наплавке на обратной полярности воздействие постоянного и переменного частотой 50 Гц ПОМП повышает коэффициент расплавления электродных проволок как из ферромагнитных, так и немагнитных материалов на 30 %.

При дуговой сварке и наплавке с использованием проволок и основного металла из немагнитных материалов воздействием ПОМП возможно уменьшить в 2 раза, либо увеличить в 1,5 раза глубину проплавления основного металла.

Следует отметить, что процессы дуговой сварки и наплавки проволокой под флюсом с воздействием ПРМП и ПОМП являются ресурсо- и энергосберегающими процессами.

The objective of this work was investigation of the efficiency of electrode metal melting and base metal penetration in submerged-arc surfacing with application of longitudinal magnetic field (LMF) and transverse magnetic field (TMF).

It is established that in submerged-arc surfacing with LMF action the coefficient of electrode melting depends on magnetic properties of electrode material, increasing with increase of material magnetic permeability. This is observed at surfacing with application of a constant and variable field, including 50Hz LMF, with solid and flux-cored wires, having sheathes from ferromagnetic materials. Coefficient of melting of electrode wire α_m at reverse polarity of submerged-arc surfacing increases by 30 % under LMF impact, and at direct polarity it rises by 50 %. At surfacing with wires from nonmagnetic materials with LMF application α_m is not increased. Depth and area of base metal penetration here decrease 2–3 times, and fraction of base metal in the deposited metal decreases 1.3–2.5 times.

At surfacing at reverse polarity, application of constant and variable TMF of 50 Hz frequency increases the coefficient of melting of electrode wires both from ferromagnetic, and nonmagnetic materials by 30 %.

In arc welding and surfacing with application of wires and base metal from nonmagnetic materials TMF application allows reducing 2 times or increasing 1.5 times the base metal penetration depth.

It should be noted that submerged-arc welding and surfacing with LFM and TMF application are resource- and power-saving processes.

НОВІ СПОСОБИ ХОЛОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ МАЛОВУГЛЕЦЕВИМИ МАТЕРІАЛАМИ. *М.К. Резніченко, М.А. Калін, К.О. Ізотова (Укр. інж.-педагог. акад., Харків, Україна).* Мета роботи — підвищення якості зварного шва і зниження твердості наплавленого металу при холодному зварюванні чавуну сталевими електродами.

Спосіб зварювання чавуну полягає в тому, що почергово виконують зварювання сталевими електродами марки УОНИ-13/55 з наступним механічним видаленням 0,3–0,5 висоти наплавленого металу до заповнення розробки і забезпечення посилення шва.

Видалення металу шва проводили електричною шліфувальною машинкою, каменем завтовшки 6 мм.

В результаті досліджень зварних швів пор, тріщин і інших дефектів в зварних швах і зоні термічного впливу не виявлено. Твердість металу шва не перевищувала *HB* 180–200 і дозволяла легко проводити механічну обробку зварних швів.

Спосіб зварювання тонкостінного чавуну полягає в тому, що поряд з тріщиною по обидві сторони на відстані 1,4–2,0 товщини металу, що зварюється, розробляють канавку по всій довжині тріщини, глибиною 0,3–0,6 і шириною 0,6–1,0 товщини металу, зварювання виконують короткими ділянками шириною 20–30 мм поперек тріщини з заповненням металом шва підготовлених канавок, почергово від країв тріщини до середини з обов'язковим перекриттям попереднього валика наступним на 1/4–1/3 його ширини.

Спосіб напівавтоматичного зварювання чавуну полягає в тому, що дуга горить між вугільним електродом і виро-

NEW METHODS OF COLD WELDING OF CAST IRON BY LOW-CARBON MATERIALS. *M.K. Reznichenko, M.K. Kalin, K.O. Izotova (Ukr.Eng.-Pedag. Acad., Kharkiv, Ukraine).* The objective of the study is improvement of weld quality and lowering of deposited metal hardness in cold welding of cast iron by steel electrodes.

Method of cast iron welding consists in sequential performance of welding with steel electrodes of UONI-12/55 grades and subsequent mechanical removal of 0.3–0.5 of the deposited metal height up to groove filling and providing the weld reinforcement.

Weld metal removal was performed by electric polishing machine with 6 mm thick stone.

Weld examination did not reveal any pores, cracks or other defects in them or heat-affected zone. Weld metal hardness did not exceed *HB* 180–200 and allowed easy machining of the welds.

Method of welding thin-walled cast iron consists in making a groove of the depth of 0.3–0.6 and width of 0.6–1.0 of metal thickness on both sides near the crack along its entire length at the distance of 1.4–2.0 of metal thickness, welding being performed by short sections of 20–30 mm width across the crack with prepared groove filling by weld metal, alternatively from crack edges towards its center with compulsory overlapping of the previous bead by the next one by 1/4–1/3 of its width.

Method of semi-automatic welding of cast iron consists in that the arc runs between the carbon electrode and item, while welding wire of Sv-08G2S grade is fed through the opening in the carbon electrode, which is powered by straight polarity current.

бом, а зварювальний дріт марки Св-08Г2С подають через отвір у вугільному електроді, який живиться струмом прямої полярності.
При цьому вугільний електрод одночасно являється струмопідводом до зварювального дроту і речовиною, що утворює вуглекислий газ у дузі при зварюванні на прямій полярності.
Вуглекислий газ виконує захист зварювальної ванни від атмосферного повітря і служить додатковим окислювачем вуглецю, що надходить у зварювальну ванну із основного металу–чавуну.

The carbon electrode simultaneously is a current-conduit to the welding wire and material that forms the carbon dioxide gas in the arc in straight polarity welding.
Carbon dioxide gas performs shielding of the weld pool from atmospheric air and is an additional carbon oxidizer that penetrates into the weld pool from base metal–cast iron.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ. *А.П. Семёнов, И.В. Кривцун, В.Ф. Демченко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Предложена модель процессов плавления электродного металла, формирования и отрыва капель при сварке плавящимся электродом, учитывающая взаимодействие тепловых, электромагнитных, гидродинамических и капиллярных явлений, протекающих в системе «электродная проволока–капля». Тепловые процессы моделируются путем решения задачи теплопереноса в рассматриваемой системе с учетом джоулева нагрева электродного металла, конвекции в капле и тепловых потерь, обусловленных испарением металла с ее поверхности. Модель гидродинамических процессов в капле базируется на уравнениях движения вязкой несжимаемой жидкости со свободной поверхностью при наличии поверхностных (капиллярная сила) и объемных сил (сила тяжести и сила Лоренца, определяемая в результате решения электромагнитной задачи). При численной реализации моделей используется метод конечных элементов. Приведены результаты моделирования динамики формирования и отрыва капель, а также результаты расчетов полей температуры, скорости и плотности электрического тока в капле в процессе ее формирования. Полученные расчетные данные находятся в хорошем соответствии с имеющимися экспериментальными данными.

SIMULATION OF THE PROCESSES OF MELTING AND FUSION OF ELECTRODE METAL IN CONSUMABLE ELECTRODE WELDING. *A.P. Semyonov, I.V. Krivtsun, V.F. Demchenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* A model is proposed of the processes of electrode metal melting, formation and separation of the drops in consumable electrode welding, allowing for the interaction of thermal, electromagnetic, hydrodynamic and capillary phenomena running in «electrode wire–drop» system. Thermal processes are simulated by solving the problem of heat transfer in the considered system allowing for Joulean heating of electrode metal, convection in the drop and heat losses due to metal evaporation from its surface. Model of hydrodynamic processes in the drop is based on equations of motion of viscous incompressible liquid with a free surface in the presence of surface (capillary force) and bulk forces (force of gravity and Lorenz force, determined as a result of solving the electromagnetic problem). Finite element method is used at numerical realization of the models. Results of simulation of drop formation and separation dynamics are given, as well as the results of calculation of temperature fields, velocity and density of electric current in the drop during its formation. Obtained calculation data are in good agreement with the available experimental data.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПРИ УКРУПНЕНИИ И МОНТАЖЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ АРКИ ПОДОЛЬСКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА В КИЕВЕ. *А.Г. Синеок, А.М. Герасименко, В.Д. Рябоконь, К.В. Рябцев, В.В. Бричак, С.Н. Толстый (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Институтом электросварки им. Е.О. Патона осуществляется научно-техническое и инженерное сопровождение строительства при укрупнении и монтаже металлоконструкций арки Подольского мостового перехода в г. Киеве (габариты поперечника 3300–4100 мм и масса одного монтажного блока 120 т).
Исходя из конструктивных решений, условий транспортировки, требований к подъемно-транспортному оборудованию, используемому при строительстве и транспортировке заводских элементов металлоконструкций арки были исследованы и применены современные технологии ручной, полуавтоматической и автоматической сварки. Специалистами ИЭС им. Е.О. Патона обеспечено комплексное решение научных, проектных, производственных вопросов, изучено рациональное назначение способов сварки монтажных соединений с учетом укрупнения и монтажа отдельных секций-блоков арки, связующих ферм и раскосных ферм.
Монтажные стыки арки включают стыковые и тавровые соединения толщиной от 20 до 50 мм, в том числе с нестандартными разделками торцов с переменным углом на-

MODERN WELDING TECHNOLOGIES AT ENLARGEMENT AND MOUNTING OF METAL STRUCTURES OF THE ARCH OF PODOL BRIDGE IN KIEV. *A.G. Sineok, A.M. Gerasimenko, V.D. Ryabokon, K.V. Ryabtsev, V.V. Brichak, S.N. Tolsty (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* E.O. Paton Electric Welding Institute provides scientific-technical and engineering support at enlargement and mounting of metal structures of the arch of Podolsk Bridge in Kiev (transverse dimensions of 3300–4100 mm and weight of one mounting block of 120 t).
Proceeding from design solutions, transportation conditions, requirements to hoisting equipment, used in construction and transportation of pre-fabricated elements of arch metal structures, modern technologies of manual, semiautomatic and automatic welding were studied and applied. Specialists of E.O. Paton Electric Welding Institute provided a comprehensive solution of scientific, design and production tasks, studied rational selection of processes for welding erection joints, allowing for enlargement and mounting of individual sections-blocks of the arch, binding and bowstring trusses. Erection joints of the arch include butt and tee joints of 20 to 50 mm thickness, also with nonstandard grooves with a variable angle of inclination of wall butt joints within 0–34° in the vertical plane. Welding had to be performed in the downhand, vertical, overhead positions and horizontal position on the vertical plane. Such conditions make higher requirements to mechanized welding processes.

клона стыков стенок в вертикальной плоскости в пределах 0–34°. Сварку необходимо выполнять в нижнем, вертикальном, потолочном и горизонтальном на вертикальной плоскости положениях. Такие условия предъявляют повышенные требования к способам механизированной сварки.

В результате выполненных исследований для всех основных монтажных соединений металлоконструкций арки приняты технологии автоматической сварки под флюсом АН-47 проволокой Св-10НМА и ручной дуговой электродами FOX EV 50, ОК 53.70. В соответствии с ДСТУ 3951–2000 разработаны и согласованы с заказчиком (Дирекцией строительства дорожно-транспортных сооружений г. Киева) технологические инструкции на сборку-сварку сварных соединений. Специалистами ИЭС выполняются работы по технологическому сопровождению монтажа металлоконструкций арки, авторский надзор разработок в соответствии с ДБН В.1.2-5:2007.

As a result of the performed investigations, technologies of automatic submerged-arc welding with AN-47 flux and Sv-10NMA wire and manual arc welding with FOX EV 50, OK 53.70 electrodes were accepted for all the main erection joints of metal structures. In keeping with DSTU 3951–2000, technological instructions on assembly-welding of welded joints were developed and coordinated with the Customer (Kiev Administration of Construction of Road-Transportation Facilities). PWI specialists perform work on technological support of mounting of arc metal structures, and field supervision of developments in keeping with DN V.1.2-5:2007.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ СВАРКИ АТМОСФЕРОСТОЙКОГО ПРОКАТА КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ С355–500 МПа. *А.Г. Синеок[1], А.М. Герасименко[1], В.Д. Рябоконь[1], К.В. Рябцев[1], А.А. Гоцуляк[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ИСД Хута Ченстохова, Польша).* Как свидетельствуют результаты обследования состояния металлоконструкций мостов со сталежелезобетонной проезжей частью, стальными главными и поперечными балками, основным видом их повреждений является уменьшение сечения поясов и стенок балок вследствие коррозии, существенно снижающей несущую способность и эксплуатационную пригодность. Сочетание конструктивных и технологических причин в совокупности с применением в мостах более ранней постройки обычных строительных сталей усиливают и ускоряют процессы коррозии в конструкции.

На протяжении последних шести лет в строительство ответственных сварных конструкций внедрена и успешно применяется сталь 06ГБ(Д), 06Г2Б(Д) С 355–490 – современный конструкционный материал на С–Mn основе с использованием механизма карбонитридного упрочнения. Стали такого класса весьма экономичны, имеют сбалансированные механические и технологические свойства. Данная сталь применена при строительстве ответственных объектов, таких как доменная печь на Криворожском комбинате, доменная печь на комбинате «Азовсталь», резервуары для хранения нефти в Бродах вместимостью 75 000 м^3, в Мозыре 50 000 м^3, мост через вход в Гавань Подольского мостового перехода. Для изготовления и монтажа данных металлоконструкций в ИЭС разработаны технологии сварки. Учитывая заинтересованность мостостроителей в применении для пролетных строений мостов атмосферостойкого проката, на базе сталей 06ГБ(Д), 06Г2Б(Д) создана сталь повышенной стойкости против коррозии. В ИЭС выполнены исследования служебных характеристик, свариваемости, а также коррозионной стойкости опытно-промышленной плавки стали 06Г2БДП класса прочности С390, выполнены исследования свариваемости, разработаны технологии автоматической под флюсом и механизированной сварки применительно к изготовлению и монтажу мостовых металлоконструкций. Экономнолегированная сталь повышенной стойкости против атмосферной коррозии марки 06Г2БДП С 350–500 МПа рекомендована для изготовления мостовых металлоконструкций.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF WELDING WEATHER-RESISTANT ROLLING STOCK OF STRENGTH CLASSES C355–500 MPa. *A.G. Sineok[1], A.M. Gerasimenko[1], V.D. Ryabokon[1], K.V. Ryabtsev[1], A.A. Gotsulyak[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, Kiev, Ukraine; [2]ISD Huta Czenstochova, Poland).* As indicated by the results of examination of the condition of bridge metal structures with concrete roadway, main and transverse steel beams, the main type of their damage is reduction of the section of girths and webs as a result of corrosion, essentially lowering the load-carrying capacity and serviceability. A combination of design and technological causes together with application of conventional structural steels in earlier built bridges, enhance and accelerate the processes of corrosion in the structure.

During the last six years 355–490 MPa 06GB(D), 06G2B(D) steel has been introduced and successfully applied in construction of critical welded structures. This is a modern C-Mn-based structural material with carbonitride strengthening mechanism. Steels of this class are highly cost-effective, and have balanced mechanical and technological properties. This steel was applied in construction of such critical facilities as blast furnace at Krivoj Rog Works, blast furnace at «Azovstal» Works, oil storage tanks in Brody of 75,000 m^3, and in Mozyr of 50,000 m^3 volume, Podol bridge across the entrance to the Bay. PWI developed welding technologies for fabrication and mounting of these metal structures. Considering the interest of bridge builders to application of weather-resistant rolled stock for span structures of bridges, steel with increased corrosion resistance was developed on the basis of steels 06GB(D),06G2B(D). PWI performed investigations of service properties, weldability, as well as corrosion resistance of pilot-production melt of 06G2DP steel of strength class C390, conducted weldability studies, and developed technologies of submerged-arc and mechanized welding for fabrication and mounting of bridge metal structures. Sparsely-alloyed 350–500 MPa steel of 06G2BDP grade with increased atmospheric corrosion resistance was recommended for fabrication of bridge metal structures.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ МНОГОПРОХОДНОЙ МИГ/МАГ СВАРКИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ СХЕМ И РЕЖИМОВ СВАРКИ ШВОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ. *Т.Г. Скуба, В.А. Коляда, В.В. Долиненко, Е.В. Шаповалов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Неравномерный высокотемпературный нагрев элементов конструкций в процессе сварки вызывает появление в них деформаций и напряжений. Искажение формы и размеров конструкций во многих случаях отрицательно сказывается на ее эксплуатационных качествах. Между тем правильное построение технологического процесса сборки и сварки, выбор рациональных режимов сварки, приемов последовательности сварки швов и заполнения разделки позволяет уменьшить деформации. Использование сварочного робота, оснащенного лазерно-телевизионным сенсором позволяет реализовывать адаптивный процесс многопроходной сварки в реальном масштабе времени, повышать качество и надежность сварных соединений и минимизировать деформации в сварной конструкции.

Разработанная в данной работе имитационная модель позволяет в режиме off-line проверять алгоритмы движения манипулятора с произвольной кинематической компоновкой и алгоритмы заполнения стыка при многопроходной МИГ/МАГ сварке в соответствии с реальной геометрией разделки кромок. Модель позволяет выбирать различные схемы заполнения разделки — блоками, каскадом или горкой. При этом в модель заложены возможности расчета траекторий сварки швов в каждом слое, варьирования количества швов в слое и слоев в многослойном шве, расчета площадей поперечных сечений наплавляемых валиков и их ширины. Также имитационная модель позволяет управлять длиной участков швов, необходимых для заполнения разделки по всей длине. Кроме того, перечисленные возможности имитационной модели применимы не только для процесса сварки изделий с постоянной геометрией разделки кромок на всем протяжении стыка, но и с изменяющейся геометрией.

Предложенная имитационная модель роботизированной многопроходной МИГ/МАГ сварки может использоваться не только для разработки и проверки алгоритмов технологической и геометрической адаптации к заранее неизвестной геометрии разделки при многопроходной сварке, но и для визуализации роботизированного процесса заполнения разделки кромок при сварке.

DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL OF ROBOTIC MULTIPASS MIG/MAG WELDING FOR EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF SCHEMATICS AND MODES OF MAKING THE WELDS ON STRESS-STRAIN STATES. *T.G. Skuba, V.A. Kolyada, V.V. Dolinenko, E.V. Shapovalov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Non-uniform high-temperature heating of structural elements during welding induces strains and stresses in them. Distortion of structure shape and dimensions in many cases is negative for its performance. On the other hand, correct organization of the technological process of assembly and welding, selection of rational welding modes, techniques and sequence of making the weld and groove filling allows reducing the deformations. Application of a welding robot, fitted with laser-TV sensor, allows implementation of adaptive process of multipass welding in real time, improvement of the quality and reliability of welded joint and minimizing deformations in the welded structure.

Simulation model developed in this work, allows verification in off-line mode of the algorithms of motion of a manipulator with an arbitrary kinematic layout and algorithms of butt filling in multipass MIG/MAG welding, in keeping with the actual geometry of edge preparation. The model allows selection of various schematics of groove filling - by blocks, cascade or hill. Here, the model incorporates the capabilities of calculation of trajectories of making the weld in each layer, variation of the number of welds in the layers and of layers in a multilayer weld, calculation of cross-sectional areas of the deposited beads and their width. The simulation model also allows controlling the length of weld sections, required for filling the groove along its entire length. In addition, the enumerated capabilities of the simulation model are applicable not only for the processes of welding items with constant groove geometry along the entire length of the butt, but also those with varying geometry.

Proposed simulation model of robotic multipass MIG/MAG welding can be used not only for development and verification of algorithms of technological and geometrical adaptation to earlier unknown groove geometry, but also for visualization of the robotic process of groove filling in welding.

РЕМОНТ ФРАГМЕНТОВ КОРПУСА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ. *Е.Г. Терновой, В.Ф. Шулым, Ю.Н. Ланкин (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Опыт эксплуатации космических объектов, функционирующих длительное время в условиях космоса, таких, как орбитальный комплекс «Мир», а затем и международная космическая станция (МКС), показал вероятность возникновения различных аварийных ситуаций, требующих использования с целью ремонта технологических процессов, таких как сварка и родственные ей технологии (резка, пайка, нагрев и др.). При этом наиболее уязвимыми могут быть корпусные оболочки этих объектов, подвергаемые различным механическим воздействиям или повреждениям, связанным с длительным временем пребывания их в космической среде, что может привести к потере герметичности функционирующего космического аппарата.

REPAIR OF FRAGMENTS OF THE CASE OF INTERNATONAL SPACE STATION WITH APPLICATION OF ELECTRON BEAM WELDING. *E.G. Ternovoj, V.F. Shulym, Yu.N. Lankin (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Experience of service of space objects operating for a long time in space environment such as «Mir» orbital complex, and then the International Space Station (ISS), showed the probability of development of various emergencies, requiring application of such technological processes as welding and allied technologies (cutting, brazing, heating, etc.) for repair. The most vulnerable potentially are the case shells of these objects, exposed to various mechanical impacts or damage, associated with their long-term stay in the space environment that may lead to loss of sealing of the operating space vehicle.

Welding and allied technologies open up broad possibilities for elimination of such damage and defects. So, for instance, in order to restore the sealing of a damaged case of the shell by welding, it is possible to perform welding up of cracks,

Сварочные и родственные технологии имеют широкие возможности для устранения таких повреждений и дефектов. Так, например, для восстановления герметичности поврежденного корпуса оболочки сваркой можно выполнить заварку трещин, пробоин или свищей, а также приварку накладок-заплат в месте возникшего дефекта.

Многолетними исследованиями, проведенными в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, установлено, что одним из оптимальных способов ремонта корпусных оболочек в условиях космоса может быть механизированная или ручная электронно-лучевая сварка.

Целью настоящей работы является применение механизированной электронно-лучевой сварки для ремонта фрагментов корпуса МКС, эксплуатируемой в космосе более десяти лет.

Технологические эксперименты проводились на фрагментах корпусов из сплавов 2219 и 5456 (аналог АМг-6). Предварительный выбор режимов и типы соединений отрабатывались на плоских образцах, а затем на образцах фрагментов из указанных сплавов в вакуумном стенде ОБ-1469М. При этом использовали малогабаритную электронно-лучевую пушку ПЛ-101М с низким ускоряющим напряжением 12 кВ и манипулятор с пятью степенями свободы. Управление электронным пучком в процессе сварки осуществляли с помощью цифрового контроллера ВО-3. Для оценки качества полученных соединений были изучены их свойства, проведены исследования макро- и микроструктур, микрорентгеноспектральный, а также фазовый и газовый анализы. Полученные соединения и их качество показали пригодность оборудования и технологии для выполнения ремонтно-восстановительных работ в космосе.

rifts or blowholes, as well as welding-on of coverplates-patches in the area of the formed defect.

Many years of research performed at the E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU showed that mechanized or manual electron beam welding can be one of the optimum methods to repair the case shells in space environment.

The objective of this work is application of mechanized electron beam welding for repair of case fragments of ISS operating for more than ten years in space.

Technological experiments were conducted on case fragments from alloys 2219 and 5456 (AMg-6 analog). Preliminary selection of modes and types of joints was optimized on flat samples, and then on samples of fragments from the above alloys in vacuum facility OB-1469M. Here small-sized electron beam gun PL-101M with a low accelerating voltage of 12 kV and manipulator with five axes were used. Control of the electron beam during welding was performed using digital controller VO-3. To assess the quality of the produced joints, their properties were studied, investigations of macro- and microstructures, X-ray microprobe, as well as phase and gas analyses, were performed. Produced joints and their quality demonstrated the suitability of the equipment and technology for performance of repair-reconditioning operations in space.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОЛЬГ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ СВАРКЕ ТРУДНОСВАРИВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ. *А.И. Устинов, Т.В. Мельниченко, Ю.В. Фальченко, Л.В. Петрушинец (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Известно, что с целью активизации диффузионных процессов в зоне соединения при диффузионной сварке или для модифицирования микроструктуры сварного шва при сварке плавлением в зону соединения вводятся промежуточные прослойки в виде фольги. Такой метод сварки рассматривается как наиболее перспективный при соединении трудносвариваемых материалов на основе, например, композитов, интерметаллидов, разнородных материалов и т. п. Показано, что влияние промежуточных прослоек на процесс формирования сварного соединения и его прочностные характеристики в значительной степени определяются химическим составом фольги и ее микроструктурой. Вариация толщины фольги, ее химического состава и характеристик микроструктуры с помощью традиционных технологий их получения, основанных на термомеханической обработке сплавов, ограничена. Это существенно сужает область применения этого подхода и его возможности для получения неразъемных соединений со свойствами, близкими к основному материалу.

В настоящее время в ИЭС им. Е.О. Патона разработаны методы получения тонких фольг из паровой фазы, которые позволяют варьировать их химический состав, толщину и размеры характерных элементов микроструктуры от микро- до наномасштабного уровня, а также изучены их свойства. Исследовано влияние характеристик фольги на структуру и свойства соединений на основе композитов, интерметаллидов и разнородных материалов. Так, на примере сварки композитов на основе алюминиевого сплава, упрочненного частицами Al_2O_3 и сплава на основе интер-

ELECTRON BEAM METHODS TO PRODUCE NANOSTRUCTURED FOILS AND THEIR APPLICATION IN WELDING OF DIFFICUT-TO-WELD MATERIALS. *A.I. Ustinov, T.V. Melnichenko, Yu.V. Falchenko, L.V. Petrushinets (The E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine).* It is known that interlayers in the form of foil are introduced into the joint zone for activation of the diffusion processes in the joint zone at diffusion welding or for modifying the weld microstucture in fusion welding. Such a welding process is regarded as the most promising in joining of difficult-to-weld materials based on, for instance, composites, intermetallics, dissimilar materials, etc. It is shown that the influence of interlayers on the process of welded joint formation and its strength properties is largely determined by the composition of the foil and its microstructure. Variation of foil thickness, its composition and microstructural characteristics at application of the traditional technologies of producing them based on thermomechanical treatment of the alloys, is limited. This essentially narrows the area of application of this approach and its capabilities for producing permanent joints with the properties close to those of the base material.

At present the E.O. Paton Electric Welding Institute developed methods of producing thin foils from the vapour phase, which allow variation of their composition, thickness and dimensions of characteristic elements of microstructure from micro- to nanoscale level, and their properties have been studied. Influence of foil characteristics on the structure and properties of joints based on composites, intermetallics and dissimilar materials was investigated. So, in the case of welding composites based on aluminium alloy strengthened by Al_2O_3 particles, and alloy based on TiAl intermetallics, it was shown that application of interlayers based on foils with nanolayered structure allows producing by the method of diffusion welding full-strength joints without chemical in-

металлида TiAl было показано, что с помощью промежуточных прослоек на основе фольг с нанослойной структурой методом диффузионной сварки могут быть получены равнопрочные соединения без химической неоднородности в зоне соединения. Обсуждаются примеры использования наноструктурированных фольг для сварки разнородных материалов и перспективы применения этого подхода для сварки других трудносвариваемых материалов.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. *А.И. Устинов[1], В.А. Теличко[1], С.А. Демченков[1], С. Брукмюллер[2], А. Хансис[3] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ERNST WITTNER GmbH, Vienna, Austria; [3]Slovenian Tool and Die Development Center, Celje, Slovenia).* Материалы на основе многокомпонентных сплавов с квазикристаллической структурой рассматривают как перспективные для создания покрытий функционального назначения, сочетающих высокую прочность, низкий коэффициент трения и износостойкость. Вместе с тем при получении таких покрытий возникают трудности, связанные как с узкой концентрационной областью существования квазикристаллической фазы, так и с ограничениями по температурному режиму осаждения, степени загрязнения примесями материала покрытия в процессе его осаждения, адгезией к подложке и т. п.

В работе показана возможность получения методом электронно-лучевого осаждения квазикристаллических покрытий на различного типа подложках и исследована взаимосвязь структуры покрытий и технологических параметров их осаждения. Показано, что при изменении температуры осаждения можно варьировать размер зерна в покрытиях в широком диапазоне от микро- до наноразмерного масштаба. При отклонении химического состава от стехиометрического в покрытии формируется дуплексная структура, состоящая из квазикристаллической и интерметаллидной кубической фаз. Установлена корреляция между характеристиками структуры покрытий и их свойствами. На этой основе оптимизирована структура покрытий, обеспечивающих защиту инструментов от износа при контакте с металлом или армированной пластмассой, и разработана методика их осаждения на поверхности сложной формы. Испытания в производственных условиях опытной партии пресс-форм и штампов с квазикристаллическими покрытиями на рабочих поверхностях инструмента показали, что такие покрытия существенно увеличивают их срок службы по сравнению с инструментом без покрытий или при наличии покрытий другого типа.

ВИНИКНЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА ПОВЕРХНІ МЕТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ ПРИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ СИНТЕЗІ, ЩО САМОПОШИРЮЄТЬСЯ, В НАНОШАРУВАТИХ ФОЛЬГАХ. *Г.К. Харченко, М.Н. Руденко, О.О. Новомлинець, М.О. Хоменко (Чернігівський держ. технологічний ун-т, Чернігів, Україна).* Відомо, що ефективним при дифузійному зварюванні композитів та інтерметалідів є застосування у якості проміжного прошарку багатошарових фольг, в яких відбувається реакція високотемпературного синтезу, що саморозповсюджується (СВС). Встановлено, що при використанні багатошарових фольг має місце аномальне прискорення дифузійних процесів у приконтактних об'ємах зразків, що контактують. Відомо, що такий ефект прискорення масопереносу можливий при імпульсній деформації зони контакту.

homogeneity in the joint zone. Examples of application of nanostructured foils for welding dissimilar materials and prospects for application of this approach for welding other difficult-to-weld materials are considered.

EB PVD TECHNOLOGY OF PRODUCING FUNCTIONAL QUASICRYSTALLINE COATINGS AND THEIR PROPERTIES. *A.I. Ustinov[1], V.A. Telichko[1], S.A. Demchenkov[1], C. Bruckmueller[2], A. Hancic[3] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]ERNST WITTNER GmbH, Vienna, Austria; [3]Slovenian Tool and Die Development Center, Celje, Slovenia).* Materials based on multicomponent alloys with a quasicrystalline structure are regarded as promising for development of functional coatings combining the high strength, low friction coefficient and wear resistance. On the other hand, problems arise in production of such coatings, which are related both to narrow concentration range of quasicrystalline phase existence, and to limitations by deposition temperature mode, degree of coating material contamination by impurities during its deposition, adhesion to the substrate, etc. In the work the possibility of producing the quasicrystalline coatings on substrates of various types by electron beam deposition is shown, and interrelation of the structure of coatings and technological parameters of their deposition is studied. It is shown that at the change of deposition temperature it is possible to vary the grain size in the coatings in a broad range from micro- to nanoscale. At deviation of the composition from the stoichiometric one the coating forms a duplex structure, consisting of quasicrystalline and intermetallic cubic phases. A correlation is established between coating structural characteristics and their properties. This was the basis to optimize the structure of coatings, ensuring tool protection from wear at contact with the metal or reinforced plastic, and develop the procedure of their deposition on a complex-shaped surface. Testing of a test batch of moulds and dies with quasicrystalline coatings on the tool working surface under production conditions showed that such coatings essentially extend their service life compared to uncoated tools or those with coatings of another type.

GENERATION OF ELECTRIC POTENTIAL ON THE SURFACE OF METAL SAMPLES AT SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS IN NANOLAYERED FOILS. *G.K. Kharchenko, M.N. Rudenko, O.O. Novomlinets, M.O. Khomenko (Chernigiv State University of Technology, Chernigiv, Ukraine).* It is known that an effective technique at diffusion welding of composites and intermetallics is application of multilayer foils as an interlayer, in which the reaction of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) runs. It is established that at application of multilayer foils an anomalous acceleration of diffusion processes takes place in near-contact volumes of samples in contact. It is known that such an effect of mass transfer acceleration is possible at pulsed deformation in the contact zone.

Тому метою даної роботи було встановлення експериментальних фактів, що підтверджують динамічний вплив реакції СВС у багатошарових фольгах на поверхні, що контактують.

Відомо, що поява електричної напруги в металах, які імпульсно-ударно навантажують за відсутності зовнішнього електричного поля пояснюється утворенням та рухом дислокацій.

Також відомо, що при проходженні реакції СВС у багатошарових фольгах іде хвиля «горіння» зі швидкістю до 5 м/с і температурою на гребені хвилі до 1300 °С. Відбувається імпульсне термічне розширення поверхневого шару зразка, виникають механічні напруження, які приводять до генерації та незворотнього розмноження лінійних дефектів–дислокацій, які повинні зумовлювати виникнення в зразку електричного потенціалу. Такий ефект повинен проявлятися як при пружному, так і при пластичному деформуванні матеріалу.

Для проведення експериментів була розроблена спеціальна схема, яка дозволяла вимірювати появу електричної напруги за допомогою цифрового осцилографа Tetronix TDS 220 при проходження реакції СВС в багатошарових фольгах, які розміщували між зразками зі сталі Ст3 розміром 20×20×6 мм і забезпечували їх незначне стискання та попередній підігрів до температури, що на 100–150 °С нижче температури початку процесу СВС. Підпал фольг здійснювали на повітрі та у вакуумі за допомогою розпеченої спіралі. Застосовували багатошарові фольги складу Ti/Al і Ni/Al товщиною 20–100 мкм.

Встановлено, що в зразках при СВС спостерігається осцилограма імпульсу електричної напруги, тобто СВС зумовлює появу пружних деформацій у зоні контакту поверхонь, між якими розміщувалася багатошарова фольга. Показано, що величина імпульсу електричної напруги знижується при збільшенні товщини багатошарових фольг, а тривалість імпульсу зростає. Експерименти показали, що попередня термообробка (старіння) багатошарових фольг і повна ізоляція зразків зумовлюють зниження величини імпульсу електричної напруги.

Встановлено також, що зростання напруги для фольг Ni/Al значно вище, ніж для Ti/Al, що узгоджується з відомими даними про хід реакції СВС у цих багатошарових фольгах. Теплове виділення при СВС у фользі Ni/Al значно перевищує аналогічні показники для фольги Ti/Al.

Таким чином, в даній роботі експериментально підтверджено динамічний вплив на поверхні, що зварюються, за рахунок реакції СВС у проміжних багатошарових фольгах.

Therefore, the objective of this work was establishing the experimental facts that confirm the dynamic influence of SHS reaction in multilayered foils on the contacting surfaces.

It is known that appearance of electric voltage in metals at application of pulsed impact loading in the absence of an external electric field is attributable to dislocation formation and motion.

It is also known that during SHS reaction a «combustion» wave propagates in multilayer foils at the velocity of 5 m/s and up to 1300 °C temperature at the wave crest. Pulsed thermal expansion of the sample surface layer takes place, mechanical stresses are formed, which lead to generation and irreversible multiplication of linear defects–dislocations, which should cause generation of electric potential in the sample. Such an effect should be manifested both at elastic and at plastic deformation of material.

A special schematic was developed for conducting the experiments, which allowed measurement of generation of voltage by digital oscillograph Tetronix TDS 220 at running of SHS reaction in multilayered foils. The foils were placed between samples of St3 steel of 20×20×6 mm size and their slight compression and preheating up to a temperature 100–150 °C lower than that of the start of SHS process, was provided. Foil ignition was performed in air and in vacuum using a red-hot spiral. Multilayered foils of Ti/Al and Ni/Al composition of 20–100 μm thickness were used.

It is established that an oscillogram of electric voltage pulse is observed in the samples at SHS, that is SHS induces elastic deformations in the zone of contact of surfaces, between which the multilayered foil was placed. It is shown that the value of electric voltage pulse decreases at increase of the thickness of multilayer foils, and pulse duration rises. Experiments showed that preliminary heat treatment (ageing) of multilayer foils and complete insulation of samples result in lowering of the magnitude of electric voltage pulse.

It is also established that increase of voltage for Ni/Al foils is much higher than for Ti/Al ones that is in agreement with the known data about the progress of SHS reaction in these multilayer foils. Heat evolution in Ni/Al foil at SHS is much greater than similar values for Ti/Al foil.

Thus, this work provides experimental confirmation of dynamic influence on the surfaces being welded due to SHS reaction in intermediate multilayer foils.

ВАКУУМНАЯ ПАЙКА МНОГОСЛОЙНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. *В.Ф. Хорунов, С.В. Максимова (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Вакуумная пайка является альтернативой сварке и может использоваться для получения неразъемных соединений сложносвариваемых материалов, при изготовлении конструкций сложной геометрии (получение паяных швов в труднодоступных местах), а также при изготовлении многослойных конструкций различного назначения. Получение неразъемных соединений с помощью вакуумной пайки находит широкое применение во многих отраслях промышленности.

Высокая эффективность теплообмена, снижение термических напряжений и уменьшение массы теплообменников достигаются при изготовлении пластинчатых теплообменников из тонколистовых материалов толщиной 0,05–0,3 мм.

VACUUM BRAZING OF MULTILAYER THIN-WALLED STRUCTURES. *V.F. Khorunov, S.V. Maximova (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Vacuum brazing is an alternative to welding and can be used to produce permanent joints of difficult-to-weld materials in fabrication of structures of a complex geometry (producing brazed seams in difficult-of-access places), as well as in fabrication of multilayer structures for various applications. Producing permanent joints by vacuum brazing is becoming widely accepted in many industrial sectors.

High efficiency of heat exchange, lowering of thermal stresses and reduction of heat-exchanger weight are achieved in manufacture of plate-type heat exchangers from sheet materials 0.05–0.3 mm thick.

Brazing of matrices of plate-type heat exchangers is a complicated technological process associated with simultaneous making of extended seams (heat exchangers can have hundreds and even thousands meters of brazed seams) and im-

Пайка матриц пластинчатых теплообменников является сложным технологическим процессом, связанным с одновременным получением швов большой протяженности (в теплообменниках могут быть сотни и даже тысячи метров паяных швов) и невозможностью исправления образующихся внутри конструкции дефектов.

Важным элементом технологического процесса пайки пластинчатых теплообменников является состав припоя. Как уже отмечалось, теплообменники изготавливаются из тонколистовых элементов и эрозионная активность припоя должна быть минимальной. С этой точки зрения желательно применение припоев с узким интервалом кристаллизации. Температура пайки теплообменников из нержавеющей стали не должна превышать 1100, титановых сплавов не выше 1000 °С.

Для проведения исследований в качестве основного металла использовали нержавеющую сталь 1Х18Н10Т, титановые сплавы. Припои применяли в литом состоянии (порошок) и аморфном–быстрозакаленная фольга.

Проведенные исследования позволили получить многослойные теплообменные устройства с вакуумплотными паяными швами для эксплуатации длительное время без обслуживания. Изготовленные пластинчато-ребристые теплообменники из нержавеющих сталей успешно прошли широкую программу испытаний (на герметичность, эффективность теплообмена, коррозионную стойкость в условиях коррозионно-активного теплоносителя). При этом теплоноситель сохранял оптическую прозрачность.

ФОРМИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Ni_3Al. *В.Ф. Хорунов, С.В. Максимова, В.В. Мясоед, В.В. Воронов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Технологический процесс пайки различных материалов является перспективным способом получения неразъемных соединений и находит применение во многих отраслях промышленности. Основные проблемы при использовании пайки связаны с выбором оптимального химического состава припоя, смачиванием и растеканием припоя по паяемому материалу, диффузионными процессами, протекающими на границе соединения. Решение данных проблем остро стоит при использовании нового класса перспективных жаропрочных материалов на основе интерметаллидов Ni_3Al, имеющих ряд характеристик, востребованных в настоящее время.

В данной работе представлены результаты исследований соединений никелевого сплава на основе Ni_3Al, полученных с использованием вакуумной пайки и припоев на основе системы Ni–Cr–Fe–B–Si и Ni–Co–Ti–Zr.

Проведенные металлографические и рентгеноспектральные исследования показали, что применение промышленного припоя на основе системы Ni–Cr–Fe–B–Si ($T_п$ = = 1155 °С, выдержка τ = 15 мин) не позволяет получать однородные паяные швы. На границе раздела основной материал–шов имеются четко выраженные пики концентрации кремния и хрома, что свидетельствует об образовании фаз с высоким содержанием кремния, которые характеризуются повышенной микротвердостью.

При использовании припоя на основе системы Ni–Co–Zr–Ti ($T_п$ = 1237 °С, τ = 15 мин) химический состав паяного шва практически не отличается от паяемого металла, состав отдельных фаз по основным компонентам близок. Исключение составляют некоторые отдельные участки паяного шва размером до 0,5 мкм, располагающиеся в виде дискретных островков, в которых определена повышенная концентрация циркония и, соответсвенно, пониженная концентрация никеля.

possibility of repairing the defects, forming inside the structure.

Braze alloy composition is an important element of the technological process of brazing plate-type heat exchangers. As was already noted, heat exchangers are made from thin-sheet elements and erosion activity of braze alloy should be minimum. From this viewpoint, application of braze alloys with a narrow solidification range is desirable. Brazing temperature of heat exchangers from stainless steel should not exceed 1100, that of titanium alloys should not be higher than 1000° C.

For investigations stainless steel 1Kh18N10T and titanium alloys were used as base metal. Braze alloys were used in as-cast (powder) and amorphous (rapidly-quenched foil) condition.

Conducted investigations allowed producing multilayered heat-exchangers with vacuum-tight brazed seams for long-term operation without maintenance. Manufactured rib-plate type heat-exchangers from stainless steels have successfully withstood an extensive testing program (for air-tightness, heat exchange effectiveness, corrosion resistance under the conditions of corrosion-active heat carrier). The heat carrier preserved its optical transparency.

FORMATION OF BRAZED JOINTS BASED ON Ni_3Al. *V.F. Khorunov, S.V. Maximova, V.V. Myasoed, V.V. Voronov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Technological process of brazing various materials is a promising method of producing permanent joints, and it is becoming accepted in many industries. The main problems in brazing application, are related to selection of braze alloy composition, wetting and spreading of braze alloy over the material being brazed, and diffusion processes running on the joint boundary. Solution of these problems is urgent at application of a new class of promising high-temperature materials based on Ni_3Al intermetallics, having a number of characteristics which are much needed now.

This work presents the results of investigation of joints of nickel alloy based on Ni_3Al, produced with application of vacuum brazing and braze alloys based on Ni–Cr–Fe–B–Si and Ni–Co–Ti–Zr systems.

Conducted metallographic and X-ray spectral investigations showed that application of commercial braze alloy based on Ni–Cr–Fe–B–Si system (T_{br} = 1155 °С, soaking for τ = = 15 min) does not allow producing homogeneous brazed seams. Base material–seam boundary has pronounced peaks of silicon and chromium concentration, that is indicative of formation of phases with high silicon content, which are characterized by increased microhardness.

At application of braze alloy metal based on Ni–Co–Zr–Ti system (T_{br} = 1237 °С, τ = 15 min) brazed seam composition practically does not differ from the metal being brazed, and composition of individual phases is close by the main components. Only some sections of the brazed seam of up to 0.5 μm size arranged as discrete islets are an exception, where a higher zirconium concentration and lower nickel concentration were determined, respectively.

Homogeneity of brazed seams can be improved by conducting heat treatment or long-term diffusion soaking at application of Ni–Co–Zr–Ti braze alloy that is difficult to achieve in brazing with braze alloy of Ni–Cr–Fe–B–Si system, as brittle

Повысить однородность паяных швов можно проведением термической обработки или длительной диффузионной выдержки при использовании припоя Ni–Co–Zr–Ti, что тяжело выполнимо при пайке припоем системы Ni–Cr–Fe–B–Si, поскольку хрупкие силицидные и боридные фазы имеют высокую химическую устойчивость и не всегда удается их полностью растворить.

РЕМОНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛОАГРЕГАТОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС. *А.К. Царюк[1], В.Д. Иваненко[1], Н.И. Дунаевская[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев, Украина).* В настоящее время более 85 % энергоблоков тепловых электростанций (ТЭС) Украины превысили границу физического износа (наработка 250–300 тыс. ч). Котлоагрегаты энергоблоков ТЭС срочно требуют реконструкции и модернизации либо их замены. Институт угольных энерготехнологий НАН Украины совместно с Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины проводит комплекс работ по определению направлений модернизации существующих энергоблоков ТЭС. Это, в первую очередь, мероприятия по краткосрочному продлению ресурса работы (3–6 лет), долгосрочному продлению (более 6 лет), а также коренной реконструкции (замене) устаревших энергоблоков. Продление сроков эксплуатации котлоагрегатов, отработавших парковый ресурс, возможно только после тщательной технической диагностики с целью выявления повреждений и определения состояния металла (структура, свойства).

Основным способом ремонта поврежденных деталей и узлов котлоагрегатов является ремонтная сварка и восстановительная наплавка. Поэтому разработка прогрессивных технологий ремонтной сварки является важной и актуальной задачей для продления ресурса и надежной эксплуатации котлоагрегатов ТЭС. В ИЭС выполнены работы по созданию эффективной технологии ремонтной сварки котельного оборудования без послесварочной термической обработки. Для получения требуемых свойств сварных соединений теплоустойчивых сталей выбраны сварочные материалы, обеспечивающие химический состав и структуру металла шва, близкие к основному металлу. При этом серьезное внимание было обращено на обеспечение трещиностойкости сварных соединений.

На основе результатов выполненных исследований для устранения повреждений в узлах и деталях котлоагрегатов предложена технология ремонтной сварки на действующих ТЭЦ и ТЭС. Разработанная технология предусматривает в случае невозможности проведения высокого отпуска применение предварительного и сопутствующего подогрева совместно с послесварочным термическим отдыхом. Дальнейшая эксплуатация при рабочей температуре 545 °С способствует снижению остаточных сварочных напряжений, что позволяет продлить ресурс отремонтированного котлоагрегата на ограниченный срок до очередного обследования.

ТЕХНОЛОГИЯ ОДНОСТОРОННЕЙ СВАРКИ ПЛАКИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПЕРВОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС. *А.К. Царюк, О.Г. Касаткин, В.Ю. Скульский, С.И. Моравецкий, А.Р. Гаврик (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* При замене парогенераторов ПГВ-1000 в энергоблоках с ядерными энергоустановками ВВЭР-1000 возникает необходимость выполнения стыкового соединения главного циркуляционного трубопровода Ду850

silicide and boride phases have a high chemical stability and it is not always possible to completely dissolve them.

REPAIR TECHNOLOGY FOR EXTENSION OF SERVICE LIFE OF BOILERS OF OPERATING TPP POWER UNITS. *A.K. Tsaryuk[1], V.D. Ivanenko[1], N.I. Dunaevskaya[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]Institute of Coal Energy Technology of NASU, Kiev, Ukraine).* At present more than 85 % of power units of thermal power plants (TPP) of Ukraine have passed the limit of physical wear (250–300 thou. h of operation). Boilers of TPP power units urgently require reconstruction and upgrading or their replacement. Institute of Coal Energy Technologies of the NAS of Ukraine together with the E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev performs a package of work on determination of the directions of upgrading currently operating TPP power units. These, primarily, are measures on short-term extension of service life (3–6 years), long-term extension (more than 6 years), as well as radical overhauling (replacement) of outdated power units. Extension of service life of boilers, which have operated longer than their specified life, is possible only after thorough technical diagnostics in order to reveal damage and determine the metal state (structure, properties).

The main method of repair of damaged parts and components of boiler units is repair welding and reconditioning surfacing. Therefore, development of advanced technologies of repair welding is an important and urgent task for extension of service life and reliable operation of TPP boilers. PWI performed work on development of effective technology of repair welding of boiler equipment without postweld heat treatment. To obtain the required properties of welded joints of heat-resistant steels, such welding consumables were selected, which provide the composition and structure of weld metal, close to those of base metal. Here a lot of attention was given to ensuring crack resistance of welded joints.

Proceeding from the results of performed investigations, a technology of repair welding in currently operating TPP and TPS was proposed to eliminate damage in boiler assemblies and parts. Developed technology envisages, in case of impossibility of conducting high tempering, application of preheating and concurrent heating together with postweld thermal recovery. Further operation at working temperature of 545 °C promotes lowering of residual welding stresses that allows extension of service life of repaired boiler for a limited term till the next examination.

TECHNOLOGY OF WELDING FROM ONE SIDE CLAD PIPELINES OF PRIMARY COOLANT CIRCUIT OF NPP POWER UNITS. *A.K. Tsaryuk, O.G. Kasatkin, V.Yu. Skulsky, S.I. Moravetsky, A.R. Gavrik (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* At replacement of steam generators PVG-1000 in power units with nuclear power plants WWER-1000, it is necessary to make the butt joint of the main circulating pipeline Du850 from 10GN2MFA steel of 70 mm thickness, clad by an

из стали 10ГН2МФА толщиной 70 мм, плакированной аустенитным слоем, с патрубком парогенератора. Штатная технология предусматривает после заварки с наружной стороны V-образной разделки в зоне основного металла и проведения его неразрушающего контроля, восстановление с внутренней стороны трубы вдоль корневой части полоски плакирующего слоя шириной около 20 мм, выбираемого при подготовке разделки кромок. Наплавка осуществляется ручной дуговой сваркой. После наплавки проводится поверхностная зачистка наплавленного слоя. Для снижения трудоемкости ремонтно-сварочных работ и улучшения условий работы персонала (прежде всего за счет снижения времени нахождения внутри трубы с повышенным радиационным фоном) требовалась разработка технологии односторонней сварки с наружной стороны указанных стыковых трубных соединений.

Выбрана конфигурация разделки кромок и предложена технология односторонней сварки трубных соединений плакированнной стали 10ГН2МФА, выполняемая в следующей последовательности:

• сварка плакирующего слоя аустенитными сварочными материалами (типа 04Х20Н9Г2Б);

• выполнение промежуточного шва с использованием низкоуглеродистого ферритного сварочного материала (с целью исключения образования хрупких прослоек, что характерно для условий сварки переходных слоев со смешиванием аустенитного металла плакировки и низколегированного сварочного материала, используемого для сварки основного слоя);

• заполнение разделки электродным материалом, предназначенным для сварки основного слоя (Св-08Г1НМА, Св-10ГНМА при аргонодуговой сварке, электродами ПТ-30 при ручной дуговой сварке) с обязательным предварительным и сопутствующим подогревом и последующим высоким отпуском соединения.

austenitic layer, with steam generator nipple. Standard technology envisages restoration of a cladding layer strip about 20 mm wide along the root part from the pipe inner side, which is cut out at edge preparation, after welding up from the outside a V-shaped groove in the base metal zone, and conducting its non-destructive testing. Cladding is performed by manual arc welding. Cladding is followed by surface cleaning of the deposited layer. Lowering of labour consumption of repair-welding operations and improvement of personnel working conditions (primarily, due to shortening of the time of staying inside the pipe with increased radiation background) required development of the technology of welding the above pipe butt joints from one side — from the outside. Configuration of edge preparation was selected, and technology of welding from one side of pipe joints of clad steel 10GN2MFA was proposed, which is performed as a following sequence:

• welding of cladding layer by austenitic welding consumables (04Kh20N9G2B type);

• making the intermediate weld using low-carbon ferritic welding consumable (in order to eliminate formation of brittle interlayers that is characteristic for the conditions of welding the transition layers with mixing of the austenitic metal of the cladding and low-alloyed welding consumable, used for welding the main layer);

• groove filling by electrode material designed for welding the base layer (Sv-08G1NMA, Sv-10GNMA in argon-arc welding, PT-30 electrodes in manual arc welding) with compulsory preheating and concurrent heating and subsequent high tempering of the joint.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУИ ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА В ЗОНЕ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ. *Д.А. Чинахов (Юргинский технолог. ин-т (филиал) Нац. исследовательского Томского политех. ун-та, Юрга, Россия).* Большинство сварочных процессов предусматривает нагрев соединяемых деталей разными видами источников тепла. При сварке плавлением качество соединения во многом определяется условиями нагрева и охлаждения. Характер протекания тепловых процессов определяет производительность плавления основного металла и присадочного материала, направление и полноту протекания металлургических процессов в сварочной ванне, условия формирования структуры металла шва и зоны термического влияния, эксплуатационные свойства сварных соединений.

При сварке плавящимся электродом в струйной газовой защите при определенных условиях кроме основных сил на каплю электродного металла и процессы в зоне сварки существенное влияние оказывает сила действия струи защитного газа. Значительное влияние этой силы отмечено при двухструйной газовой защите в CO_2.

С целью изучения влияния скорости истечения активного защитного газа на тепловые процессы в зоне сварки плавящимся электродом провели моделирование и экспериментальные исследования.

Анализ результатов моделирования показал, что форма, скорость и воздействие потока газа при истечении из традиционного и двухструйного сопла сильно отличаются. Значительное изменение динамики защитного газа влечет за собой изменение процессов, протекающих в зоне сварки

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SHIELDING GAS JET ON HEAT DISTRIBUTION IN THE CONSUMABLE ELECTRODE WELDING ZONE. *D.A. Chinakhov (Yurga Institute of Technology (Branch) of the National Research Tomsk Polytechnic University, Yurga, Russia).* Most of the welding processes envisage heating of the parts being joined by various kinds of heat sources. In fusion welding the joint quality is largely determined by the conditions of heating and cooling. Nature of running of thermal processes determines the efficiency of melting of base metal and filler material, direction and completeness of running of metallurgical processes in the weld pool, conditions of formation of structure of the metal of weld and heat-affected zone, and welded joint performance.

In consumable electrode welding with gas jet shielding, the force of shielding gas jet impact has an essential influence on electrode metal drop and processes in the welding zone under certain conditions, alongside the main forces. A considerable influence of this force was noted at double-jet CO_2 gas shielding. Simulation and experimental investigations were conducted in order to study the influence of the velocity of active gas outflowing on thermal processes in the zone of consumable electrode welding.

Analysis of simulation results showed that the shape, velocity and impact of the gas flow at outflowing from the traditional and double-jet nozzles differ essentially. A considerable change of shielding gas dynamics causes a change of the processes, running in the welding zone (transfer of electrode metal drops, metallurgical processes in the drop, thermal processes, weld pool dynamics, etc.), and, consequently, change of welded joint performance.

(перенос капель электродного металла, металлургические процессы в капле, тепловые процессы, динамика сварочной ванны и т. д.), и, как следствие, изменение эксплуатационных свойств сварных соединений.
По результатам исследования установлено, что распределение тепла в электроде, капле расплавленного металла, дуговом промежутке, сварочной ванне и свариваемых изделиях зависит от формы и скорости истечения активного защитного газа.

Investigation results showed that heat distribution in the electrode, molten metal drop, arc gap, weld pool and items being welded, depends on the shape and dimensions of active shielding gas outflowing.

СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЕ. *Д.А. Чинахов, А.В. Зуев (Юргинский технолог. ин-т (филиал) Нац. исследовательского Томского политех. ун-та, Юрга, Россия).* Перенос электродного металла при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов зависит от различных факторов. При сварке с традиционной одноструйной защитой на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила тяжести; сила поверхностного натяжения; электродинамическая сила; реактивное давление испаряющегося с поверхности капли металла и выделения газа; сила давления потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами. Они зависят от условий, в которых горит дуга, материала электродной проволоки, напряжения дуги, силы сварочного тока и т. д. При определенных условиях кроме основных сил на каплю электродного металла существенное влияние оказывает сила действия струи защитного газа, которая зависит от способа подачи защитного газа в зону сварки и его состава.
В ЮТИ ТПУ разработан способ сварки с двухструйной газовой защитой, который с помощью управления газодинамикой струи защитного газа обеспечивает стабильность качества и свойств соединений из легированных сталей.
По результатам исследований установлено, что скорость истечения газа при двухструйной газовой защите больше в 3,0–3,5 раза, а сила действия струи защитного газа на каплю электродного металла при двухструйной газовой защите в 12 раз больше по сравнению с одноструйной. Установлена и описана зависимость частоты переноса капель электродного металла в сварочную ванну от силы действия струи защитного газа. С увеличением силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла возрастают частота и стабильность переноса капель с электрода в сварочную ванну, интенсивность протекания металлургических процессов на поверхности капли, уменьшается время перехода капли в сварочную ванну. Управление газодинамическим давлением струи защитного газа на жидкий металл сварочной ванны приводит к интенсивному перемешиванию расплавленного электродного металла с основным.
Разработанный способ обеспечивает надежную защиту зоны сварки за счет увеличения жесткости струи защитного газа при сохранении его расхода, что особенно важно при сварке на открытых площадках.

CONSUMABLE ELECTRODE WELDING WITH DOUBLE-JET GAS SHIELDING. *D.A. Chinakhov, A.V. Zuev (Yurga Institute of Technology (Branch) of the National Research Tomsk Polytechnic Institute, Yurga, Russia).* Electrode metal transfer in gas-shielded consumable electrode welding depends on various factors. In welding with the traditional single-jet shielding the following main forces act on the electrode metal drop: force of gravity, surface tension force; electrodynamic force; reactive pressure of metal evaporating from the drop surface and gas evolution; force of pressure of plasma flows and bombardment with charged particles. They depend on the conditions, under which the arc runs, electrode material, arc voltage, welding current, etc. Under certain conditions the force of action of shielding gas jet has an essential influence on electrode metal drop, in addition to the main forces. This force depends on the method of shielding gas feeding into the welding zone and its composition.
YuIT TPU developed a process of welding with double-jet gas shielding, which ensures a stable quality and properties of alloyed steel joints through control of gas-dynamics of shielding gas jet.
Proceeding from investigation results, it was established that the rate of gas outflow at double-jet gas shielding is 3.0–3.5 times and the force of shielding gas jet action on electrode metal drop at double-jet shielding is 12 times greater, compared to single-jet shielding. Dependence of the frequency of electrode metal drops transfer into the weld pool on the force of action of shielding gas jet was established and described. With increase of the force of action of shielding gas jet on electrode metal drop, the frequency and stability of drop transfer from the electrode into the weld pool, and intensity of running of metallurgical processes on the drop surface become higher, and time of drop transfer into the weld pool becomes shorter. Control of gas-dynamic pressure of shielding gas jet on weld pool liquid metal leads to intensive mixing of molten electrode metal with base metal.
Developed method ensures a reliable protection of the welding zone due to increase of the stiffness of shielding gas jet at preservation of the same flow rate, that is particularly important in welding in open sites.

ВЫБОР СТРУКТУРЫ ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ РАБОТЫ ИСПОЛНЯЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ВМП. *В.А. Шапка (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Повышение надежности и ресурса сварных конструкций связано с разработкой методов снижения остаточных напряжений. Эти методы позволяют уменьшить коэффициенты концентрации напряжений путем их перераспределения за счет поверхностной пластической деформации (наклепа). Одним из наиболее перспективных методов является высокочастотная механическая проковка (ВМП), реализуемая с использованием мощных ультразвуковых преобразовате-

SELECTION OF THE STRUCTURE OF DRIVING GENERATOR FOR OPERATION OF HFMP ACTUATOR. *V.A. Shapka (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Improvement of reliability and residual life of welded structures is related to development of methods to lower residual stresses. These methods allow reducing the coefficients of stress concentration by their redistribution due to surface plastic deformation (work hardening). One of the most promising methods is high-frequency mechanical peening (HFMP), realized using high-power ultrasonic transducers. The advantage of this method consists in that it combines surface strengthening with plastic defor-

лей. Преимущество этого способа заключается в том, что он совмещает поверхностное упрочнение пластической деформацией при циклических ударах и тем самым изменяет общее напряженное состояние.

Успешная реализация этого метода требует создания высокоэффективной ультразвуковой аппаратуры, работающей в диапазоне 20–30 кГц. При решении задач оптимизации ультразвукового инструмента, выполненного на основе пьезопреобразователей, необходимо решить вопросы эффективного согласования выходного колебательного контура с задающим генератором (ЗГ). Приведены основные методы реализации ЗГ, а также их сравнительный анализ. Рассмотрены следующие основные схемы высокочастотных преобразователей:

- конвертор понижающего типа;
- однотактный мостовой преобразователь;
- полумостовой преобразователь;
- полномостовой преобразователь.

На основе анализа их достоинств и недостатков предложена новая схема комбинированного устройства, представляющего собой двухфазный однотактный мост. Преимущества этой схемы заключаются в улучшении энергоэффективности, позволяя использовать ее в автономном режиме работы, что существенно расширяет функциональные возможности устройства.

mation at cyclic impact and, thus, changes the overall stressed state.

Successful implementation of this method requires development of high-efficient ultrasonic equipment operating in the range of 20–30 kHz. At solving the problems of optimization of ultrasonic tools, based on piezo-electric transducers, it is necessary to provide efficient matching of output oscillatory circuit with setting generator (SG). The main methods of SG realization are given, as well as their comparative analysis. The following main schematics of high-frequency converters are considered:

- downconvertor;
- single-cycle bridge converter;
- half-bridge converter;
- full-bridge converter.

Proceeding from analysis of their advantages and disadvantages, a new circuit of a combined device is proposed, which is a two-phase single-cycle bridge. The advantages of this circuit consist in improvement of energy-efficiency, allowing it to be used in off-line operating mode. This essentially broadens the functional capabilities of the device.

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ. *В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, А.Г. Лукашенко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Во многих современных отраслях промышленности используются сильфонные компенсаторы. Они используются в изделиях вакуумной и криогенной техники, в химической промышленности, атомной энергетике, а также в авиационной и космической технике. Данные изделия применяются для транспортировки агрессивных жидкостей и газов при различных температурах и в вакуум-плотных соединениях. Необходимость их использования продиктована особенностями условий работы соответствующей техники. Сильфонные компенсаторы соединяют детали и узлы, осуществляющие в процессе эксплуатации относительные перемещения или работающие в условиях вибрации.

Основным рабочим элементом этих изделий является сильфон — гибкая гофрированная металлическая трубка из тонкостенной нержавеющей стали. Часто эту трубку изготавливают многослойной. Для получения сильфонных компенсаторов гофрированную трубку сваривают с массивной арматурой (трубками, втулками). Нами предложено решать проблему получения такого разнотолщинного герметичного соединения за счет применения лазерной сварки.

Проведенные эксперименты показали, что для изготовления сильфонных компенсаторов из нержавеющей аустенитной стали целесообразно применять лазерную сварку излучением, фокусирующимся в пятно малого (до 50 мкм) диаметра, а также излучением с импульсной модуляцией. Были разработаны оборудование и технологии лазерной сварки сильфонных компенсаторов, позволяющие получать в литом металле швов и в металле ЗТВ мелкозернистые структуры, имеющие повышенные механические характеристики (например, выдерживающие давление до 55 МПа).

LASER WELDING OF EXPANSION BELLOWS. *V.D. Shelyagin, V.Yu. Khaskin, A.G. Lukashenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Expansion bellows are applied in many of the modern industries. They are used in vacuum and cryogenic engineering products, in chemical industry, nuclear power engineering, as well as in aircraft and space engineering. These products are applied for transportation of aggressive liquids and gases at various temperatures and in vacuum tight joints. The need for their application is dictated by peculiarities of operation conditions of the respective equipment. Expansion bellows join parts and components, which perform relative displacements or operate under vibration conditions.

The main working element of these items is the bellows — a flexible corrugated metal tube from thin-walled stainless steel. This tube is often made multilayered. To produce expansion bellows the corrugated tube is welded to massive fittings (tubes and bushings). We proposed solving the problem of producing such a tight joint of different thickness by application of laser welding.

Conducted experiments showed that in order to manufacture expansion bellows from stainless austenitic steel, it is rational to apply laser welding by radiation focused into a spot of small (up to 50 μm) diameter, as well as by radiation with pulsed modulation. Equipment and technologies of laser welding of expansion bellows were developed, which allow producing fine-grained structures in the cast weld metal and the HAZ metal, having improved mechanical characteristics (for instance, those which can stand up to 55 MPa pressure).

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИСТЕНОЧНОГО ВАЛИКА ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ. *М.А. Шолохов[1], А.М. Фивейский[1], Д.С. Бузорина[2] ([1]ООО «ШТОРМ», Верхняя Пышма, Россия; [2]Уральский федеральн. ун-т, Екатеринбург, Россия).* Для получения сварных швов с требуемыми механическими свойствами, благоприятной структурой и минимальными сварочными деформациями необходимо ограничивать погонную энергию. При многопроходной сварке в условиях ограничения погонной энергии из-за теплоотвода в основной металл повышается вероятность образования несплавлений между валиком и кромками разделки, а также между соседними валиками.

Эффективное управление процессом проплавления свариваемого металла в условиях дуговой сварки (с целью обеспечения отсутствия несплавлений) возможно лишь при знании основных закономерностей этого процесса, а также качественного и количественного влияния основных и вспомогательных параметров режима сварки на размеры и форму зоны проплавления.

В данной работе методом математического планирования эксперимента получена зависимость площади сечения пристеночного валика и полного теплового КПД процесса сварки от угла разделки, положения электрода в разделке и скорости сварки при условии бездефектного формирования пристеночного валика в виде уравнений регрессии. Полученные уравнения показывают, что при заданных начальных условиях сварки (ток, напряжение) угол разделки практически не оказывает влияния на площадь сечения валика и на тепловой КПД процесса сварки. Наиболее существенными факторами для площади сечения валика являются положение электрода в разделке, для полного теплового КПД — скорость сварки.

Полученные уравнения позволяют подбирать параметры наплавки пристеночного валика, обеспечивающие отсутствие несплавлений при минимально необходимом тепловложении в изделие.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON FORMATION OF NEAR-WALL BEAD IN GAS-SHIELDED MULTIPASS WELDING. *M.A. Sholokhov[1], A.M. Fiveiskii[1], D.S. Buzorina[2] ([1]OJSC «STORM», Upper Pyshma. Russia; [2]Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia).* In order to produce welds with the required mechanical properties, favourable structure and minimum welding deformations, it is necessary to limit the heat input. In multipass welding under the conditions of heat input limitation, the probability of formation of lacks-of-fusion between the bead and groove edges, as well as between the adjacent beads, becomes higher, because of heat removal into the base metal.

Effective control of the process of penetration of metal being welded in arc welding (to prevent lacks-of-fusion) is possible only with knowledge of the main regularities of this process, as well as qualitative and quantitative influence of the main and auxiliary parameters of the welding mode on the dimensions and shape of penetration zone.

In this study the method of mathematical planning of experiment was used to derive, in the form of regression equations, the dependence of cross-sectional area of near-wall bead and complete thermal efficiency of the welding process on groove angle, electrode position in the groove and welding speed under the conditions of defect-free formation of near-wall bead.

Derived equations show that at the specified initial conditions of welding (current, voltage), the groove angle practically has no influence on the bead cross-sectional area or on thermal efficiency of the welding process. The most significant factor for bead cross-sectional area is electrode position in the groove, and for complete thermal efficiency it is the welding speed.

Derived equations allow selection of parameters of near-wall bead deposition, preventing lacks-of-penetration at minimum required heat input into the item.

ДВУХДУГОВАЯ СВАРКА И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ. *М.А. Шолохов[1], А.М. Фивейский[1], А.Ю. Мельников[2] ([1]ООО «ШТОРМ», Верхняя Пышма, Россия; [2]Уральский федеральн. ун-т, Екатеринбург, Россия).* Двухдуговая сварка является одним из перспективных способов, который позволяет значительно повысить производительность, качество, а также расширить возможности процесса. Двухдуговая сварка может выполняться в общую или в раздельные ванны.

Применение двухдуговой сварки в раздельные ванны позволяет легко регулировать термический цикл сварки за счет изменения расстояния между дугами и их мощностей. При этом можно получать требуемые механические свойства и структурный состав металла шва и зоны термического влияния. Использование двухдуговой сварки в общую ванну позволяет значительно увеличить производительность процесса и повысить качество сварных швов. Двухдуговая сварка в общую ванну позволяет расширить диапазон скоростей сварки, применение которых позволяет получать швы с благоприятным формированием.

Для реализации технологии двухдуговой сварки была проведена модернизация сварочного трактора АДФГ-502 ШТОРМ, которым в стандартной комплектации можно выполнять сварку двумя горелками двух швов одновременно. Отличительными особенностями данного автомата являются возможность его использования как для сварки под флюсом, так и в защитных газах, а также модульная конструкция, которая позволяет легко адаптировать его

TWIN-ARC WELDING AND ITS PRACTICAL IMPLMENTATION. *M.A. Sholokhov[1], A.M. Fiveiskii[1], A.Yu. Melnikov[2] ([1]OJSC «STORM», Upper Pyshma. Russia; [2]Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia).* Twin-arc welding is one of the promising processes, that allows considerable improvement of efficiency and quality, as well as enhancement of process capabilities. Twin-arc welding can be performed into a common pool or into separate pools.

Application of twin-arc welding into separate pools facilitates regulation of the thermal cycle of welding due to variation of the distance between the arcs and their power. Here, it is possible to produce the required mechanical properties and structural composition of the metal of weld and HAZ. Application of twin-arc welding into a common pool allows significantly increasing the process efficiency and improving weld quality. Twin-arc welding into a common pool allows widening the range of welding speeds, application of which enables producing welds with favourable weld formation.

In order to realize the twin-arc technology, upgrading of welding tractor ADFG-502 STORM was performed. This machine, when fitted with a standard set of components, can make two welds simultaneously by two torches. Special features of this machine are the possibility of its application both for submerged-arc and for gas-shielded arc welding, as well as modular design that allows readily adapting it to welding various structures. The tractor is fitted with mechanical seam-tracking system. Automatic machine design incorporates unified assemblies (wire feed mechanism, torch,

для сварки различных конструкций. Трактор оснащен механической системой слежения. В конструкции автомата применены унифицированные узлы (механизм подачи проволоки, горелка, жидкостная система охлаждения горелок), что дает возможность легкой замены необходимых деталей.

Для использования данного трактора для двухдуговой сварки была выполнена модернизация узла крепления горелок. После модернизации имеется возможность настройки расстояния между дугами, раздельной настройки угла наклона каждой горелки в двух плоскостях. В конструкции предусмотрены специальные кронштейны, позволяющие точно выставлять положение трубок для подачи флюса.

system of torch liquid cooling) that enables easy replacement of the required parts.

To enable application of this tractor for twin-arc welding, upgrading of torch fastening assembly was performed. Upgrading provided the possibility of adjustment of inter-arc distance, separate adjustment of the angle of inclination of each torch in two planes. The design envisages special brackets, allowing accurate positioning of the tubes for flux feeding.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СВАРКИ И РЕМОНТА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЛОПАТОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ. *К.А. Ющенко[1], И.С. Гах[1], Б.А. Задерий[1], А.В. Звягинцева[1], О.П. Карасевская[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, Киев, Украина).* На основе теоретических обобщений, экспериментов по сварке, исследований микро-, дислокационной и кристаллографической структуры определены условия получения сварных соединений монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов.

Главные из них:

- структурное совершенство монокристалла, ограничение содержания вредных примесей;
- обеспечение кристаллографической ориентации соединения относительно осей высокой симметрии монокристалла в установленных пределах;
- совпадение направления максимального теплоотвода по фронту кристаллизации сварочной ванны с ориентацией <001>;
- управление термодеформационным циклом сварки.

Предложены технологические пути обеспечения условий формирования монокристаллического соединения при управлении геометрией сварочной ванны.

Выполнение этих условий обеспечивает получение регламентированных механических свойств сварных соединений за счет сохранения исходной кристаллографической ориентации в металле шва и допустимой разориентировкой субструктуры.

Рассмотрены способы реализации разработок при создании сварных лопаток новой конструкции, ремонте эксплуатационных повреждений и технологических дефектов изготовления, а также при укрупнении монокристаллических заготовок.

METALLURGICAL AND TECHNOLOGICAL ISSUES OF WELDING AND REPAIR OF SINGLE-CRYSTAL BLADES FROM HIGH-STRENGTH NICKEL ALLOYS. *K.A. Yushchenko[1], I.S. Gakh[1], B.A. Zadery[1], A.V. Zvyaginsteva[1], O.P. Karasevskaya[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]G.V. Kurdyumov Institute of Metal Physics of the NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine).* Proceeding from theoretical generalizations, welding experiments, investigations of micro-, dislocation and crystallographic structure, conditions of producing single-crystal welded joints of high-temperature nickel alloys were determined, the main of which are:

- structural perfection of the single-crystal, limitation of impurity content;
- ensuring the crystallographic orientation of the joint relative to high-symmetry axes of the single-crystal within the established limits;
- coincidence of the direction of maximum heat removal over the weld pool solidification front with <001> orientation;
- control of thermodeformational cycle of welding.

Technological measures are proposed to ensure the conditions for formation of single-crystal joint at control of weld pool geometry.

Fulfillment of these conditions ensures producing specified mechanical properties of welded joints due to preservation of the initial crystallographic orientation in the weld metal and admissible disorientation of the substructure. Methods of realization of the developments are considered in manufacture of welded blades of a new design, repair of service damage and technological manufacturing defects, as well as at enlargement of single-crystal billets.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ РЕАКЦИОННО-ДИФФУЗИОННЫМ СПОСОБОМ. *К.А. Ющенко, Т.Н. Кушнарева, В.Е. Мазурак (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Литейные никелевые сплавы, особенно наплавленной кристаллизации и монокристаллические, являются основными конструкционными материалами для изготовления направляющих и рабочих лопаток турбин в теплонапряженных газотурбинных двигателях (ГТД) и наземных газотурбинных установок (ГТУ). Получение равнопрочных неразъемных соединений и восстановление деталей турбин без расплавления основного материала при сохранении исходной структуры после ремонта с обеспечением необходимых служебных характеристик соединений деталей является актуальной задачей.

RESULTS OF INVESTIGATIONS OF PRODUCING HIGH-TEMPERATURE NICKEL ALLOY JOINTS BY REACTION-DIFFUSION PROCESS. *K.A. Yushchenko, T.N. Kushnareva, V.E. Mazurak (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Cast nickel alloys, particularly those produced by directional solidification and single-crystal ones, are the main structural materials for manufacturing the vanes and blades of turbines in high-heat gas turbine engines (GTE) and in ground-based gas turbine units (GTU). Producing full-strength permanent joints and reconditioning turbine parts without melting of the base material with preservation of the initial structure after repair, and ensuring the required service properties of part joints is an urgent task.

Investigations of the features of welded joint formation by reaction-diffusion process using metals-depressants of IVa

Проведены исследования особенностей формирования соединений реакционно-диффузионным способом с использованием металлов-депрессантов IVa и Va групп для сплавов типа ЖС6У, ЧС70, IN738, МА IN758, ЖС26, ЖС32, ЖС36, PWA-1480.
Выполнены микроструктурные исследования фазового состава материалов швов и рассмотрена взаимосвязь химического состава присадочного материала и технологических параметров с физико-механическими свойствами соединений. Сформулированы металловедческие особенности формирования соединений.
Проведены механические испытания на кратковременную прочность при растяжении (20, 900, 1000, 1100 и 1200 °С) и длительную прочность при 900 °С (под нагрузкой 300–350 МПа).
Результаты механических испытаний показали, что уровень прочности соединений составляет 0,8–0,9 прочности основного металла с разрушением образцов за пределами зоны шва.
Технологический процесс реализован при получении неразъемных соединений сложной формы и ремонте натурных деталей конструктивных элементов авиационных ГТД из жаропрочных никелевых сплавов.

and Va groups were performed for alloys of ZhS6U, ChS70, IN738, MA IN758, ZhS26, ZhS32, ZhS36, PWA-1480 types.
Microstructural investigations of phase composition of weld materials were performed, and interrelation between filler material chemical composition and technological parameters and physico-mechanical properties of the joints was considered. Metals science features of joint formation were defined.
Mechanical testing for short-term strength at tension (20, 900, 1000, 1100 and 1200 °C) and for long-term strength at 900 °C (under 300–350 MPa load) was conducted.
Results of mechanical testing showed that the strength level of the joints is equal to 0.8–0.9 of that of the base metal with samples failing beyond the weld zone.
Technological process is realized when making permanent joints of a complex shape and in repair of full-scale parts of structural elements of aircraft GTE from high-strength nickel alloys.

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ РЕМОНТЕ ЭЛЕМЕНТОВ НАДПИСИ «ARBEIT MACHT FREI» ВХОДНЫХ ВОРОТ БЫВШЕГО НЕМЕЦКОГО КОНЦЕНТРАЦИОННОГО И ЭКЗЕКУЦИОННОГО ЛАГЕРЯ АУШВИЦ I *(Е. Турык[1], Б. Чворног[1], А. Зыдзик-Бялек[2] ([1]Ин-т сварки, Гливице, Польша; [2]Гос. музей Аушвиц-Биркенау, Освенцим, Польша)*. В докладе представлены повреждения надписи «Arbeit macht frei», полученные во время ее кражи (порез в трех секциях и искривление верхней и нижней трубной части надписи, легкие разрывы сварных соединений между буквами и трубками), а также обсуждены требования отдела сохранения исторического наследия Государственного музея Аушвиц-Биркенау относительно выбора метода соединения элементов надписи, а также диапазона проведения сварочных работ, необходимых для ремонта надписи.
Также были представлены ход и результаты работ, выполненные Институтом сварки по процедурам ремонтной сварки элементов надписи, включая сварку ТИГ и лазерную сварку. Стыковые соединения труб, тавровые соединения букв с верхней и нижней трубкой и ремонт больших трещин в угловых швах, соединяющих буквы с трубками, выполнялись методом ТИГ. Лазерная сварка при ремонте надписи «Arbeit macht frei» включала:
• создание крытого перехода в стыковых соединениях верхней и нижней трубки, соединяющего структуру надписи;
• ремонтную сварку трещин в исходных швах, соединяющих буквы с трубками;
• локальный импульсный лазерный переплав крытого перехода ремонтных швов для декоративных целей;
• наплавку с целью реконструкции исходной формы швов в соответствии с архивными фотографиями.
Обговаривался диапазон проведения технологического осмотра, выполненного Институтом сварки во время ремонтной сварки надписи. Было подтверждено, что качество сварных соединений надписи соответствует требованиям отдела сохранения исторического наследия Государственного музея Аушвиц-Биркенау относительно формы, размеров и внешнего вида.

WELDING WORKS IN REPAIR OF THE «ARBEIT MACHT FREI» INSCRIPTION ELEMENTS OF THE ENTRANCE GATE TO THE FORMER GERMAN NAZI CONCENTRATION AND EXTERMINATION CAMP AUSCHWITZ I *(E. Turyk[1], B. Czwornog[1], A. Zydzik-Bialek[2] ([1]Instytut Spawalnictwa, Gliwice, Poland; [2]Auschwitz-Birkenau State Museum, Oswiecim, Poland)*. It has been presented the damages of the «Arbeit macht frei» inscription formed during the theft of it (cut in three sections and distortion of upper and lower tube parts of the inscription, slight tears of welded joints between letters and tubes) and discussed the requirements of the Conservator's Section of the Auschwitz-Birkenau State Museum in relation to bringing the inscription elements together as well as the range of welding works necessary for the repair of the inscription.
The course and results of the works made by the Instytut Spawalnictwa concerning the procedures of repair welding of the inscription elements, including TIG and laser welding, have been presented as well. Butt joints of tubes, T-joints of letters with upper and lower tube and the repair of large cracks in fillet welds joining letters with tubes were made by TIG method. Laser welding in the repair of the «Arbeit macht frei» inscription included:
• making the cover pass in the butt joints of upper and lower tube, bringing the inscription structure together;
• repair welding of cracks in original welds joining letters with the tubes;
• local pulse laser remelting of the cover pass of repair welds for decorative purposes;
• surfacing in order to reconstruct the original shape of welds in accordance with archival photographs.
It has been discussed the range of technological supervision effected by the Instytut Spawalnictwa during repair welding of the inscription. It has been found that the quality of welded joints in the inscription meets the requirements of the Conservator's Section of the Auschwitz-Birkenau State Museum in respect of shape, dimensions and appearance of their face.

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ

STRENGTH OF WELDED JOINTS AND STRUCTURES, THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF STRESS-STRAIN STATES AND THEIR CONTROL

РОБОТОЗДАТНІСТЬ ВИСОКОАЗОТНИХ СТАЛЕЙ ТА ЇХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЗА ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ У ВОДНІ. *О.І. Балицький[1], Є. Новацький[2], І.Ф. Костюк[3], О.Б.Вус[1], О.С.Сколоздра[1] ([1]Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна; [2]Кафедра зварювання Західнопоморського технологічного ун-ту, Щецін, Польща; [3]Відкрите акціонерне товариство «ДТЕК», Донецьк, Україна).* Високоазотні Cr–Mn аустенітні сталі використовують у атомній та тепловій енергетиці як бандажні кільця для фіксації від осьового переміщення мідних обмоток ротора генератора не лише за номінальної частоти обертання турбогенератора, але і за експлуатації турбогенератора у випадках раптового зниження навантаження, коли частота обертання ротора зростає на 20 %. Необхідні експлуатаційні характеристики досягають холодним пластичним деформуванням бандажного кільця, ступінь якого досягає 50–60 %, тому матеріал кільця володіє значною пластичністю в холодному стані. На даний час напрацювання бандажних кілець на діючих в Україні електростанціях складає 75 % паркового ресурсу. Тому важливим показником роботоздатності бандажних кілець у реальних умовах експлуатації є опір розвитку тріщин, а для визначення залишкового ресурсу під час циклічних навантажень у водні необхідно врахувати можливість росту дефектів до розмірів, при яких наступає крихке руйнування. За результатами досліджень високоазотних сталей встановлено, що для бандажних кілець зі сталі 18Cr–18Mn нормативні значення критичної довжини тріщини повинні бути зменшені на 25–30 % для врахування дії технологічного водневого охолоджуючого середовища. Для оцінки впливу водневих середовищ на роботоздатність та залишковий ресурс високонавантажених деталей енергетичного устаткування використали значення характеристик тріщиностійкості у вихідному та деградованому стані після 122, 131, 140 та 166 тис. год. експлуатації.

Випробування зварних з'єднань високоазотних сталей дають підстави рекомендувати відновлення бандажних кілець турбоагрегатів зварюванням та наплавленням, що дозволить продовжити ресурс їх роботи. Забезпечення надійної роботи швидкохідних та тихохідних турбоагрегатів дозволить запобігти нештатним ситуаціям та уникнути масштабних катастрофічних для людей та довкілля наслідків від їх руйнування.

PERFORMANCE OF HIGH-NITROGEN STEELS AND THEIR WELDED JOINTS AFTER LONG SERVICE IN HYDROGEN. *O.I. Balytsky[1], Ye. Novatsky[2], I.F. Kostyuk[3], O.B. Vus[1], O.S. Skolozdra[1] ([1]H.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, Lvov, Ukraine; [2]Chair of Welding of West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland; [3]OJSC «DTEK», Donetsk, Ukraine).* High-nitrogen Cr–Mn austenite steels are applied in nuclear and heat power engineering as retaining rings for fixation of copper winding of generator rotor from axial movement not only at the rated frequency of rotor rotation of a turbine generator, but also during operation of turbine generator in the cases of sudden decrease of load, when frequency of rotor rotation is increased by 20 %. The necessary service characteristics are achieved by a cold plastic deformation of the retaining ring, the level of which reaches 50–60 %, therefore, the material of the ring possesses significant ductility in a cold state. Nowadays the service life of retaining rings at the operating electric power stations in Ukraine amounts to 75 % of a park life. Thus, the important indicator of service efficiency of retaining rings under real conditions of operation is the resistance to cracks propagation, and while defining residual life during cyclic loads in hydrogen it is necessary to consider the possibility of growth of defects up to sizes when brittle fracture begins. According to the results of investigations of high-nitrogen steels it was established that for retaining rings of steel 18Cr–18Mn the rated values of critical length of a crack should be decreased by 25–30 % to consider the effect of technological hydrogen cooling environment. To evaluate the influence of hydrogen media on the service efficiency and residual life of high-loaded parts of the power equipment the values of characteristics of crack resistance in initial and degraded state after 122, 131, 140 and 166 thousand hours of service were used. The tests of welded joints of high-nitrogen steels give grounds to recommend the restoration of retaining rings of turbine units using welding and surfacing which will allow extension of their operation life. The reliable work of high-speed and low-speed turbine units will allow preventing the irregular situations and avoiding scale consequences, disastrous for people and environment.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА. *И.А. Бойко, А.Г. Гринь, В.К. Лысак (Донецкая гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* В настоящее время существует ряд методов определения горячей твердости наплавленного металла, основанных на применении твердомера Роквелла и оборудования для нагрева и поддержания определенной температуры образца. Недостатком такого метода является некоторая погрешность измерений, поскольку вдавливание происходит не мгновенно, а на протяжении 5–10 с, поэтому возможно как удлинение самого индентора в результате нагрева его от контакта с испытуемым образцом, так и остывание образца в точке замера.

Сущность разрабатываемого способа измерения твердости заключается в определении температуры образца в момент индентирования при помощи термопары, фиксации момента индентирования получением сигнала с датчика детонации.

Установка для нагрева образца подключается к сети переменного тока. Нагрев образца осуществляется при помощи нихромовой спирали, напряжение на которую подается со вторичной обмотки трансформатора. Первичная обмотка

METHODS OF DETERMINATION OF HOT HARDNESS OF METAL. *I.A. Boyko, A.G. Grin, V.K. Lysak (Donetsk Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* At present time there are a number of methods to determine hot hardness of deposited metal, based on application of Rockwell hardness meter and equipment for heating and maintaining of the specified temperature of specimen. The disadvantage of this method is some error of measurements, as far as indentation is performed not instantly, but during 5–10 s, that is why both the elongation of the indenter itself as a result of its heating from the contact with the test specimen, as well as cooling down of specimen in the spot of measurement is possible.

The principle of the developed method of measurement of hardness consists in determination of temperature of specimen at the moment of indenting using a thermocouple, fixation of a moment of indenting by receiving a signal from the detonation sensor.

The device for heating of specimen is connected to the mains of alternating current. The heating of specimen is performed using nichrome spiral the voltage to which is supplied from the secondary winding of transformer. The primary winding

трансформатора соединена с сетью через блок фазового регулирования, состоящий из двух встречно-параллельно включенных тиристоров, управление которыми осуществляется при помощи импульсов, источником которых является формирователь напряжения управления. Угол открытия тиристоров зависит от напряжений с узла задания температуры нагрева и напряжения с термопары, увеличенным до уровня соизмерения при помощи операционного усилителя. Для фиксации момента удара индентора применяется датчик детонации. Сигналы подаются на USB-осциллограф для последующей фиксации.

Замер твердости осуществляется при помощи твердомера Шора в соответствии с ГОСТ 263–75. После достижения заданной температуры проводятся замеры твердости по методу Шора механическим твердомером, закрепленным на штативе. Результаты замеров фиксируются по показаниям твердомера, а порядковый номер замера, например, при помощи счетчика, получающего сигнал с датчика детонации.

Сигналы напряжений синхронизируются при помощи осциллографа и записываются на протяжении цикла измерений в диапазоне температур измерения. По полученным данным можно построить зависимость твердости наплавленного слоя от температуры нагрева.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ПЛАКИРОВАННОЙ СТАЛИ 09Г2С + 08Х18Н10Т. *И.А. Гальцов[1], А.В. Каленская[2], С.А. Ткаченко[3], А.Н. Ткаченко[3] ([1]Луганский нац. аграрный ун-т, Луганск, Украина; [2]Восточноукр. нац. ун-т им. Даля, Луганск, Украина; [3]ПАО «Лугансктепловоз», Луганск, Украина).* Плакированная сталь — соединение двух разнородных металлов (плакирующего и основного). Наиболее распространены конструкции из двухслойной стали 09Г2С + 08Х18Н10Т.

Сварка плакированной стали включает формирование трех слоев: сварка основного несущего ферритно-перлитного слоя 09Г2С, переходного слоя от стали 09Г2С к 08Х18Н10Т и плакирующего слоя стали 08Х18Н10Т. При сварке переходного слоя характерно аномальное возникновение напряжений вследствие различия температурных коэффициентов линейного расширения свариваемых сталей 08Х18Н10Т и 09Г2С.

Эти напряжения в большинстве случаев не могут быть сняты термообработкой и создают опасность как разрушения, так и изменения размеров конструкции во времени. Нецелесообразность термообработки соединений с аустенитным швом обусловлена развитием диффузионных процессов обезуглероживания и охрупчивания отдельных зон соединения, а для швов с аустенитно-ферритным швом — охрупчивание шва в результате перехода ферритной фазы в хрупкую σ-фазу. Формирование в сварном соединении высоких остаточных напряжений (достигающих $\sigma_т$) в совокупности с образованием хрупких диффузионных прослоек карбидомартенситной гряды создают опасность возникновения холодных трещин и отрыва плакирующего слоя.

В аустенитной стали 08Х18Н10Т возникают растягивающие напряжения, так как она имеет значительно большее уменьшение объема по сравнению с ферритно-перлитной 09Г2С, а в ферритно-перлитной — уравновешивающие их напряжения сжатия.

Целью данной работы являлось исследование и уменьшение плосконапряженного состояния при сварке переходного и плакирующего слоев металла толщиной 35 мм. Одним из способов регулирования остаточных сварочных напряжений является уменьшение тепловложения в сва-

of transformer is connected to the circuit through the unit of phase regulation composed of two thyristors switched in an opposite-parallel way, the control of which is performed using pulses the source of which is the generator of control voltage. The angle of opening of thyristors depends on voltage values from the unit of presetting the heating temperature and voltage from thermocouple, increased to the commensurable level by operation amplifier. To fix the moment of striking the indenter, the detonation sensor is applied. The signals are supplied to USB-oscillograph for next fixation.

The measurement of hardness is performed using Shore hardness meter according to the GOST 263–75. After reaching the preset temperature the measurements of hardness according to the Shore method are carried out using mechanical hardness meter mounted on the support. The results of measurements are recored according to the values of the hardness meter and ordinal number of a measurement is recorded, for example, using counter receiving the signal from the detonation sensor.

The signals of voltages are synchronized using oscillograph and recorded during the cycle of measurements within the range of changes of temperatures. According to the obtained data the dependence of hardness of the deposited layer on heating temperature can be plotted.

CONTROL OF RESIDUAL WELDING STRESSES DURING WELDING OF CLAD STEEL 09G2S + 08Kh18N10T. *I.A. Galtsov[1], A.V. Kalenskaya[2], S.A. Tkachenko[3], A.N. Tkachenko[3] ([1]Lugansk Agricultural University; [2]Volodymyr Dahl East Ukrainian National University; [3]PJSC «Lugansk teplovoz», Lugansk, Ukraine).* The clad steel is a joining of two dissimilar metals (clad and the base ones). The most widespread are the structures of two-layer steel 09G2S + 08Kh18N10T.

The welding of clad steel includes formation of three layers: welding of the base bearing ferrite-perlite layer 09G2S, transition layer from steel 09G2S to 08Kh18N10T and clad layer of steel 08Kh18N10T. During welding of transition layer the abnormal formation of stresses is peculiar as a result of differences in temperature coefficients of linear expansion of steels 08Kh18N10T and 09G2S, being welded. These stresses in most cases can not be relieved by heat treatment and create risk both for fracture as well as change of structure sizes with time. Irrationality of heat treatment of joints with austenite weld is predetermined by the development of diffusion processes of decarbonization and embrittlement of separate joining zones, and for welds with austenite-ferrite weld, i.e.embrittlement of a weld as a result of transition of ferrite phase, to the brittle σ-phase. The formation of high residual stresses (reaching σ_y) in welded joint in combination with formation of brittle diffusive interlayers of carbide-martensite zone creates risk of formation of cold cracks and detachment of cladding layer.

In the austenite steel 08Kh18N10T the tensile stresses are formed as far as it has considerably larger reduction in volume as compared to ferrite-perlite 09G2S steel, and ferrite-perlite one has compressive stresses providing balance between them.

The aim of this work was investigation and decrease of plane-stress state in welding of transition and cladding layer of metal of 35 mm thickness.

One of the methods to control the residual stresses is the decrease of heat input into the metal being welded, based on low heat input of welding, layout of narrow stringer beads or artificial heat removal. However, layout of the narrow stringer beads in welding of metal of 35 mm thickness

риваемый металл, основанный на использовании низкой погонной энергии сварки, наложении узких ниточных валиков либо применение искусственного теплоотвода. Но наложение узких ниточных валиков при сварке металла толщиной 35 мм приводит к увеличению времени сварки, а применение искусственного теплоотвода целесообразно при толщине металла до 5 мм.

Поэтому были разработаны способы ручной дуговой сварки, автоматической под слоем флюса и в среде защитного газа с вводом в сварочную ванну внутренних теплопоглотителей (макрохолодильников) и низкочастотной вибрации электрода.

Данный способ позволяет уменьшить остаточные сварочные напряжения до 10–15 %, повысить коэффициент наплавки и при этом уменьшить количество наплавляемых валиков на 30 %.

results in increase of time of welding, and artificial heat removal is rational at the thickness of metal of up to 5 mm. Therefore, the methods of manual arc welding, automatic submerged welding and welding in the shielding gas environment with adding of inner heat-absorbers (macrocoolers) of low-frequency vibration of electrode into welding pool were developed.

The given method allows decreasing the residual welding stresses down to 10–15 %, increasing the coefficient of surfacing and meantime decreasing the amount of beads, being deposited, by 30 %.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОНКИХ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ НАГРЕВЕ ПОДВИЖНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА. *О.Р. Гачкевич[1], В.И. Асташкин[1], Т.В Козакевич[1], А. Равська-Скотнични[2] ([1]Ин-т прикладных проблем механики и математики им. Я.С. Подстригача НАН Украины, Львов, Украина; [2]Политехника Опольская, Ополе, Польша).* В работе предложен вариант методики исследования и оптимизации остаточных фазового и напряженного состояний тонких малоуглеродистых низколегированных стальных пластин при локальном высокотемпературном нагреве подвижными нормально распределенными источниками тепла с различными центрами локализации и последующем монотонном охлаждении. Для рассматриваемых пластин разработано основанную на методах взвешенных невязок и конечных элементов методику численного решения составных задач поставленной исходной комплексной задачи механики с учетом структурных преобразований (определения температурного поля; расчета содержания фазовых составляющих; нахождения остаточных напряжений). Методика базируется на адаптированной к рассматриваемому классу задач известной модели описания фазового состава и обусловленных им остаточных напряжений в малоуглеродистых низколегированных стальных телах при их монотонном охлаждении (из высокотемпературного начального состояния с зоной полной аустенизации).

Для увеличения пластичности зоны термического влияния создана методика параметрической оптимизации характеристик движущихся распределенных источников тепла (с одним и несколькими центрами локализации) по критерию минимума максимального содержания мартенсита при уменьшении уровня остаточных напряжений. Проанализированы остаточные напряжения и фазовые распределения в рассматриваемых пластинах при наличии одного (основного) источника, основного источника с одним или двумя дополнительными при различных (в том числе оптимальных) центрах их локализации и параметрах мощности, а также одного источника с учетом исходного химического состава стали и определенных термических и технологических условий нагрева.

PHASE COMPOSITION AND RESIDUAL STRESSES IN THIN STEEL PLATES DURING PREHEATING USING MOVING HEAT SOURCES. *O.R. Gachkevich[1], V.I. Astashkin[1], T.V. Kozakevich[1], A. Ravska-Skotnichni[2] ([1]Ya.S. Podstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of NASU, Lvov, Ukraine; [2]Opole Polytechnics, Opole, Poland).* In the work the variant of procedure for investigation and optimization of residual phase and stressed states of thin low-carbon low-alloy steel plates at local high-temperature heating using moving normally distributed heat sources with different centers of localization and further monotonous cooling is offered. For the plates being investigated the procedure of numerical solution of composite problems of set initial integrated problem of mechanics considering structural transformations (determination of temperature field; calculation of content of phase components; detection residual stresses) was developed based on methods of weighted misalignments and finite elements. The procedure is based on the known model, adapted to the considered class of problems, of description of phase composition and residual stresses, caused by it, in low-carbon low-alloy steel bodies at their monotonous cooling (from high-temperature initial state with a zone of complete austenization).

To increase the ductility of heat-affected zone a procedure was developed for parametric optimization of characteristics of moving distributed heat sources (with one or several centers of localization) according to the criterion of minimum of maximal content of martensite at decrease of level of residual stresses. The residual stresses and phase distributions in considered plates at the presence of one (main) source, main source with one or two additional ones at different (including optimal) centers of their localization and parameters of power, and also one source considering the initial chemical composition of steel and definite thermal and technological conditions of heating.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. *Л.С. Денисов (Белорус. нац. техн. ун-т, Минск, Беларусь).* Исследования выполняли на однородных выборках сварных соединений — базовых партиях стыков (БПС). Базовые партии стыков характеризуются однородностью не только сварных соединений, но и одинаковыми условиями работ и одинаковой технической документацией. За единицу БПС

INVESTIGATION OF FORMATION OF DEFECTIVENESS OF WELDED JOINTS. *L.S. Denisov (Belarus National Technical University, Minsk, Belarus).* The investigations were performed on the similar samples of welded joints — basic batches of butts (BBB). The basic batches of butts are characterized by similarity not only of welded joints, but also of similar conditions of operations and similar technical documentation. As a unit of BBB the welded butt

принимали сварной стык или участок стыка, минимальный объем выборки определяли расчетами. На основании предельного закона больших чисел математической статистики такая выборка от БПС является репрезентативной.

Для измерения дефектности были введены количественные показатели: *Д* — количество дефектов; *L* — протяженность дефектов, а также комплексные показатели, характеризующие каждую БПС.

Учет дефектов и их накопление проводили по таблицам дефектов. Обработку дефектности по виду, характеру и размерам (*Д* и *L*) выполняли в соответствии с таблицами-накопителями по каждой БПС.

Анализ дефектности и определение причин дефектности выполняли по алгоритму фактор–причина–дефект (Ф–П–Д). По накопленной информации рассчитывали верхние границы регулирования и составляли контрольные карты по каждой БПС. Применение карт позволило резко сократить дефектность на объектах сварочных работ. Анализируя Ф–П–Д устанавливали доминирующие факторы производства, их отрицательные параметры, причины и уровень дефектности, генерируемый каждым фактором.

На основании анализа разрабатывали общепроизводственные мероприятия по предупреждению дефектов.

По результатам накопленной информации выполняли планирование по снижению дефектности и необходимой суммы инвестирования по совершенствованию того или иного фактора и прогнозирование уровня дефектности на будущие периоды.

Историю качества использовали для построения параметрических моделей и общепроизводственной системы управления качеством сварки.

was accepted or area of a butt, the minimal volume of sampling was determined by calculations. Basing on the limiting law of large numbers of mathematic statistics such sampling from BBB is the representative one.

To measure defectiveness, the quantitative values were introduced: *D* is the number of defects; *L* is the length of defects, and also complex values, characterizing each BBB. The registration of defects and their accumulation were conducted according to the tables of defects. The processing of defectiveness by its appearance, character and sizes (*D* and *L*) were carried out in accordance with the tables-accumulators for each of BBB.

The analysis of defectiveness and determination of causes for defectiveness were carried out using factor-reason-defect (FRD) algorithm. From the accumulated information the upper limits of control were calculated and control cards on each BBB were composed. The application of cards allowed sharp decreasing of defectiveness on the objects of welding works. By analyzing FRD, the dominating factors of production, their negative parameters, causes and level of defectiveness generated by each factors were established.

Basing on the analysis the general production measures on prevention of defects were worked out.

From the results of accumulated information the planning for decrease of defectiveness and necessary sum of investments on modernization of any of the factors and prediction of level of defectiveness for future periods was performed. The history of quality was used to design the parameter models and general production system of welding quality management.

ЗАЛИШКОВА МІЦНІСТЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ІЗ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ. *А. Дзюбик, В. Палаш (Нац. ун-т «Львівська політехніка», Львів, Україна).* Проблема визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів є на сьогоднішній час актуальною. В околі зварних з'єднань тут спостерігається складний двовісний напружений стан зі значними градієнтами та можливою зміною знаку діючих напружень в локальному об'ємі. Це призводить до зниження експлуатаційних характеристик трубопроводу в цілому.

Дослідження проводили на трубах діаметром 530–720 мм із товщиною стінки 12,9–19,3 мм, які виготовлені з комплекснолегованих сталей феритно-бейнітного класу підвищеної міцності Х 80 ($\sigma_{0,2} \geq 550$ МПа, $\sigma_в \geq 750$ МПа). Визначення напружень в роботі здійснювалося за допомогою методу умовних пластичних деформацій. Для досліджуваних сталей, на основі узагальнення відомих експериментальних та розрахункових даних, запропоновано функції, що описують залишкові пластичні деформації в кільцевому та осьовому напрямках. Вони дають змогу відобразити поле пластичних деформацій відповідно до особливостей фізико-механічних характеристик високоміцних сталей. Встановлено, що рівень максимальних кільцевих напружень в кільцевих зварних з'єднаннях може досягатися на деякій відстані від осі зварного шва. Оцінка залишкової міцності здійснювалася для з'єднань з поверхневими дефектами, що моделюються як зовнішні поверхневі півеліптичні тріщини. Останні знаходилися в зоні термодеформаційного впливу в місцях максимальних кільцевих напружень. Використовувався двопараметричний критерій крихков'язкого руйнування. На основі діаграми руйнування отримано аналітичні формули для роз-

RESIDUAL STRENGTH OF MAIN PIPELINES OF HIGH-STRENGTH STEELS. *A. Dzyubik, V. Palash (The National University «Lvov Polytechnics», Lvov, Ukraine).* Nowadays the problem of determination of residual strength of main pipelines is challenging. In the vicinity of welded joints the complex two-axial stressed state with significant gradients and possible change of sign of effective stresses in a local volume is observed. This results in decrease of service characteristics of pipelines in general.

The investigations were carried out on pipes of 530–720 mm diameter and wall thickness of 12.9–19.3 mm, which are manufactured of complex-alloyed steels of ferrite-bainite class of increased strength X80 ($\sigma_{0.2} \geq 550$ MPa, $\sigma_{ult} \geq 750$ MPa). The determination of stresses in the work was performed using method of conditional plastic deformations. Basing on generalization of known experimental and calculation data the functions for the investigated steels were offered describing the residual plastic deformations in circumferential and axial directions. They allow reflecting the field of plastic deformations relative to the peculiarities of physical and chemical characteristics of high-strength steels. It was established that the level of maximal circumferential stresses in circumferential welded joints can be reached at some distance from the axis of a weld.

The evaluation of residual strength was performed for joints with surface defects, which are modeled as outer surface semi-elliptic cracks. The latter were located in the zone of thermal deformational effect in the places of maximal circumferential stresses. Two-parameter criterion of brittle-tough fracture was used. Basing on the fracture diagram the analytical formulas for calculation of safety margin coefficient for the area of pipe with a crack, taking account for residual stresses, were obtained.

рахунку коефіцієнта запасу міцності ділянки труби з тріщиною з урахуванням залишкових напружень.
Проведено числові розрахунки і встановлено, що залишкові зварювальні напруження навіть на рівні, який залишається після високого відпуску, суттєво зменшують величину залишкової міцності. При цьому, в залежності від рівня коефіцієнта запасу міцності, згідно з нормативними документами, дефект відноситься до певної категорії пошкодження (незначний, помірний, значний, критичний) і встановлюється можливість подальшої експлуатації або термін ремонту пошкодженої ділянки оболонкової конструкції.

The numerical calculations were carried out and it was established that residual welding stresses considerably decrease the value of residual strength even at the level remaining after high tempering. Here, depending on the level of safety margin coefficient according to the standard documents, the defect refers to the specific category of damage (negligible, moderate, high, critical) and the possibility of further service or period of repair of damaged area of the shell structure is established.

К МЕХАНИЗМУ СТАРЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ. *В.В. Дмитрик, С.Н. Барташ (НТУ «ХПИ», Харьков, Украина).* Изучение особенностей физико-химических процессов, происходящих в металле сварных соединений паропроводов в процессе их длительной эксплуатации в условиях ползучести, целесообразно для повышения стабильности их структуры и уменьшения повреждаемости. Основными сталями, которые применяют для изготовления сварных соединений элементов паропроводного тракта ТЭС, эксплуатируемых при температуре 500–585 °С и давлении пара 10–25 МПа, являются стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф.
В процессе длительной эксплуатации в металле паропроводов имеет место переход хрома и молибдена из зерен α-фазы в карбиды, коагуляция карбидов и их концентрация по границам зерен α-фазы, полигонизация зерен α-фазы, карбидные реакции, $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow M_6C$ и образование новых карбидов II группы (VC и Mo_2C), что вызывает деградацию металла и приводит к уменьшению их ресурса. Скорость приведенных карбидных реакций зависит от уровня концентрации (сегрегации) хрома и молибдена в приграничных зернах α-фазы; работы, затраченной на образование зародыша новой фазы, которая определяется разницей поверхностных энергий контактирующих фаз и изменением свободной объемной энергии при структурном превращении. Для снижения скорости карбидных реакций следует уменьшить диффузионное перемещение атомов хрома и молибдена, что позволит снизить уровень их сегрегации в приграничных зонах α-фазы. Уменьшение содержания хрома и молибдена в узлах кристалла α-фазы способствует образованию по их телу полигониальной структуры. Эффект полигонизации проявляется, когда каждая из заторможенных дислокаций, освободившаяся от препятствия, замещается другой, которая движется от источника зарождения к препятствию. Процесс перемещения дислокаций скольжением в определенной плоскости и их накопление возле препятствий происходят непрерывно. Причем в наибольшей степени на участке неполной перекристаллизации металла ЗТВ сварных соединений. Перемещение дислокаций приводит к полигонизации зерен α-фазы. Скорость ползучести определяется не только величиной образующихся субзерен, но и их количеством.
Наличие полигониальной структуры зерен α-фазы, а также коагулирущих выделений $M_{23}C_6$, формирующихся в виде цепочек по границам зерен, приводит к снижению свойств сварных соединений паропроводов и уменьшению их ресурса.

TOWARDS THE MECHANISM OF AGEING OF WELDED JOINTS OF STEAM PIPELINES. *V.V. Dmitrik, S.N. Bartash (NTU «KhPI» Kharkov, Ukraine).* The study of physical and chemical processes occurring in the metal of welded joints in the steam pipelines during the process of their long operation under the creep conditions is rational to improve stability of their structure and decrease in their damaging. The main steels applied for producing welded joints of the elements of steam duct of the heat power station operated at the temperature of 500–585 °C and steam pressure of 10–25 MPa are the steels 12Kh1MF and 15Kh1M1F.
In the process of long operation the transition of chromium and molybdenum from the grains of α-phase into carbides, coagulation of carbides and their concentration along the grain boundaries of α-phase, polygonization of α-phase grains, carbide reactions, $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow M_6C$ and formation of new carbides of the II group (VC and Mo_2C) takes place in the metal of steam pipelines which causes degradation of metal and leads to decrease of their service life. The rate of the given carbide reaction depends on the level of concentration (segregation) of chromium and molybdenum in near-boundary grains of α-phase; the energy spent for formation of nucleus of a new phase, determined by difference of surface energies of contacting phases and change of free volume energy during structural transformation. To reduce the rate of carbide reactions it is necessary to decrease the diffusion movement of atoms of chromium and molybdenum which will allow decreasing the level of their segregation in near-boundary zones of α-phase. The decrease of chromium and molybdenum content in the nodes of crystal of α-phase promotes formation of polygonal structure along their body. The effect of polygonization is manifested when each of the delayed dislocations having released from the impediment is replaced by another one moving from the source of origination to the impediment. The process of movement of sliding dislocations in the definite plane and their accumulation near the impediments occurs continuously. Mostly it occurs at the area of incomplete recrystallization of HAZ metal of welded joints. The movement of dislocations results in polygonization of grains of α-phase. The rate of creeping is determined not only by the value of forming subgrains, but also by their number.
The presence of polygonal grain structure of α-phase, as well as coagulated evolutions $M_{23}C_6$ forming as chains along the grain boundaries results in decrease of properties of welded joints of steam pipelines and in decrease of their life.

МЕХАНИЗМ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ. *В.В. Дмитрик, Т.А. Сиренко (НТУ «ХПИ», Харьков, Украина).* В условиях длительной эксплуатации паропроводов ТЭС в их металле происходят сложные физико-химические процес-

MECHANISM OF DEGRADATION OF METAL OF WELDED JOINTS OF STEAM PIPELINES. *V.V. Dmitrik, T.A. Sirenko (NTU «KhPI» Kharkov, Ukraine).* Under the conditions of long operation of steam pipelines of the heat power station the complex physical and chemical pro-

сы, вызывающие его деградацию. В металле сварных соединений паропроводов такие процессы происходят более интенсивно, чем в их основном металле, чему способствует наличие в соединениях структурной, химической и механической неоднородности.

Основными сталями для паропроводов остаются стали 15Х1М1Ф и 12Х1МФ, обеспечивающие надежную эксплуатацию сварных соединений паропроводов примерно до 250 000 ч.

В процессе длительной эксплуатации структура металла основного, наплавленного и металла участков ЗТВ превращается в отличающиеся ферритно-карбидные смеси. При наработке паропроводов около 200–250 тыс. ч в кристаллах α- фазы имеет место самодиффузия атомов хрома и молибдена из центральных его участков на участки, примыкающие к границам кристалла. Одновременно происходит процесс переползания дислокаций. Диффузионное перемещение атомов хрома и молибдена, вызванное наличием градиентов химических потенциалов, приводит к образованию сегрегаций в приграничных участках кристаллов α-фазы. Установили, что при концентрации хрома в таких участках 4–6 % его диффузионное перемещение имеет затухающий характер.

При уменьшении количества атомов хрома и молибдена в узлах кристалла α-фазы соответственно увеличивается перемещение дислокаций путем скольжения. Образуются линии и полосы скольжения как эффект полигонизации кристаллов α-фазы, т. е. их фрагментация. Наличие сегрегаций хрома и молибдена в приграничных участках α-фазы способствуют ускоренному протеканию твердофазных карбидных реакций $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow M_6C$. Установили, что скорость приведенных реакций в приграничных участках кристаллов α-фазы примерно в 2,5–3 раза больше, чем по их телу. Карбидные выделения I гр. имеют склонность к коагуляции, в наибольшей степени коагулирует $M_{23}C_6$. На границе раздела кристаллов и коагулирующих выделений происходит разрыв межатомных связей и образование микропор ползучести. В процессе развития микропоры превращаются в макропоры и микротрещины, что вызывает межзеренное хрупкое разрушение.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ, ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ УЗЛОВ ПРИВАРКИ КОЛЛЕКТОРА К ПАРОГЕНЕРАТОРУ НА АЭС С ВВЭР-1000. *А.В. Дуб[1], В.А. Дурынин[1], А.Н. Разыграев[1], Н.П. Разыграев[1], Л.М. Лобанов[2], О.В. Махненко[2] ([1]НПО ЦНИИТМАШ, Москва, Россия; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона, Киев, Украина).* В настоящее время одной из основных проблем безопасной эксплуатации парогенераторов ПГВ-1000 является повреждение (коррозионное разрушение) в узле сварного соединения №111 коллектора к патрубку Ду1200. Начиная с 1998 г. на различных АЭС России и Украины были выявлены несплошности в зоне сварного соединения № 111.

Для обеспечения контроля металла узла соединения коллектора с патрубком Ду1200 парогенератора специалисты НПО ЦНИИТМАШ по заданию концерна Росэнергоатом разработали специальную «Методику ультразвукового контроля узла приварки коллектора к парогенератору ВВЭР-1000» МЦУ-11-98п. Со времени разработки и начала периодического использования в плановые ремонты блоков АЭС методики МЦУ-11-98п в 2000 г. на Нововоронежской, Южно-Украинской, Балаковской, Калининской и Запорожской АЭС при УЗК были выявлены двадцать одна дефектная зона в пятнадцати парогенераторах. Исследования и анализ параметров УЗК узлов на горячих

cesses occur in their metal resulting in its degradation. In the metal of welded joints of steam pipelines such processes occur more intensively than in their base metal which is facilitated by the presence of structural, chemical and mechanic heterogeneity in the joints.

The basic steels for steam pipelines remain the steels 15Kh1M1F and 12Kh1MF providing reliable service of welded joints of steam pipelines amounting approximately up to 250 000 h.

In the process of long operation the structure of base, deposited metal and metal of HAZ areas is transformed into differed ferrite-carbide mixtures. During operation of steam pipelines amounting to about 200–250 thousand hours, in the crystals of α-phase the self-diffusion of atoms of chromium and molybdenum from its central areas to the areas adjacent to boundaries of the crystal occurs. Simultaneously the process of dislocations displacement occurs. The diffusion movement of atoms of chromium and molybdenum, caused by the presence of gradients of chemical potentials, leads to formation of segregations in the near-boundary areas of α-phase crystals. It was found that at the 4–6 % concentration of chromium in these areas, its diffusion movement has attenuated nature.

At decrease of number of atoms of chromium and molybdenum in the nodes of α-phase crystal the movement of dislocations is relatively increased by sliding. The lines and bands of sliding are formed as the polygonization effect of α-phase crystals, i.e. their fragmentation. The presence of segregations of chromium and molybdenum in near-boundary areas of α-phase facilitates the accelerated proceeding of solid phase carbide reactions $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow M_6C$. It was established that the rate of given reactions in near-boundary areas of α-phase crystals is approximately 2.5–3 times higher than that along their body. Carbide precipitations of the 1st group have a tendency towards coagulation, mostly $M_{23}C_6$ coagulates. On the boundary of interface of crystals and coagulated evolutions the rupture of interatomic links and formation of creep micropores occurs. In the process of development the micropores transform into macropores and microcracks, which causes the intergranular brittle fracture.

ULTRASONIC TESTING, DAMAGEABILITY AND SERVICEABLITY OF ELEMENTS OF COLLECTOR WELDING TO STEAM GENERATOR AT NPP WITH WWER-1000. *A.V. Dub[1], V.A. Durynin[1], A.N. Razygraev[1], N.P. Razygraev[1], L.M. Lobanov[2], O.V. Makhnenko[2] ([1]SPA TsNIITMASh, Moscow, Russia; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, Kiev, Ukraine).* At present one of the main problems of safe operation of PGV-1000 steam generators is damage (corrosion attack) in the element of welded joint #111 of collector to branchpipe Du 1200. Beginning from 1998, discontinuities in the zone of welded joint #111 were found in different NPP of Russia and Ukraine.

To ensure control of metal of the welded element joining collector to steam generator branchpipe Du1200, specialists of SPA TsNIITMASh, by assignment of Rosenergoatom, developed a special «Procedure of ultrasonic testing of welded element joining collector to steam generator WWER-1000» MTsU-11-98p. From the time of development and beginning of periodical application of MTsU-11-98 procedure in scheduled repair of NPP blocks in 2000, twenty one defective zones were found at UT in fifteen steam generators in Novovoronezh, South-Ukrainian, Balakov, Kalinin and Zaporozje NPPs. Investigations and analysis of parameters of UT of elements in hot and cold steam generators, their comparison with the results of virtual, fractographic, metals science

и холодных коллекторах, сопоставление их с результатами визуальных, фрактографических, металловедческих и других исследований показали высокую эффективность ручного УЗК по методике МЦУ-11-98п при выявлении трещиноподобных дефектов в узлах приварки коллектора к парогенератору.

Результаты исследований поврежденного металла узлов приварки «горячих» коллекторов к патрубкам Ду1200 на АЭС Украины и России позволило выявить следующие основные общие признаки характера разрушения:

• идентичность мест зарождения и развития повреждений — зона радиусного перехода (R20 мм) и цилиндрической поверхностей «кармана»;

• коррозионную природу разрушения (коррозионное растрескивание под напряжением), инициирующегося на внутренней поверхности, контактирующей со средой «кармана» коллектора;

• многоочаговый характер инициирования повреждений типа коррозионных трещин, развивающихся к наружной поверхности «кармана» и в окружном направлении.

Для анализа причин возникновения и развития повреждений были выполнены расчетные оценки напряженно-деформированного состояния узла сварного соединения № 111. Нагруженность рассматриваемого узла определялась с учетом рабочих напряжений от давления рабочей среды первого и второго контура, а также остаточных напряжений, связанных с технологией изготовления или последующего ремонта. Результаты расчетных оценок показали высокий уровень растягивающих напряжений (на уровне 150–300 МПа), действующих в зоне сварного соединения № 111, что способствует развитию несплошностей по механизму «коррозия под напряжением». Для обоснования допустимости эксплуатации парогенераторов с такими повреждениями разработана расчетная методика, позволяющая в условиях нормальной эксплуатации, а также при гидравлических испытаниях, прогнозировать кинетику роста характерных размеров полуэллиптической трещины, имитирующей рассматриваемый дефект.

and other investigations showed a high efficiency of manual UT by MTsU-11-98p procedure at detection of cracklike defects in welded elements joining the collector to steam generator.

Results of investigation of damaged metal of welded elements joining «hot» collectors to branchpipes Du1200 in Ukrainian and Russian NPP revealed the following common features of fracture mode:

• identity of the sites of damage initiation and development — zone of radius transition (R20 mm) and of cylindrical surface of the «pocket»;

• corrosion nature of damage (stress corrosion cracking) initiating on the inner surface contacting the collector «pocket» medium;

• multisite nature of initiation of damage of the type of corrosion cracks developing on the «pocket» outer surface and in the circumferential direction.

In order to analyze the causes for damage initiation and development, calculation-based estimate of stress-strain state of the element of welded joint #111 was performed. Loading of the considered element was determined allowing for working stresses induced by pressure of operating medium of reactor 1st and 2nd circuits, as well as residual stresses related to the technology of manufacturing or subsequent repair. Results of calculation-based estimates demonstrated the high level of tensile stresses (on the level of 150–300 MPa), acting in the zone of welded joint #111 that promotes development of discontinuities by «stress corrosion» mechanism. A calculation-based procedure was developed for substantiation of admissibility of operation of steam generators with such damage. The procedure allows prediction of the kinetics of growth of the characteristic dimensions of a semi-elliptical crack simulating the considered defect, under normal service conditions, as well as in hydraulic testing.

ВЛИЯНИЕ ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА. *П.В. Занковец[1], В.К. Шелег[2] ([1]Ин-т сварки и защитных покрытий НАН Беларуси, Минск, Беларусь; [2]Белорус. нац. техн. ун-т, Минск, Беларусь).* В настоящее время проблема обеспечения качества сварных изделий в соответствии с их назначением и ответственностью все более сводится к предупреждению, а не обнаружению уже имеющихся дефектов. Однако для предупреждения необходимо знать причины их образования. Для решения этой проблемы нами разработаны математические модели, алгоритмы и вероятностные методы исследования причинно-следственных связей образования дефектности, включающие виды дефектов, их размерность, количество и структуру, учитывающие типоразмеры сварных соединений, способы и условия сварки, основанные на данных неразрушающих методов контроля и позволившие установить закономерности формирования сварных соединений в условиях единичного и мелкосерийного сварочного производства. В результате выполненных исследований при изготовлении сварных соединений различных типоразмеров ручной дуговой, механизированной в смесях и аргонодуговой сваркой установлены структуры дефектности, позволяющие с вероятностью соответствия 0,87–0,95 определять причины их образования. На этой основе определены доминирующие производственные факторы, по причинам которых

INFLUENCE OF DOMINATING FACTORS ON FORMATION OF WELDED JOINTS UNDER THE CONDITIONS OF SINGLE AND SMALL-SERIES WELDING MANUFACTURING. *P.V. Zankovets[1], V.K. Sheleg[2] ([1]Institute of Welding and Protective Coatings of NAS of Belarus; [2]Belarus National Technical University, Minsk, Belarus).* At present time the problem of assurance of quality of welded products corresponding to their purpose and responsibility is still reduced to prevention instead of detection of already available defects. However, to prevent them it is necessary to know the causes of their formation. To solve this problem we have developed mathematical models, algorithms and probability methods for investigation of reason-consequence relations of formation of defectiveness, including types of defects, their sizes, number and structure, considering the type and sizes of welded joints, methods and conditions of welding, based on given nondestructive testing methods which allowed establishing the regularities of formation of welded joints under the conditions of single and small-series welding manufacturing. As a results of carried out investigations during producing welded joints of different types and sizes using manual arc welding, mechanized argon arc welding and in mixtures, the structures of defectiveness were established allowing determination of causes of their formation with the conformity probability of 0.87–0.95. Basing on this the dominating industrial factors were determined on the causes of which 90–97 % of the forming defects of welded joints is generated under the conditions

генерируется 90–97 % образующейся дефектности сварных соединений в условиях единичного и мелкосерийного сварочного производства. Это подготовка и сборка под сварку, квалификация сварщика, сварочные материалы, сварочное оборудование и процесс сварки. Рассчитаны удельный вес их влияния на формирование сварных соединений различных типоразмеров с учетом способов и условий сварки. Из полученных результатов исследований следует, что дефектность каждой конкретной базовой совокупности стыков можно рассматривать как многопараметровый регулятор управления качеством, а цепочку «фактор–причина–структура дефектов» как управляющую по обратной связи.

of single and small-series welding manufacturing. They include preparation and assembly for welding, skills of welder, welding consumables, welding equipment and welding process. The degree of their influence on formation of welded joints of different types and sizes considering the methods and conditions of welding was calculated. It follows from the obtained results that defectiveness of each specific basic totality of butts can be considered as a multi-parameter regulator of quality control, and the chain «factor-cause-structure of defects» can be considered as that controlling by the feedback.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПРОСЛОЙКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ УЗЛОВ. *В.В. Квасницкий[1], И.А. Колесар[2], В.Ф. Квасницкий[2], Г.В. Ермолаев[2], А.В. Лабарткава[2] ([1]НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина; [2]Нац. ун-т кораблестроения, Николаев, Украина).* Целью настоящей работы было установить закономерности влияния жесткости и прочности промежуточной прослойки на напряженно-деформированное (НД) состояние в зоне стыка при диффузионной сварке и пайке материалов одинаковой жесткости и прочности. Знание закономерностей НД состояния позволяет управлять процессом пластического деформирования в зоне стыка и способствовать повышению качества соединения металлокерамических, металлографитовых и других подобных узлов.

Исследования НД состояния выполнялись методом компьютерного моделирования в упругой стадии (влияние жесткости) и с учетом пластических деформаций (влияние прочности) при нагружении сжатием цилиндрических узлов усилием 40 МПа после образования соединения. Исследованы 2 материала прослойки. Прослойки отнесли к «мягким», имеющим невысокую жесткость (прочность) — меньше, чем у соединяемых материалов, и к «жестким», имеющим высокую жесткость (прочность) — выше, чем у соединяемых материалов.

Сравнивались результаты подобных узлов при упругом и пластическом деформировании. На основании исследования установлено, что:

• при нагружении осевой нагрузкой мягкие прослойки догружают основной металл, т. е., проявляется эффект его разупрочнения, что должно способствовать развитию пластических деформаций в зоне стыка именно основного материала, и разгружают металл прослойки (эффект упрочнения);

• применение жестких прослоек догружает как основной металл, так и материал прослойки, т. е. наблюдается эффект разупрочнения как менее жесткого (прочного) соединяемого материала, так и более жесткого (прочного) материала прослойки.

Активация процесса образования соединения за счет пластических деформаций в самой прослойке возможна только в случае малой прочности ее материала.

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF RIGIDITY AND STRENGTH OF INTERLAYER ON STRESS-STRAIN STATE AT LOADING OF WELDED AND BRAZED COMPONENTS BY AXIAL LOAD. *V.V. Kvasnitsky[1], I.A. Kolesar[2], V.F. Kvasnitsky[2], G.V. Ermolaev[2], A.V. Labartkava[2] ([1]NTUU «Kiev Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine; [2]Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine).* The aim of this work was to establish the regularities of influence of rigidity and strength of interlayer on stress-strain (SS) state in the butt area at diffusion welding and brazing of materials of the same rigidity and strength. The knowledge in regularities of SS state allow controlling the process of plastic deformation in the butt zone and promote the increase in quality of joint of metal ceramics, metal graphite and other similar components.

The investigations of SS state were performed using method of computer modeling at elastic stage (rigidity effect) and with account for plastic deformations (strength effect) at compression loading of cylindrical components by force of 40 MPa after formation of the joint. Two materials of interlayer were investigated. The interlayers were related to «soft» ones having not high rigidity (strength), being lower than that of joining materials and to «rigid» ones, having high rigidity (strength), being higher than that of joining materials.

The results of similar components at elastic and plastic deformation were compared. Basing on the investigation it was found that:

• at loading by axial load the soft interlayers load up the base metal, i.e. the effect of its weakening is manifested which should facilitate the development of plastic deformations in the butt zone of base metal, and unload the interlayer metal (strengthening effect);

• application of rigid interlayers load up both the base metal, as well as interlayer material, i.e. the weakening effect is observed both of less rigid (strong) joining material, as well as of more rigid (strong) interlayer material.

The activation of process of joint formation due to the plastic deformations in the interlayer itself is possible only in case of a low strength of its material.

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРОКОВКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. *Я. Клейман, Ю. Кудрявцев (Технологии структурной целостности, Маркхам, Онтарио, Канада).* Ультразвуковая проковка (УП) — один из наиболее эффективных процессов для повышения срока усталости сварных элементов и конструкций. Этот процесс также известен как ультразвуковая ударная обработ-

APPLICATION OF ULTRASONIC PEENING IN INDUSTRY. *J. Kleiman, Y. Kudryavtsev (Structural Integrity Technologies Inc., Markham, Ontario, Canada).* The ultrasonic peening (UP) is one of the promising processes for fatigue life improvement of welded elements and structures. This process is also known as ultrasonic impact treatment (UIT). The beneficial effect of UIT/UP is achieved

ка (УДО). Полезный эффект УДО/УП достигается главным образом за счет снятия вредных остаточных напряжений растяжения и внедрения остаточных напряжений сжатия в поверхностные слои материала, снижая концентрацию напряжения в областях наружной поверхности шва и повышая механические свойства поверхностных слоев материала.

Технология УП основана на совместном эффекте высокочастотных ударов специальных ударников и ультразвуковых колебаний в обрабатываемом материале. Контроль усталости сварных образцов показал, что УП является наиболее эффективной обработкой по сравнению с традиционными технологиями, такими как шлифовка, ТИГ-зачистка, термообработка, молоточная проковка и применение электродов LTT.

Описаны результаты успешного применения технологии УП, включая мосты, горное оборудование, тяжелое машиностроение, автомобильная промышленность и т.д. Также продемонстрировано, что УП в настоящее время является наиболее эффективной и экономичной технологией повышения усталостной прочности сварных элементов из материалов разной прочности.

mainly by relieving of harmful tensile residual stresses and introducing of compressive residual stresses into surface layers of a material, decreasing of stress concentration in weld toe zones and enhancement of mechanical properties of the surface layers of the material.

The UP technique is based on the combined effect of high frequency impacts of special strikers and ultrasonic oscillations in treated material. Fatigue testing of welded specimens showed that UP is the most efficient improvement treatment as compared with traditional techniques such as grinding, TIG-dressing, heat treatment, hammer peening and application of LTT electrodes.

The results of successful application of UP technology in various industrial applications including bridges, mining equipment, heavy machinery, automotive industry, etc. will be described. It will be demonstrated that UP is presently the most effective and economic technique for increasing of fatigue strength of welded elements in materials of different strength.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОНКОЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ПРОКОВЫВАНИЕМ. *И.Н. Клочков, И.В. Березин, О.В. Березин (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В настоящее время при изготовлении тонколистовых алюминиевых конструкций транспортного назначения широко применяют легкие сплавы на основе алюминия. В значительной степени это стало возможно благодаря разработке новых высокопродуктивных сварочных технологий. Однако их применение при изготовлении конструкций, работающих в условиях переменного нагружения, не обеспечивает показателей сопротивления усталости, близких к основному металлу. Поэтому для повышения сопротивления усталости сварных соединений алюминиевых сплавов применяются различные послесварочные обработки. К одной из них относится высокочастотная механическая проковка (ВМП). По сравнению с общепринятой трудоёмкой операцией снятия усиления шва ВМП является более экономичной и высокопродуктивной.

Целью исследований было экспериментальное установление параметров упрочнения технологией ВМП тонколистовых сварных соединений алюминиевых сплавов АМг6, 6061-Т6 и Д16Т толщиной 2 мм, выполненных сваркой плавящимся электродом в среде инертных газов и исследование закономерностей повышения сопротивления усталости упрочнённых соединений.

Поскольку усталостные трещины в сварных соединениях зарождаются в зонах перехода шва к основному металлу, подвергать ВМП целесообразно только эти области. Основными факторами повышения долговечности при ВМП являются увеличение радиуса сопряжения шва с основным металлом, перераспределение остаточных послесварочных напряжений и деформационное упрочнение металла в зоне обработки. В результате обработки на поверхности соединения образуется характерная канавка, геометрические параметры которой зависят от применяемых сменных бойков для ВМП.

Установлено, что упрочнение технологией ВМП исследуемых стыковых соединений повышает отношения их ограниченных пределов выносливости, отвечающих базе $2 \cdot 10^6$ циклов для отнулевой асимметрии цикла напряжений к соответствующим пределам выносливости основного ме-

INCREASE OF LIFE OF WELDED JOINTS OF THIN-SHEET ALUMINIUM ALLOYS USING HIGH-FREQUENCY MECHANICAL PEENING. *I.N. Klochkov, I.V. Berezin, O.V. Berezin (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Nowadays in manufacture of thin-sheet aluminium structures of transport purpose the light alloys based on aluminium are widely applied. It became possible to a large degree due to development of new high-efficient welding technologies. However, their application during manufacture of structures operating under the conditions of alternating loading do not provide values of fatigue resistance close to the base metal. Therefore, to increase the fatigue resistance of welded joints of aluminium alloys, different postweld treatments are applied. One of them includes high-frequency mechanical peening (HMP). As compared to the generally accepted labor-consuming operation of removal of weld reinforcement the HMP is more economic and high-efficient.

The aim of investigations was the experimental establishment of parameters of strengthening by HMP technology of thin-sheet welded joints of aluminium alloys AMg6, 6061-T6 and D16T of 2 mm thickness, produced using consumable electrode welding in inert gases, and the investigation of regularities of improvement of fatigue resistance of strengthened joints.

As far as fatigue cracks in welded joints are initiated in zones of weld transition to the base metal, it is rational to subject only these areas to HMP. The main factors of improvement of long life at HMP is the increase of radius of weld matching with base metal, redistribution of residual postweld stresses and deformational strengthening of metal in the treatment zone. As a result of treatment, at the joint surface the typical groove is formed the geometric parameters of which depend on applied changeable strikers for HMP.

It was found that strengthening of investigated butt joints using HMP technology increases the relations of their restricted limits of tolerance corresponding to the base $2 \cdot 10^6$ cycles for zero asymmetry of stress cycle to corresponding fatigue limits of base metal for 6061-T6 alloy by 37 %, AMg6 alloy — by 25 % and D16T alloy — by 21 %. It was shown that with increase of coefficient of asymmetry of the stress cycle the efficiency of HMP application is decreased.

талла для сплава 6061-Т6 на 37 %, сплава АМг6 — на 25 % и сплава Д16Т на 21 %. Показано, что с увеличением коэффициента асимметрии цикла напряжений эффективность применения ВМП снижается.

ПОВЫШЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОКОВКОЙ. *В.В. Кныш, С.А. Соловей, А.З. Кузьменко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Для повышения сопротивления усталости сварных соединений ответственных металлоконструкций применяются различные послесварочные обработки. Систематические исследования, проводимые в Институте электросварки им. Е.О. Патона показали, что высокочастотная механическая проковка (ВМП), основанная на использовании мощного ультразвука, на современном этапе развития ресурсосберегающих технологий является наиболее эффективным способом упрочнения сварных конструкций, работающих в условиях переменного нагружения. Эффективность применения данного способа обработки сварных соединений на стадии изготовления конструкций достаточно хорошо изучена, результаты исследований широко представлены в литературе. Цель настоящей работы — установить влияние наработки (длительности циклического нагружения) на эффективность упрочнения тавровых сварных соединений технологией ВМП. Экспериментальные исследования проводили на образцах тавровых соединений низколегированных сталей 09Г2С и 10ХСНД при одноосном переменном растяжении с отнулевой асимметрией цикла. Все образцы испытывались до полного разрушения. На основе полученных результатов усталостных испытаний установлено, что:

• эффективность упрочнения технологией ВМП сварных соединений с накопленными усталостными повреждениями зависит от уровня и длительности воздействия приложенного нагружения;

• остаточная долговечность высоконагруженных тавровых сварных соединений после упрочнения ВМП при 70 % накопленной поврежденности не уступает долговечности соединений, упрочненных в состоянии после сварки. Уменьшение длительности наработки таких соединений с 70 до 10 % их долговечности повышает эффективность упрочнения соединений до 3,5 раза в сравнении с упрочнением в исходном состоянии.

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАРТЕНОВСКОГО ЦЕХА. *Е.В. Коломийцев (ПАО «ММК им. Ильича», Мариуполь, Украина).* Для повышения стойкости шлаковых чаш мартеновского цеха, которые эксплуатируются в жестких условиях, было предложено усиление верхнего торца чаши в виде круга диаметром 70 мм из стали 45, приваренного к верхнему торцу чаши через промежуточную пластину из хорошо свариваемой стали (Пат. Украины № 36657). После первого года эксплуатации усиленных чаш мартеновского цеха ММК им. Ильича по данному патенту был получен годовой экономический эффект в размере 90 тыс. грн., за второй год — 680 тыс. грн., за третий — 900 тыс. грн. Стойкость чаш увеличилась почти в три раза, с 8 до 22 мес.

Рамы завалочных окон мартеновских печей также достаточно быстро выходят из строя, главным образом из-за нарушения герметичности в местах приварки анкеров к передней и задней стенкам рамы. Для решения этой проблемы было предложено заменить сверление отверстий и

INCREASE OF CYCLIC LIFE OF WELDED JOINTS OF IN-SERVICE METAL STRUCTURES USING HIGH-FREQUENCY MECHANICAL PEENING. *V.V. Knysh, S.A. Solovey, A.Z. Kuzmenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* To improve the fatigue resistance of welded joints of the critical metal structures, different postweld treatments are applied. The systematic investigations, carried out at the E.O. Paton Electric Welding Institute showed that high-frequency mechanical peening (HMP) based on application of powerful ultrasound at the modern stage of development of resource saving technologies is the most efficient method of strengthening the welded structures operating under conditions of alternating loading. The efficiency of application of given method of treatment of welded joints at the stage of manufacture of structures was sufficiently well studied, the results of investigations are widely presented in literature. The aim of the present work is to establish the effect of operation time (duration of cyclic loading) on the efficiency of strengthening of T-welded joints using HMP technology. The experimental investigations were carried out on the specimens of T-joints of low-alloyed steels 09G2S and 10KhSND at uniaxial alternate tension with zero cycle asymmetry. All the specimens were tested until the complete fracture. Basing on the obtained results of fatigue tests it was found that:

• efficiency of strengthening of welded joints with accumulated fatigue damages using HMP technology depends on the level and duration of effect of applied loading;

• residual life of high-loaded T-welded joints after strengthening using HMP at 70 % accumulated damages is not inferior to life of joints, strengthened in the as-welded state. The decrease in duration of operation of these joints from 70 to 10 % of their life improves the efficiency of strengthening of joints up to 3.5 times as compared with strengthening in initial state.

IMPROVEMENT OF SERVICE LIFE OF CHANGEABLE EQUIPMENT AND WELDED STRUCTURES OF OPEN-HEARTH SHOP. *E.V. Kolomiytsev (PJSC «Ilyich Iron and Steel Works», Mariupol, Ukraine).* To improve the resistance of slag cups of open-hearth shop, which are operating under the severe conditions, the strengthening of upper edge of the cup in the form of a circle of 70 mm diameter of steel 45, welded-on to the cup upper end through the intermediate plate of a good-weldable steel was offered (Pat.of Ukraine No 36657). After the first year of operation of strengthened cups of the open-hearth shop of Ilyich Iron and Steel Works, by the given patent, the annual economic effect in the sum of 90 thousand UAH, per the second year — 680 thousand UAH, per the third year — 900 thousand UAH was achieved. The service life of cups was almost three times increased, from 8 up to 22 months.

The frames of loading windows of open-hearth furnaces come out of order also very often, mainly due to violation of tightness in the places of welding-on of anchors to the front and rear walls of the frame. To solve this problem, it was

установку анкеров из круга 36 мм на выполнение прорезей в передней стенке рамы и установку ребер, привариваемых к задней стенке и обвариваемых в прорезях. Получен патент Украины № 31797 «Рама завалочного окна нагревательного агрегата». Экономия за три года использования патента составила 450 тыс. грн. Эффект мог быть в два раза больше, если бы вода, подаваемая для охлаждения рам и других элементов мартеновских печей, проходила необходимую очистку.

Патент № 58189 «Пятовая балка печного агрегата» внедрен 12 марта 2012 г., 6 шт. балок поставлены на печь № 5. Ожидаемый годовой эффект оценивается в 250–300 тыс. грн.

offered to change the hole drilling and installing of anchors of 36 mm circle by making slots in the front wall of a frame and installing of ribs, welded-on to the rear wall and welded around in slots. The patent of Ukraine No 31797 «Frame of loading window of heating device» was received. The saving within three years of use of the patent amounted to 450 thousand UAH. The effect could be twice better if the water, supplied for cooling of frames and other elements of open-hearth furnaces, passed the necessary purification.

The Patent No 58189 «Skew-back channel of furnace unit» was implemented on March 12, 2012, 6 pieces of beams were delivered to the furnace No 5. The expected annual effect is evaluated in 250–300 thousand UAH.

УСТАЛОСТНАЯ И КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т. *Е.В. Коломийцев (ПАО «ММК им. Ильича», Мариуполь, Украина).* Нержавеющая сталь аустенитного класса марки 12Х18Н10Т широко используется при изготовлении различных сварных конструкций, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию переменных нагрузок. К ним, в частности, относятся крыльевые устройства судов на подводных крыльях.

В данной работе представлены результаты усталостных испытаний тавровых соединений стали 12Х18Н10Т на воздухе и в морской воде как в исходном состоянии после сварки, так и после упрочняющей обработки с применением шарико-стержневого упрочнителя (ШСУ).

Из листового проката толщиной 12 мм (тавровое соединение) были изготовлены образцы шириной 100 мм, имитирующие работу балки-полоски судового корпуса. Сварка выполнялась аргоно-дуговым способом с применением проволоки Св-04Х19Н11М3, а также ручным способом электродами марки ЭА-400/10У. Испытания проводили на установках резонансного типа при консольном изгибе образов по симметричному циклу. Частота нагружения составляла 35–45 Гц. Тавровые соединения, выполненные ручной сваркой, испытывали только на воздухе, а выполненные аргоно-дуговой — на воздухе и в синтетической морской воде.

Результаты испытаний показали следующее.

Предел выносливости на воздухе образцов, выполненных ручной сваркой, в результате упрочнения возрос с 90 до 140 МПа, т. е. в 1,5 раза, долговечность увеличилась в 14–20 раз.

Предел выносливости образцов, выполненных аргоно-дуговой сваркой, при испытаниях на воздухе увеличился со 120 до 150 МПа после упрочнения, т. е. в 1,25 раза, а долговечность — в 4–8 раз.

В коррозионной среде предел выносливости увеличился:

• на базе 10 млн циклов со 100 до 127 МПа — в 1,3 раза, долговечность — в 4–12 раз;

• на базе 100 млн циклов с 85 до 110 МПа — в 1,3 раза, долговечность — в 14–25 раз.

FATIGUE AND CORROSION-FATIGUE STRENGTH AND LIFE OF WELDED JOINTS OF STEEL 12Kh18N10T. *E.V. Kolomiytsev (PJSC «Ilyich Iron and Steel Works», Mariupol, Ukraine).* The stainless steel of austenite class of 12Kh18N10T grade is widely used in manufacture of different welded structures, which during service are subjected to the effect of alternate loads. In particular, hydrofoil systems of ships refer to them. In this work the results of fatigue tests of T-joints of steel 12Kh18N10T in air and sea water both in initial state after welding as well as after strengthening treatment applying ball-rod strengthener (BRS) are given.

From rolled plates of 12 mm thickness (T-joint) the specimens were cut out of 100 mm width, imitating the work of beams-plates of a ship hull. The welding was performed by argon-arc method applying the wire Sv-04Kh19N11M3 and also manual method using electrodes EA-400/10U. The tests were carried out in the installations of resonance type at console bending of specimens following the symmetric cycle. The frequency of loading was 35–45 Hz. The T-joints produced by manual welding were tested only in air, and those performed using argon-arc welding — in air and in synthetic sea water. The test results were the following.

The fatigue strength of specimens in air produced by manual welding increased as a result of strengthening from 90 to 140 MPa, i.e. by 1.5 times and fatigue life increased by 14–20 times.

The fatigue strength of specimens performed by argon-arc welding increased from 120 to 150 MPa, i.e. by 1.25 times during tests in air after strengthening, and fatigue life — by 4–8 times.

In corrosion medium the fatigue strength increased:

• on the base of 10 mln. cycles from 100 up to 127 MPa — by 1.3 times, fatigue life — by 4–12 times;

• on the base of 100 mln. cycles from 85 up to 110 MPa — by 1.3 times, fatigue life — by 14–25 times.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ. *Е.В. Коломийцев[1], А.Н. Серенко[2] ([1]ПАО «ММК им. Ильича», Мариуполь, Украина; [2]Приазов. гос. техн. ун-т, Мариуполь, Украина).* Анализ отказов в работе сварных конструкций, работающих при циклических нагрузках, показывает, что одной из причин этого является образование и развитие усталостных трещин. Считается, что усталостные трещины зарождаются, главным образом, в мес-

INCREASE OF LIFE AND FATIGUE STRENGTH OF WELDED STRUCTURES BY SURFACE PLASTIC TREATMENT. *E.V. Kolomiytsev[1], A.N. Serenko[2] ([1]PJSC «Ilyich Iron and Steel Works», Mariupol, Ukraine; [2]Preazovsky State Technical University, Mariupol, Ukraine).* The analysis of failures in operation of welded structures at cyclic loadings shows that one of the reasons is formation and development of fatigue cracks. It is considered that fatigue cracks are initiated mainly in the places of location of defects of technological and design nature. The increase of fatigue

тах расположения дефектов технологического и конструктивного характера.

Повышение долговечности сварных соединений при переменных нагрузках можно осуществлять разными методами: до сварки, путем подбора рациональных сварочных материалов, режимов сварки и др.; при сварке, путем регулирования термодеформационного цикла сварки и условий кристаллизации; после сварки, за счет улучшения поверхностных свойств металла и наведения сжимающих напряжений в нем механической, термической, ультразвуковой и другими видами обработок.

Поверхностная пластическая обработка является одним из самых распространенных методов повышения циклической прочности сварных конструкций.

Авторами разработан эффективный способ поверхностной пластической обработки шарико-стержневым упрочнителем, имеющий ряд достоинств по сравнению с другими типами упрочнителей.

Промышленное применение технологии шарико-стержневого упрочнения было выполнено на ряде сварных конструкций ПАО «ММК им. Ильича» и показало, что их долговечность достигает многократного увеличения.

life of welded joints at alternate loadings can be realized using different methods: before welding, by selecting the rational welding consumables, welding modes and other; in welding, by controlling the thermal deformational cycle of welding and conditions of crystallization; after welding, by improvement of surface properties of metal and inducing the compressive stresses in it using mechanical, thermal, ultrasonic and other types of treatment.

Surface plastic treatment is one of the most widespread methods of improvement of cyclic strength of welded structures. The authors have developed the efficient method of surface plastic treatment using a ball-rod strengthener, having a number of advantages as compared to other types of strengtheners.

The industrial application of technology of the ball-rod strengthening was made on a number of welded structures of PJSC «Iljich» and showed that their fatigue life reaches the multiple increase.

ВІБРООБРОБКА ЯК РЕЗЕРВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ. *О.В. Колот[1], С.О. Ткаченко[2], О.М. Ткаченко[2] ([1]ЗАТ «МІНЕТЕК», Краматорськ, Україна; [2]ПАТ «Луганськтепловоз», Луганськ, Україна).* Вітчизняна і закордонна практика використання в промисловості технології вібраційної технології «зняття» залишкових напружень має піввіковий досвід розвитку. На практиці застосування цієї технології стримується через недостатню інформованість, відсутність надійного і достовірного контролю. Дослідженнями, проведеними в ПАТ «Луганськтепловоз», показано, що віброобробка може бути надійним і ефективним засобом підвищення якості зварювальних конструкцій. А при застосуванні раціональних режимів з використанням комп'ютерної діагностики існує можливість зробити цей процес контрольованим і розширити можливості процесу на такі області, як підвищення міцності конструкції.

Метою досліджень було встановлення доцільності заміни термічного «зняття» після зварювальних залишкових напружень в боковинах візків локомотива 2ТЭ116 на вібродеформаційне старіння за технологією ЗАТ «МІНЕТЕК». Дослідження виконувалось в два етапи. На першому віброобробці підлягали 10 боковин. На другому проводились додаткові випробування на двох боковинах. Три боковини всієї партії підлягали термообробці. Випробування на циклічну втомленість боковин проводили на спеціальному стенді по методиці 2ТЭ116 У М-26. На стенді статичне навантаження величиною 10,48 тс здійснювалось стисканням пружин, а динамічне (циклічне) — за допомогою вібратора направленої дії, зусилля якого залежить від частоти обертання вала. По показникам тензорезісторів вибирався режим динамічного навантаження. При досягненні бази 10 циклів навантаження без руйнування (появи тріщин) навантаження підвищували на 10–15 % при незмінному статистичному навантаженні і так до появи тріщини в боковині. В боковинах з такими дефектами, як непровари, ливарні раковини в кронштейнах і т.і. тріщини з'являлись в місцях розташування дефектів. Ці боковини витримали на порядок менше циклів навантаження. Боковини без дефектів, після вібродеформаційного старіння мають при рівних умовах в порівнянні з термообробленими (нагрів до 650 °С) на 25–35 % більшу межу втоми.

VIBRO-TREATMENT AS A RESERVE OF QUALITY IMPROVEMENT OF METAL STRUCTURES. *O.V. Kolot[1], S.O. Tkachenko[2], O.M. Tkachenko[2] ([1]CJSC «MINETEK», Kramatorsk, Ukraine; [2]PJSC «Luganskteplovoz», Lugansk, Ukraine).* Domestic and foreign experience of application of vibration technology of «relieving» of residual stresses in industry has a half-century history of development. At practice the application of this technology is restricted through insufficient information, absence of reliable and adequate control. Through investigations carried out in PJSC «Luganskteplovoz» it was shown that vibrotreatment can be a reliable and efficient method of improvement of quality of welded structures. And when applying the rational modes using computer diagnostics there is a possibility to make this process controllable and widen the possibilities of the process for such fields as the improvement of structure strength.

The aim of investigation was establishment of rationality of replacement of thermal «relieving» postweld residual stresses in the side members of carriages of the locomotive 2TE116 by vibro-deformational ageing using the technology of CJSC «MINETEK». The investigation was carried out at two stages. At the first stage 10 side members were subjected to vibro-treatment. At the second stage the additional tests on two side members were carried out. Three side members of the whole batch were subjected to heat treatment. The tests on cyclic fatigue of side members were carried out on a special stand according to the procedure 2TE116 U M-26. At the stand the static loading of the value of 10.48 tf was generated by compression of springs, and dynamic (cyclic) loading — using vibrator of directed action, the forces of which depend on the frequency of shaft rotation. From the values of tensoresistors the mode of dynamic loading was selected. Reaching the base of 10 cycles of loading without fracture (cracks initiation), the loading was increased by 10–15 % at constant statistic loading and so until initiation of crack in the side member. In the side members with such defects as lacks of penetration, foundry cavities in brackets, etc. the cracks initiated in places of defects location. These side members withstood by one order less cycles of loading. Side members without defects have by 25–35 % higher fatigue strength after vibro-deformational ageing at equal conditions as compared to the heat treated ones (heating up to 650 °C).

ЦЕЛЬНОСВАРНЫЕ КОЛЕСА АГЛОМЕРАЦИОННЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ Н7500, Н6500. *Д.Ю. Кузьменко[1], В.Г. Просницкий[1], О.В. Махненко[2], Ю.В. Демченко[2] ([1]ООО «Стил Ворк», Кривой Рог, Украина; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Нагнетатели Н7500 и Н6500 являются наиболее распространенными дутьевыми машинами в черной металлургии. Они обеспечивают технологические процессы спекания агломерата, окатышей, мартеновское и конверторное производства. Применение в различных отраслях черной металлургии обусловили большой парк этих машин и высокую потребность в них. Как правило, они изготавливаются с цельноклепаным рабочим колесом из стали 30ХГСА, ремонт которого допускается не более пяти раз. Мировые тенденции в течение последних десятилетий для двух поточных тягодутьевых машин, работающих в запыленных потоках, направлены на разработку цельносварных конструкций с зубчатым центральным диском и цельными рабочими лопатками. В такой конструкции появляется возможность защиты поверхности лопатки от изнашивания сменными футеровками, что делает машину ремонтопригодной и долговечной, так как основная конструкция защищена от износа. Специалистами ООО «Стил Ворк» совместно с ИЭС им. Е.О. Патона разработана конструкция цельносварного рабочего колеса в двух вариантах с 14 и 12 рабочими лопатками. Основные отличительные элементы (размеры отнесены к внешнему диаметру машины): угол входа $\beta_1 = 39°45'$, угол выхода $\beta_2 = 50°50'$, угол наклона покрывающего диска $\gamma = 11°$, диаметр входа $D_1 = 0{,}527$; ширина лопатки на входе $b_1 = 0{,}0125$, ширина лопатки на выходе $b_2 = 0{,}083$. Для колес предусмотрена специализированная система защиты от износа лопаток, центрального и покрывного диска с использованием сменных защитных накладок из биметаллического листа. С учетом особенностей конструкции и нагружения колес выполнен расчет прочности. На этой основе осуществлен выбор конструкционных материалов из ряда высокопрочных хорошосвариваемых микролегированных термоупрочненных сталей с пределом текучести ≥560 МПа и разработана технология их сварки. По нашей оценке применение тягодутьевых машин с цельносварными колесами позволит увеличить в 2–3 раза межремонтный период и существенно повысить долговечность основной конструкции.

ОЦІНКА НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ ПОТУЖНІСТЮ 200 МВт. *Р.М. Кушнір, Б.Д. Дробенко (Ін-т прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів, Україна).* На теплових електростанціях України експлуатується понад 40 енергоблоків потужністю 200 МВт. Практично всі вони оснащені котлоагрегатами барабанного типу. Відповідно до інструкції по порядку продовження термінів експлуатації барабанів котлів високого тиску, виготовлених зі сталі 16ГНМ (16 ГНМА), призначено парковий ресурс 250 000 (300 000) год. Переважна більшість котлоагрегатів на сьогодні підійшла до цієї межі, а третя частина перевершила її. Тому надзвичайно важливо визначити їх придатність до подальшого використання понад гарантований на момент запуску термін і оцінити їх залишковий ресурс. Актуальною також є розробка відповідних рекомендацій щодо проведення ремонтних робіт в елементах енергообладнання з метою продовження їх експлуатації на прогнозований період. Сформульовані проблеми можуть бути вирішені з використанням сучасних засобів математичного моделювання на основі загальних систем рів-

ALL-WELDED WHEELS OF AGGLOMERATION BLOWERS N7500, N6500. *D.Yu. Kuzmenko[1], V.G. Prosnitsky[1], O.V. Makhnenko[2], Yu.V. Demchenko[2] ([1]«Steel Work Ltd.», Krivoy Rog, Ukraine; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The blowers N7500 and N6500 are the most widespread blowing machines in ferrous metallurgy. They provide technological processes of sintering of agglomerate, pellets, open-hearth and converter production. The application in different fields of ferrous metallurgy predetermined a big park of these machines and high need in them. As a rule they are manufactured with all-riveted working wheel of steel 30KhGSA, the repair of which is admitted for not more than five times.

The world tendencies over the last decades for two flow-line traction-blowing machines, operating in dusty flows, are directed to the development of all-welded structures with a gear central disc and integral operating blades. Such design gives possibility to protect the blade surface wear using replaceable linings, which makes the machine to be repairable and serviceable for a long time as the main structure is protected from wear. The specialists of «Steel Work Ltd.» together with the E.O. Paton Electric Welding Institute developed the design of all-welded operating wheel in two variants with 14 and 12 operating blades. The main distinctive elements (the sizes are related to outer diameter of the machine): the angle of inlet is $\beta_1 = 39°45'$, the angle of outlet is $\beta_2 = 50°50'$, the inclination angle of covering disc is $\gamma = 11°$, the inlet diameter is $D_1 = 0.527$; blade width at inlet $b_1 = 0.0125$, blade width at outlet $b_2 = 0.083$. The specialized system of protection from wear for blades, central and covering disc using replaceable protecting cover plates of bimetallic sheet is provided for the wheels. With account for peculiarities of design and loading of wheels the calculation of strength was performed. Basing on this, the selection of structural materials among the number of high-strength good-weldable micro-alloyed heat-hardened steels with yield strength of ≥560 MPa was made and technology of their welding was developed. According to our evaluation the application of traction-blowing machines with all-welded wheels will allow the 2–3 times increasing of period between repairs and significantly increasing the life of main structure.

ASSESSMENT OF STRESSED STATE AND SERVICE LIFE OF ELEMENTS OF POWER UNITS OF 200 MW. *R.M. Kushnir, B.D. Drobenko (Ya.S. Podstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of NASU, Lvov, Ukraine).* At heat electric stations of Ukraine more than 40 power units of 200 MW are under service. Almost of all of them are equipped with drum-type boiler units. In accordance with the instruction on terms of service of high-pressure boiler drums, manufactured of steel 16 GNM(16 GNMA), the park service life is 250 000 (300 000) hours. At the present time most of boiler units reached this limit and one third of them exceeded it. Therefore, it is important to define their capability for further application over the term guaranteed at the moment of putting into operation and to evaluate their residual life. Working out of appropriate recommendations for making repair works in elements of power equipment is also urgent to continue their operation for the predicted period. The formulated problems can be solved by using the advanced methods of mathematical modeling on the base of general systems of equations of thermomechanics applying existing numerical methods of their solution.

нянь термомеханіки з використанням сучасних числових методик їх розв'язування.

Подано результати досліджень напружено-деформованого стану конструктивних елементів (барабана, штуцерів, паропроводів, колекторів) котлоагрегату енергоблоку № 5 Бурштинської ТЕС потужністю 200 МВт.

Сформульовано чисельно об„рунтовані пропозиції по здійсненню ремонтних робіт, що мінімізують рівень післяремонтного підвищення напружень.

Отримано оцінку залишкового ресурсу барабана шляхом визначення його стану за рівнем накопиченої пошкоджуваності металу, розрахунок якої є базою для визначення додаткового ресурсу, можливостей та умов подальшої його експлуатації.

Отримані теоретичні результати оцінки накопиченої пошкоджуваності дають наукове об„рунтування подовження на прогнозований термін тривалості експлуатації барабана котла, який вже вичерпав свій паспортний ресурс.

Given are the results of investigations of stress-strain state of design elements (drum, pipe connections, steam pipelines, collectors) of boiler unit of power unit No.5 of 200 MW of Burshtinskaya HES.

Formulated are the numerically based proposals for realization of repair works, minimizing the level of after-repair increase in stresses.

Obtained is the evaluation of residual life of drum by determination of its state by the level of accumulated damage of metal, the calculation of which is a base for determination of extra life, capabilities and conditions of further its service.

The obtained theoretical results of evaluation of accumulated damage give the scientific grounding for continuation of predicted term of service of boiler drum, which have already exhausted its certificate service life.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ-20 С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ. *Л.М. Лобанов, В.А. Пивторак, В.В. Савицкий, Г.И. Ткачук, В.В. Лысак (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Одним из важных факторов, определяющих прочность, надежность и долговечность элементов конструкций при их изготовлении является возникновение в них остаточных напряжений.

При выборе технологического процесса изготовления конструкций отрицательное влияние остаточных напряжений стремятся минимизировать. С этой целью используют различные способы их устранения.

Для решения данной проблемы в ИЭС им. Е.О. Патона развит метод предварительного упругого растяжения тонкостенных свариваемых элементов, который применяется в различных отраслях промышленности.

Приведены результаты определения остаточных напряжений методом электронной спекл-интерферометрии в сочетании со сверлением неглубоких отверстий диаметром и глубиной 0,5–1,0 мм для их релаксации в сварных элементах, выполненных с различной величиной их предварительного упругого растяжения.

Показано, что при применении упругого растяжения свариваемых элементов до уровня $0{,}45\sigma_т$ остаточные напряжения в сварном шве уменьшаются в 2–3 раза.

Полученные результаты подтверждает эффективность использования технологии сварки с предварительным упругим деформированием свариваемых элементов.

DETERMINATION OF RESIDUAL STRESSES IN WELDED T-JOINTS OF TITANIUM ALLOY VT-20 APPLYING METHOD OF ELECTRON SPECKLE-INTERFEROMETRY. *L.M. Lobanov, V.A. Pivtorak, V.V. Savitsky, G.I. Tkachuk, V.V. Lysak (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* One of the main factors defining strength, reliability and life of structure elements during their manufacture is the occurrence of residual stresses in them.

During selection of technological process of manufacture of structures the attempts are made to minimize the negative effect of residual stresses. For this purpose the different methods of their elimination are applied.

To solve this problem the method of preliminary elastic tension of thin-wall elements to be welded was developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute, which is used in different fields of industry.

The results of determination of residual stresses using method of electron speckle-interferometry are given in combination with drilling of blind holes of 0.5–1.0 mm diameter and depth for their relaxation in welded elements produced at different values of their preliminary elastic tension.

It was shown that applying elastic tension of elements being welded up to the level of $0.45\sigma_y$ the residual stresses in a weld are 2–3 times decreased. The obtained results prove the efficiency of using welding technology with preliminary elastic deformation of elements being welded.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ СТРУКТУРЫ С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВО-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА. *Л.И. Маркашова, О.С. Кушнарева (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* На примере сварных соединений сложнолегированных алюминиевых сплавов, широко используемых в качестве легких и высокопрочных материалов в авиационной, автомобильной промышленности, в приборостроении и других отраслях машиностроения предложен подход к оптимизации и корректировке взаимосвязи структура ↔ свойства с технологией сварки алюминиевого сплава 1460 (системы Al–Cu–Li) с легированием 0,5 % скандием и без такого легирования. Использованием комплексного исследования (оптическая, аналитическая растровая и микродифракционная просвечивающая электронная микроскопия) для различных состояний сварных соединений

INVESTIGATION OF CORRELATION OF STRUCTURE WITH MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF ALUMINIUM-LITHIUM ALLOY. *L.I. Markashova, O.S. Kushnareva (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Basing on the example of welded joints of complex-alloyed aluminium alloys widely used as light high-strength materials in aircraft, automobile industry, instrument-making and other fields of machine building, the approach was suggested to optimize and correct the correlation of structure ↔ properties with the technology of welding of aluminum alloy 1460 (Al–Cu–Li system) with alloying by scandium of 0.5 % and without such alloying. The integrated investigation (optic, analytical scanning and microdiffraction transmission electron microscopy) for different states of welded joints (after welding, heat treatments) and further loading allowed not only establishing the effect of weld metal alloying, welding condi-

(после сварки, термообработок) и последующего нагружения позволило не только установить влияние легирования металла шва, режима сварки и последующих термообработок на формирование структурно-фазового состояния металла шва, но и выполнить оценки вклада формирующихся структур в изменение механических прочностных характеристик и трещиностойкость сварных соединений. Показано, что легирование металла шва скандием при использовании термообработок приводит к существенному измельчению зеренной, субзеренной структуры, диспергированию фаз и равномерному их внутризеренному распределению. Нивелируется характерная для Al–Li сплавов проблема, обусловленная формированием протяженных зернограничных эвтектик и зон, свободных от фазовых выделений. Экспериментально-аналитическими оценками установлено, что в условиях легирования скандием повышается общее значение предела текучести металла шва на 10 % после сварки и на 25–30 % после термообработки (T = 350 °С, t = 1 ч). При этом наибольший вклад в упрочнение вносят фазовые образования (40 %), а минимальный — дислокационная плотность (10 %). Кроме того, легирование скандием в условиях внешних нагружений способствует фрагментации структуры (как результат блокирования скандийсодержащими фазами деформационных полос сдвига), что способствует повышению трещиностойкости сварных соединений за счет увеличения возможностей пластической релаксации внутренних напряжений в результате подключения дислокационно-ротационных механизмов.

tions and post heat treatments on the formation of structure-phase state of weld metal, but also carrying out evaluation of contribution of forming structures to the change of mechanical strength characteristics and crack resistance of welded joints.

It was shown that alloying of weld metal by scandium using heat treatments results in considerable refining of grain, subgrain structure, dispersion of phases and their uniform distribution inside the grains. The problem, peculiar for Al–Li alloys caused by formation of elongated grain-boundary eutectics and zones free from phase precipitations, is leveled. The experimentally-analytical estimations established that under conditions of alloying by scandium the total value of yield strength of weld metal is increased by 10 % (after welding) and by 25–30 % (after heat treatment T = 350 °C, t = 1 h). The greatest contribution into hardening is made by phase formations (40 %), and minimal — by dislocation density (10 %). Besides, alloying by scandium under conditions of external loads facilitates the fragmentation of structure (as a results of blocking of deformation shear fringes by scandium-containing phases, thus promoting the improvement of crack resistance of welded joints due to increase in capabilities of plastic relaxation of inner stresses as a result of connection of rotation mechanisms to dislocation ones.

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ. *Л.И. Маркашова, В.Д. Позняков, Е.Н. Бердникова, Т.А. Алексеенко, А.А. Максименко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Представлены результаты исследований структурных изменений металла ЗТВ сварных соединений высокопрочных сталей (17Х2М, 10Г2ФБ) и соответственно механических свойств в зависимости от эксплуатационных условий: последующего нагружения — статического (σ_{-1} ~ 0,75$\sigma_в$; σ_2 ~ 0,85$\sigma_в$) и циклического (σ_{-1} = 120 МПа) при различном количестве циклов нагружения (от N = 7000 до N = = 21000).

Влияние измененения в условиях внешнего нагружения структурных параметров металла участка перегрева сварных соединений на механические свойства исследовалось с использованием комплекса экспериментальных методов (оптической, растровой и просвечивающей электронной микроскопии) с последующими аналитическими оценками прочности ($\sigma_т$), вязкости разрушения (K_{1C}), уровня локальных внутренних напряжений ($\tau_{вн}$).

Показано, что в эксплуатационных условиях в металле ЗТВ сварных соединений высокопрочных сталей происходит повышение значений предела текучести в 1,2 раза, что связано с измельчением зеренной, субзеренной структуры и повышением плотности дислокаций. Основными механизмами, повышающими предел текучести металла, являются субструктурное ($\Delta\sigma_с$ ~ до 50 %) и дислокационное ($\Delta\sigma_д$ ~ до 20 %) упрочнения за счет фрагментации структур бейнита нижнего и мартенсита отпуска, а также равномерного распределения в них плотности дислокаций.

Установлено, что потенциальными участками зарождения микротрещин в участке перегрева металла ЗТВ сварных соединений высокопрочных сталей являются границы реек бейнита верхнего, уровень плотности дислокаций вдоль которых и, соответственно, локальных внутренних напря-

WELDED JOINTS OF HIGH-STRENGTH STEELS UNDER IN-SERVICE CONDITIONS. *L.I. Markashova, V.D. Poznyakov, E.N. Berdnikova, T.A. Alekseenko, A.A. Maksimenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Presented are the results of investigations of structure changes of HAZ metal of welded joints of high-strength steels (17Kh2M, 10G2FB) and, respectively, mechanical properties depending on service conditions: subsequent loading: static (σ_1 ~ 0.75σ_{ult}; σ_2 ~ 0.85σ_{ult}) and cyclic (σ_{-1} = 120 MPa) at different number of load cycles (from N = 7000 to N = 21000).

The effect of change under the conditions of external load of structure parameters of metal of overheat area of welded joints on mechanical properties was investigated using a complex of experimental methods (optic, scanning and transmission electron microscopy) with the next analytical evaluations of strength (σ_y), fracture toughness (K_{1C}), level of local inner stresses (τ_{inn}).

It was shown that under service conditions the values of yield strength are 1.2 times increased in HAZ metal of welded joints of high-strength steels, which is due to refining of granular, subgranular structure and increase in density of dislocations. The main mechanisms increasing the yield strength of metal are substructure ($\Delta\sigma_s$ up to 50 %) and dislocation ($\Delta\sigma_d$ ~ up to 20 %) hardening due to fragmentation of structures of lower bainite and tempering martensite and also uniform distribution of density of dislocations in them.

It was established that potential areas of initiation of microcracks in the overheat area of HAZ metal of welded joints of high-strength steels are the boundaries of lathes of upper bainite, along which the level of density of dislocations and, respectively, local inner stresses (~ 0.44τ_{theor}) is 1.5–2 times higher as compared to the boundaries of structures of lower bainite.

After investigations of structures of welded joints of high-strength steels in combination with analytical evaluations

жений (~0,44 $\tau_{теор}$) в 1,5–2 раза выше по сравнению с границами структур бейнита нижнего.

В результате структурных исследований сварных соединений высокопрочных сталей в сочетании с аналитическими оценками структурного вклада в эксплуатационные свойства предложены рекомендации корректировки разрабатываемых технологических режимов сварки, способствующие формированию в металле ЗТВ сварных соединений структур преимущественно бейнита нижнего, с точки зрения обеспечения оптимальных механических характеристик сварных соединений: устойчивый показатель K_{1C} при повышении прочности $\sigma_т$; равномерный (без градиентов) уровень внутренних напряжений $\tau_{вн}$, способствующий трещиностойкости этих соединений.

of structural contribution into service properties the recommendations were suggested for correction of the developed technological welding conditions facilitating the formation of structures of mainly lower bainite in HAZ metal of welded joints to provide optimal mechanical characteristics of welded joints: stable index K_{1C} at improvement of strength σ_y; uniform (without gradients) level of inner stresses τ_{inn}, promoting the crack resistance of these joints.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО И ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ. *Л.И. Маркашова, В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, О.С. Кушнарева, А.В. Бернацкий (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В целях отработки технологии поверхностного упрочнения методами лазерного и лазерно-плазменного легирования изучены структурно-фазовые превращения в поверхностных слоях образцов из конструкционной стали 38ХН3МФА с введением порошковых присадочных материалов на основе карбида вольфрама и хрома, способствующих повышению эксплуатационных характеристик, изделий, изготовленных из этой стали. Используя комплекс экспериментальных исследований (световая, аналитическая растровая и микродифракционная просвечивающая электронная микроскопия) установлены особенности формирования структурно-фазового состояния обрабатываемых поверхностей в случае использования различных технологических условий легирования. Установлено, что при всех исследуемых режимах обработки для структуры поверхностных слоев характерно формирование четко выраженной кристаллической структуры, с уменьшением размеров и преобладанием ячеистого характера в случае лазерно-плазменной обработки. На базе экспериментальных исследований выполнены оценки дифференцированного вклада характерных структурных параметров (химического состава, размеров зерен и субзерен, объемной доли фазовых выделений, плотности дислокаций и т.п.) в изменение их механических характеристик после соответствующих обработок. Показано, что лазерно-плазменное легирование способствует увеличению общего значения прочностных характеристик (в среднем на 20 %) по сравнению с лазерным легированием, осуществляемым источником эквивалентной мощности, а наибольший вклад в упрочнение ($\Delta\sigma_т$) при оптимальном режиме (v = 500 мм/мин; P = 3 кВт) вносят фазовые выделения (27 %) и субструктура (25 %). Формирование в поверхностных слоях невысокой плотности дислокаций ($\rho \sim 8 \cdot 10^9$–$1 \cdot 10^{10}$ см$^{-2}$) при равномерном ее распределении свидетельствует об отсутствии структурных условий формирования концентраторов внутренних напряжений ($\tau_{вн}$ ~ 148–370МПа). Это характеризует структурное состояние поверхностей после лазерно-плазменной обработки как оптимальное не только с точки зрения прочности, но и трещиностойкости, что подтверждается практическим отсутствием трещин.

STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEEL SURFACE LAYERS FORMING UNDER CONDITIONS OF LASER AND LASER-PLASMA ALLOYING. *L.I. Markashova, V.D. Shelyagin, V.Yu. Khaskin, O.S. Kushnareva, A.V. Bernatsky (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* To optimize the technology of surface strengthening using methods of laser and laser-plasma alloying the structure-phase transformations in surface layers of specimens of structural steel 38KhN3MFA with adding of powder filler materials based on carbide of tungsten and chromium facilitating improvement of service characteristics of products manufactured of this steel were studied. Using the complex of experimental investigations (light, analytical scanning and microdiffraction transmission electron microscopy) the peculiarities of formation of structure-phase state of the surfaces being treated in case of using different technological conditions of alloying were established. It was established that in all investigated conditions of treatment for the structure of surface layers the formation of clearly expressed crystal structure with reduction in sizes and domination of cellular nature in case of laser-plasma treatment is characteristic. Basing on the experimental investigations, the evaluations of differentiating contribution of characteristic structure parameters (chemical composition, sizes of grains and subgrains, volumetric fraction of phase precipitations, density of dislocations, etc.) to the change in their mechanical characteristics after appropriate treatments were carried out. It was shown that laser-plasma alloying contributes to the increase of total value of strengthening characteristics (on average by 20 %) as compared to laser alloying, performed using equivalent power source. However the greatest contribution in strengthening ($\Delta\sigma_y$) at the optimal conditions (v = = 500 mm/min; P = 3 kW) belongs to phase precipitations (27 %) and substructure (25 %). The formation of not high density of dislocations ($\rho \sim 8 \cdot 10^9$–$1 \cdot 10^{10}$ cm^{-2}) in surface layers at its uniform distribution proves the absence of structure conditions for formation of inner stresses concentrators (τ_{inn} ~ ~ 148–370 MPa). This characterizes the structural state of surfaces after laser-plasma treatment as being optimal not only regarding strength, but also crack resistance which is confirmed by almost full absence of cracks.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЯЗКОГО РАЗРУШЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА ПОРООБРАЗОВАНИЯ. *В.И. Махненко, Е.А. Великоиваненко, Г.Ф. Розынка, Н.И. Пивторак (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Модели вязкого разрушения с учетом образования пор при пластическом течении в матрице микротрещин предусматривают соответствующие алгоритмы роста пор за счет пластических деформаций и соответствующего перераспределения напряженно-деформированного состояния. В сварных конструкциях из высокопрочных и достаточно пластичных материалов предельное состояние наступает в условиях вязкого деформирования при жестком напряженном состоянии, что способствует развитию порообразования.

В Институте электросварки создана расчетная модель, позволяющая исследовать поведение конструкционного материала как при деформировании, близком к разрушению, так и при разрушении. Это делает расчетные подходы прогнозирования наступления предельного состояния в сложных случаях деформирования достаточно адекватными наблюдаемому при эксперименте, что позволит снизить объем дорогостоящих экспериментов.

Проведены расчеты трехосного напряженного состояния в стальном сосуде давления с внутренним давлением P и найдено предельное давление $P_{пр}$, при котором произойдет макроскопическое спонтанное разрушение стенки в зоне утонения.

MATHEMATICAL MODELS OF TOUGH FRACTURE OF WELDED STRUCTURES BASED ON MECHANISM OF PORES FORMATION. *V.I. Makhnenko, E.A. Velikoivanenko, G.F. Rozynka, N.I. Pivtorak (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Models of tough fracture considering the pores formation at plastic yielding in matrix of microcracks envisage the proper algorithms of growth of pores due to plastic deformations and proper redistribution of stress-strain state. In welded structures of high-strength and sufficiently ductile materials the limited state starts under the conditions of tough deformation at rigid stress state which promotes the development of pores formation.

At the E.O. Paton Electric Welding Institute the calculation model was created allowing investigation of behavior of structural material both during deformation close to fracture and also during fracture. It makes calculation approaches in predicting a start of limited state in complicated cases of deformation sufficiently adequate to that observed during experiment, which will allow decreasing the volume of expensive experiments.

The calculations of three-axial stressed state in a steel pressure vessel with inner pressure P were carried out and limited pressure P_{lim} was found at which macroscopic spontaneous fracture of wall in a thinning zone will occur.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВНУТРИКОРПУСНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ ВЫГОРОДКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1000. *О.В. Махненко, И.В. Мирзов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Выгородка ядерного реактора подвержена высоким дозам радиационного облучения, приводящим ее к заметному деформированию и смыканию зазора между выгородкой и стенкой шахты. Это влечет за собой изменение теплообмена в активной зоне, последствия которого могут быть опасны с точки зрения нарушения температурного режима работы реактора. Для оценки радиационного распухания выгородки была создана двухмерная конечно-элементная модель, в которой использовались отработанные в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины расчетные алгоритмы, где в качестве радиационного распухания задавались изотропные объемные деформации.

Модель нелинейно учитывает зависимость радиационного распухания материала выгородки от температуры облучения, напряженного состояния и пластических деформаций. Также в модели описано изменение предела текучести материала стенки сварной шахты как функции температуры облучения и накопленной радиационной дозы.

После 25 лет эксплуатации реактора максимальное значение деформаций распухания в материале выгородки составляет 1,3 %, после 40 лет — 1,8 %, после 60 лет — 3,7 %. Максимальные радиальные перемещения внешней поверхности выгородки в процессе эксплуатации реактора составляют 11,2 мм после 25 лет, после 40 лет — 12,9 мм, после 60 лет — 16,1 мм.

Более консервативная модель, не учитывающая историю накопления объемных деформаций, дает величину распухания за 60 лет эксплуатации выгородки, равную 26 %, что соответствует еще большим радиальным перемещениям внешней поверхности выгородки наружу.

Результаты по распуханию и радиальным деформациям выгородки, полученные с учетом напряженного состояния, свидетельствуют о возможном контакте выгородки

INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE OF INNER-BODY DEVICES ON THE EXAMPLE OF BAFFLE PLATE OF REACTOR WWER-1000. *O.V. Makhnenko, I.V. Mirzov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The baffle plate of nuclear reactor is subjected to high doses of radiation leading to its noticeable deformation and closing of a gap between a baffle plate and shaft wall. It results in changes of heat exchange in active zone, the consequences of which can be dangerous from the point of view of violation of temperature conditions of the reactor operation. To evaluate the radiation swelling of the baffle plate the two-dimensional finite element model was designed where calculation algorithms, worked out at the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, were used, where the isotrope volume deformations were preset as radiation swelling.

The model considers the dependence of radiation swelling of material of baffle plate on temperature of radiation, stressed state and plastic deformations in a non-linear way. Also the model describes the change of yield strength of material of a welded shaft wall as a function of radiation temperature and accumulated radiation dose.

After 25 years of the reactor operation the maximal value of deformations of swelling in material of baffle plate amounts to 1.3 %, after 40 years — to 1.8 %, after 60 years — to 3.7 %. The maximum radial movements of outer surface of the baffle plate in the process of operation of reactor amount to 11.2 mm after 25 years, after 40 years — to 12.9 mm, after 60 years — to 16.1 mm.

The more conservative model, which does not consider the history of accumulation of volume deformations, gives the value of swelling per 60 years of operation of baffle plate, equal to 26 %, which corresponds to much larger radial movements of outer surface of the baffle plate outwards.

The results on swelling and radial deformations of baffle plate, obtained considering the stress state, evidence of possible contact of baffle plate with welded wall of a shaft during the reactor operation. Such contact can strongly in-

со сварной стенкой шахты в течение эксплуатации реактора. Такой контакт может сильно повлиять на напряженно-деформированное состояние сварной конструкции шахты и поэтому требует более детального изучения.

ПРОГНОЗНОЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. *С.В. Медведев, К.А. Климов (Объединенный ин-т проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь).* В условиях складывающегося дефицита методических материалов по проектированию, расчетам и технологической подготовке производства сварных конструкций в современных системах геометрического и конечно-элементного моделирования настоятельно требуется разработка программно-методических средств проектирования-моделирования-рационализации, ориентированных на разработчика несущих сварных металлоконструкций, но не специалиста по сварке.

Массовое использование суперкомпьютерных технологий такую возможность может предоставить, примирив несварщиков-разработчиков со сварщиками — устранителями неустранимых проектно-технологических ошибок и недочетов. Появляется возможность углубленного детального анализа поведения сварной конструкции под динамическими знакопеременными нагрузками в вычислительных экспериментах на ресурсах Республиканского суперкомпьютерного центра коллективного пользования и лицензионных программных системах LS-DYNA и LS-OPT, а также доступных вычислительных ресурсов Национальной грид-сети Республики Беларусь.

Разработаны и апробированы оригинальные методики формирования предварительно напряженной сварной конструкции с глобально измененной жесткостью за счет моделирования необратимых пластических деформаций в областях сварных швов при дуговых процессах сварки. Трехмерные модели сварных швов представляются как объемы всестороннего сжатия областей сплавления и зон термического влияния, либо как фиктивные тела с измененными характеристиками локальной жесткости, определяемой из достаточно простых натурных и вычислительных экспериментов.

Критерии разрушения, а также количество виртуальных испытаний могут задаваться специалистами-сварщиками в зависимости от поставленных целей суперкомпьютерных экспериментов. Последствия разрушения наблюдаются в пространстве и во времени в виде достаточно реалистичных динамических сцен. Возможно также построение графиков изменения напряжений, деформаций, перемещений и других параметров в любом трехмерном элементе сварной конструкции и/или швов.

Приводятся примеры использования прогнозного суперкомпьютерного моделирования процессов разрушения реальных сварных конструкций, намечаются перспективные направления исследований и прикладных работ в данной предметной области. Авторы готовы к взаимовыгодному сотрудничеству с заинтересованными предприятиями, организациями и специалистами по затронутой в докладе проблематике.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ РЕСУРСОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГРИД-СЕТИ. *С.В. Медведев, О.П. Чиж (Объединенный ин-т проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь).* Предпринята попытка отобразить признанные сварочной обществен-

fluence the stress-strain state of welded structure of the shaft and, therefore, requires more detailed study.

PREDICTION SUPERCOMPUTER MODELING OF PROCESSES OF FRACTURE OF CRITICAL WELDED STRUCTURES. *S.V. Medvedev, K.A. Klimov (United Institute of Problems of Informatics of NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus).* Under conditions of deficit in methodological materials for designing, calculation and technological preparation of welded structure manufacturing in advanced systems of geometric and finite element modeling, the development of program-methodological means of designing-modeling-rationalization, oriented for the designers of load-carrying welded metal structures, but not for the specialist on welding, are urgently required.

Mass application of supercomputer technologies can provide this opportunity by reconciling the non-welders — designers with welders, who remove the irremovable design-technological errors and drawbacks. There appears the feasibility of thorough detailed analysis of behavior of welded structure under the dynamic sign-variable loads in calculation experiments at the facility of the Republican Supercomputer Center of collective use and licensed program systems LS-DYNA and LS-OPT, as well as accessible computer facility of the National Grid-Network of Republic of Belarus.

Unique methods of formation of pre-stressed welded structure at entirely changed rigidity due to modeling of irreversible plastic deformations in arc processes of welding have been developed and tested. Three-dimensional models of welds are represented as volumes of all-sided compression of fusion areas and heat-affected zones, or as fictitious bodies with changed characteristics of a local rigidity, determined from sufficiently simple full-scale and calculation experiments.

Criterion of fracture, as well as number of virtual tests can be preset by specialists-welders depending on the put aims of supercomputer experiments. Consequences of fractures are observed in space and time in the form of rather realistic dynamic scenes. It is possible also to plot the graphs of change in stresses, strains, displacements and other parameters in any three-dimensional element of welded structure and/or welds.

Examples are given for application of the prediction supercomputer modeling of processes of fracture of real welded structures, the challenging directions of investigations and applied works in this mentioned field are outlined. The authors are ready for mutually-beneficial cooperation with interested enterprises, organizations and specialists on the problems mentioned in the paper.

CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL DESIGNING OF WELDED STRUCTURE WITH APPLICATION OF SUPERCOMPUTER FACILITIES OF NATIONAL GRID-NETWORK. *S.V. Medvedev, O.P. Chizh (United Institute of Problems of Informatics of NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus).* The attempt was made to reproduce the principles of professor N.O. Okerblom, recognized by

ностью принципы конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций профессора Н.О. Окерблома на структуре вычислительных средств Национальной грид-сети Республики Беларусь, располагающей обширными суперкомпьютерными ресурсами, соответствующим лицензионным программным обеспечением и обеспечивающей легитимный доступ к нему заинтересованным предприятиям и физическим лицам.

Техническая подготовка производства сварных конструкций общемашиностроительного применения — неотъемлемая часть технологий информационной поддержки жизненного цикла продукции данного предприятия, включающая основные проектные процедуры:

• формирование трехмерных моделей исследуемых сварных конструкций и сварных швов по оригинальной методике, обеспечивающей отражение изменений глобальной жесткости изделий после термомеханических циклов сварки;

• прогнозное моделирование напряженно-деформированных состояний сварной конструкции в среде лицензионного конечно-элементного пакета LS-DYNA под переменными динамическими нагрузками;

• прогнозирование общих остаточных деформаций сварных конструкций с большим количеством произвольно расположенных в пространстве сварных швов;

• автоматизированное нормирование расходов основных и вспомогательных сварочных материалов, исходные данные для работы которых формируются на базе компьютерных трехмерных моделей сварных конструкций;

• автоматизированное конструирование специальной сборочно-сварочной оснастки на базе обширных библиотек рациональных, апробированных на практике конструктивных решений;

• прогнозное моделирование напряженно-деформированных состояний сварной конструкции с учетом закреплений в сборочно-сварочной оснастке, а также результатов ее автоматизированного конструирования в специализированном программном пакете ИНСВАР.

На примере несущей сварной конструкции сельскохозяйственного агрегата показаны основные этапы конструктивно-технологического проектирования. Демонстрация работы в грид-сети во время доклада возможна при наличии скоростного доступа в Интернет.

the welding community, of constructive-technological designing of welded structures at the facility of computational means of the National Grid-Network of Republic of Belarus, having in its disposal the great supercomputer resources, suitable software and providing the legalized access to them for the interested enterprises and physical entities.

Technological preparation of production of welded structures of general machine-building purpose is an integral part of technologies of informational support of vital cycle of products of the given enterprise, including the following main project procedures:

• formation of three-dimensional models of studied welded structures and welded joints using the unique methodology, providing the reflection of changes of global rigidity of products after thermomechanical cycles of welding;

• prediction modeling of stress-strain states of welded structure in the medium of licensed finite-element package LS-DYNA under alternating dynamic loads;

• prediction of total residual strains of welded structures with a large number of welds, randomly located in space;

• automatic rating of consumptions of main and auxiliary welding consumables, whose initial data for operation are formed on the base of computer three-dimensional models of welded structures;

• automatic designing of special assembly-welding fixture on the base of large libraries of rational design solutions tested in practice;

• prediction modeling of stress-strain states of welded structures with account for fixations in assembly-welding equipment and also results of its automatic designing in a specialized program package INSVAR.

On the example of load-carrying structure of agricultural unit the main stages of constructive-technological designing are shown. The demonstration of work in grid-network during paper presentation is possible in the presence of high-speed access to INTERNET.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БЕЗ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ. *А.С. Миленин (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Работа посвящена разработке методологических основ планирования ремонтно-восстановительных работ на действующем трубопроводе с использованием соответствующих сварочных технологий. Предложенный комплексный подход объединяет требования как действующих отечественных и зарубежных нормативных документов, так и актуальные разработки специалистов Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины в данном направлении. Рассмотрены характерные технологические проблемы ремонта такого типа, к которым относятся: оценка допустимости эксплуатации участка трубопровода с обнаруженными дефектами; планирование локальных ремонтных работ на протяженных участках трубопровода с различной степенью эксплуатационной поврежденности с точки зрения минимизации риска аварийных ситуаций; выбор типа и параметров ремонта с позиций гарантирования безопасности проведения ремонтных работ; обеспечение необходимой работоспособности трубопровода, несущая способность кото-

METHODOLOGICAL BASES OF PLANNING OF REPAIR OF MAIN PIPELINES WITHOUT SERVICE INTERRUPTION. *A.S. Milenin (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The work is devoted to the development of methodological bases of planning the repair-restoration works on the operating pipeline using the appropriate welding technologies. The offered integrated approach combines requirements of both the valid national and foreign standardized documents, and also recent developments of the specialists of the E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU in this direction. Typical technological problems of repair of this type are considered, including: assessment of admissibility of service of pipeline section with revealed defects; planning of local repair works on the extended areas of pipeline at different degree of service damage to minimize the risk of emergency situation; selection of type and parameters of repair to guarantee the safety in conductance of repair works; guarantee of required serviceability of pipeline, the load-carrying ability of which was restored by suitable methods of repair without service interruption. The appropriate practical recommendations were formulated for repair welding of main pipelines under the internal pressure.

рого была восстановлена типичными методами ремонта без вывода из эксплуатации. Сформулированы соответствующие практические рекомендации по ремонту сваркой магистральных трубопроводов под внутренним давлением.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ, С ЛОКАЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ДЕФЕКТАМИ. *В.В. Мутас, М.А. Нетребский, М.Д. Рабкина (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Важнейшим элементом диагностики цилиндрических конструкций с поверхностными дефектами типа эрозионно-коррозионного износа, возникающими в процессе эксплуатации, является оценка остаточной прочности таких конструкций. К решению данной задачи еще в середине прошлого столетия приступили в США. В настоящее время существует ряд подходов к такой оценке, разработанных в разное время и разными организациями. В последние годы активные исследования в двух, совершенно независимых друг от друга направлениях проводятся в ИЭС им. Е.О. Патона. Один подход основан на применении гипотезы о том, что влияние поверхностного утонения, не превышающего по длине вдоль оси цилиндрической части конструкции величины $8\sqrt{Rt}$, равноценно влиянию на прочность сквозного кругового отверстия в стенке при равенстве площадей потерь металла в продольных сечениях данного поверхностного утонения и кругового отверстия. При этом установлено, что если степень утонения стенки не превышает $0{,}35t\sqrt{Rt}$, то утонение не снижает прочность конструкции. Здесь t и R, соответственно, толщина стенки и радиус цилиндрической части. Другой подход, предложенный в лаборатории д-ра техн. наук В.С. Гиренко, основан на принципах механики разрушения. При этом пологий поверхностный дефект представляется в виде продольной трещины, которая одновременно нагружается как растягивающими кольцевыми напряжениями, так и сжимающими напряжениями, приложенными к ее берегам.

METHOD OF ASSESSMENT OF STRESS-STRAIN STATE OF CYLINDRICAL STRUCTURES, OPERATING UNDER INTERNAL PRESSURE, WITH LOCAL SURFACE DEFECTS. *V.V. Mutas, M.A. Netrebsky, M.D. Rabkina (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The most important element of diagnostics of cylindrical structures with surface defects of an erosion-corrosion wear type, occurring during service, is the assessment of a residual strength of these structures. The solution of this problems had already be started as yet as in the middle of the last century in the USA, and at the present time there is a number of approaches to such assessment, developed at different time and by different organizations. During recently the active investigations in two, quite independent of each other directions, are carried out at the E.O. Paton Electric Welding Institute. One approach is based on application of hypothesis about the fact that effect of surface thinning, not exceeding the value $8\sqrt{Rt}$ in length along the axis of cylindrical part of structure, is equal to the effect on strength of through circular hole in wall at equality of areas of metal losses in longitudinal sections of the given surface thinning and circular hole. It was found in this case that if the degree of wall thinning does not exceed $0{,}35t\sqrt{Rt}$, then the thinning does not decrease the structure strength. Here, t and R, respectively, are the wall thickness and radius of cylindrical part. Another approach, suggested at the laboratory of Dr. V.S. Girenko, is based on the principles of fracture mechanics. Here, the surface defect is presented in the form of a longitudinal crack, which is simultaneously loaded both by tensile circumferential stresses and also compressive stresses applied to its lips.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІДЕНТИФІКУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ЗА ПАРАМЕТРАМИ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ. *З.Т. Назарчук, В.Р. Скальський (Фізико-механічний ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, Україна).* Високоміцні алюмінієві сплави завдяки комплексу фізико-механічних, корозійних та технологічних властивостей широко застосовують в сучасній авіакосмічній техніці та інших галузях промисловості. Для з'єднання елементів конструкцій, зокрема у літакобудуванні, переважно застосовують електронно-променеве зварювання. Під час експлуатації елементів конструкцій чи виробів під впливом різних чинників часто відбувається зародження у зварних з'єднаннях мікро- та макроруйнування. Досить ефективно ці процеси виявляє метод акустичної емісії (АЕ).

У праці побудовано методику ідентифікування типів руйнування за параметрами неперервного вейвлет-перетворення сигналів АЕ, а також запропоновано критеріальний показник κ, який ураховує максимальне значення вейвлет-коефіцієнта в події АЕ, ширину смуги спектра частот, що йому відповідає та ширину робочої смуги вимірювального АЕ-каналу. Тип макроруйнування конструкційних матеріалів розділено на в'язке ($\kappa < 0{,}2$) та крихке($\kappa \geq 0{,}3$) руйнування. Методика дала змогу ідентифікувати джерела випромінювання АЕ за статичного руйнування

METHODOLOGICAL BASES OF IDENTIFICATION OF MECHANISMS OF FRACTURE OF ALUMINIUM ALLOY WELDED JOINTS BY ACOUSTIC EMISSION PARAMETERS. *Z.T. Nazarchuk, V.P. Skalsky (G.V. Karpenko Physical-Mechanical Institute of NASU, Lvov, Ukraine).* High-strength aluminium alloys are widely applied in the modern aerospace engineering and other industry branches due to complex of physical-mechanical, corrosion and technological properties. To join the elements of structures, in particular in aircraft construction, the electron beam welding is mainly used. During service of elements of structures or products the micro- and macro fractures are initiated in welded joints under the influence of different factors. The method of acoustic emission (AE) detects quite effectively these processes.

The paper presents the procedure of identification of types of fractures by parameters of a continuous wavelet transformation of AE signals, and also the criterion factor κ is suggested, which takes into account the maximum value of wavelet coefficient during AE, width of band of frequency spectrum, which corresponds to it and width of service band of measuring AE-channel. Type of macrofracture of structural materials is divided into tough ($\kappa < 0.2$) and brittle fracture ($\kappa \geq 0.3$). The methodology gave opportunity to identify the AE sources by static fracture of typical zones of alloy 1201-T welded joints made by electron beam welding.

характерних зон зварних з'єднань сплаву 1201-Т, виконаних електронно-променевим зварюванням. Встановлено, що в'язке (метал шва та зона термовпливу) та крихко-в'язке (основний метал) руйнування твердого розчину міді в алюмінії генерує сигнали низьких та середніх амплітуд (A = 0,2–0,5 мВ), для яких параметр κ коливається в межах 0,15–0,3. Розтріскування крихких інтерметалідів супроводжується потужнішими сигналами (A = 0,5–4 мВ) з показником κ = 0,5–0,9.

Експериментально встановлено, що найнебезпечнішою з точки зору міцності конструкцій є межа сплавлення, де відбувається квазікрихке руйнування зварного з'єднання. Показано, що тріщина прямує в цю область, рухаючись уздовж скупчень вторинних фаз та оплавлених площин зерен зони термовпливу, оскільки там найменші затрати енергії на руйнування.

ІДЕНТИФІКУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СПЛАВУ 1201-Т ЗА ПАРАМЕТРАМИ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ. *З.Т. Назарчук, В.Р. Скальський, О.М. Станкевич, І.М. Лясота (Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна).* Високоміцні алюмінієві сплави завдяки комплексу фізико-механічних, корозійних та технологічних властивостей широко застосовуються в сучасній науці і техніці. Для з'єднання елементів конструкцій, зокрема у літакобудуванні, широко застосовують електронно-променеве зварювання (ЕПЗ). У період експлуатації таких елементів конструкцій під впливом різних чинників часто відбувається зародження у них мікро- та макроруйнування. Досить ефективно поширення тріщин виявляє метод акустичної емісії (АЕ).

Побудовано методику ідентифікування типів руйнування за параметрами неперервного вейвлет-перетворення сигналів АЕ (САЕ). Для кількісної оцінки руйнування конструкційних матеріалів запропоновано критеріальний показник κ, в якому враховують максимальне значення вейвлет-коефіцієнта $WT_{\max}$ в події АЕ, Δf — ширину смуги спектра частот, що відповідає $WT_{\max}$ у координатах WT–f, та Δf_0 — ширину робочої смуги АЕ-тракту. У залежності від експериментально встановленого значення критеріального параметра тип макроруйнування конструкційних матеріалів розділено на в'язке ($\kappa < 0{,}2$) та крихке ($\kappa \geq 0{,}3$) руйнування.

Побудована методика дала змогу ідентифікувати джерела випромінювання АЕ за статичного руйнування характерних зон зварних з'єднань (ЗЗ) сплаву 1201-Т, виконаних ЕПЗ. Встановлено, що в'язке (метал шва та зона термовпливу (ЗТВ)) та крихко-в'язке (основний метал) руйнування твердого розчину міді в алюмінії генерує сигнали низьких та середніх амплітуд (A = 0,2–0,5 мВ), для яких параметр κ коливається в межах 0,15–0,3. Розтріскування крихких інтерметалідів супроводжується потужними САЕ (A = 0,5–4 мВ) з показником κ = 0,5–0,9.

З експериментальних випробувань встановлено, що найнебезпечнішою з точки зору міцності конструкцій є межа сплавлення, де є різка зміна розмірів структурних складових та скупчення крупних інтерметалідів. Руйнування тут є квазікрихким, і як результат, за статичного навантаження ЗЗ тріщина прямує в цю область, рухаючись уздовж скупчень вторинних фаз та оплавлених площин зерен ЗТВ, зменшуючи цим затрати енергії на руйнування.

It was found that tough (weld metal and HAZ) and brittle-tough (base metal) fractures of copper solid solution in aluminium generate signals of low and mean amplitudes (A = = 0.2–0.5 mV), for which the parameter κ is varied within 0.15–0.3 ranges. Cracking of brittle intermetallics is accompanied by more powerful signals (A = 0.5–4.0 mV) with factor κ = 0.5–0.9.

It was found experimentally that the most hazardous from the point of view of structure strength is the fusion zone where the quasi-brittle fracture of the welded joint takes place. It was shown that the crack is propagated to this region by moving along the clusters of secondary phases and fused areas of grains of HAZ zone where the energy consumptions for fracture are lowest.

IDENTIFICATION OF MECHANISMS OF FRACTURES OF WELDED JOINTS OF ALLOY 1201-T BY PARAMETERS OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS. *Z.T. Nazarchuk, V.P. Skalsky, O.M. Stankevich, I.M. Lyasota (G.V. Karpenko Physical-Mechanical Institute of NASU, Lvov, Ukraine).* High-strength aluminium alloys are widely applied in the modern science and technology due to complex of physical-mechanical, corrosion and technological properties. To join the elements of structures, in particular in aircraft construction, the electron beam welding (EBW) is widely used. During service of these elements of structures the micro and macro fractures are initiated under the influence of different factors. The acoustic emission (AE) method detects effectively the crack propagation.

The procedure of identification of types of fracture was developed by parameters of continuous wavelet transformation of AE signals (CAE). For quantitative assessment of fracture of structural materials the criterion factor κ was suggested, which takes into account the maximum value of wavelet coefficient $WT_{\max}$ during AE, Δf — the width of band of frequency spectrum, which corresponds to $WT_{\max}$ in coordinates WT–f, and Δf — the width of service band of AE-channel. Depending on the experimentally found value of criterion parameter, the type of macro fracture of structural materials is divided into tough ($\kappa < 0.2$) and brittle fracture ($\kappa \geq 0.3$).

The developed procedure gave an opportunity to identify the AE sources by static fracture of typical zones of alloy 1201-T welded joints (WJ), made by EBW. It was found that tough (weld metal and HAZ) and brittle-tough (base metal) fractures of copper solid solution in aluminium generates signals of low and mean amplitudes (A = 0.2–0.5 mV), for which the parameter κ is varied within 0.15–0.3 ranges. Cracking of brittle intermetallics is accompanied by powerful CAE (A = 0.5–4 mV) with factor κ = 0.5–0.9.

It was found from experimental tests that the fusion zone, from the point of view of structure strength, is most hazardous, where there is an abrupt change of sizes of structural constituents and clustering of large intermetallics. Fracture is quasi-brittle here, and, as a result, the crack under WJ static load is propagated directly into this zone, moving along the clusters of secondary phases and fused areas of HAZ grains, thus decreasing the energy consumption for fracture.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ МАГНИТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕТАЛЛА. *В.А. Нехотящий, А.Л. Палиенко, А.А. Перепичай, М.Д. Рабкина (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Исследованиями последних десятилетий установлено, что магнитные методы, в отличие от других методов неразрушающего контроля (ультразвукового, радиографического, капиллярного и пр.) менее трудоемки и более доступны в обращении для диагностики и обеспечения безопасной эксплуатации конструкций, работающих под давлением. Среди разновидностей магнитного контроля существенные преимущества, благодаря своей оперативности, имеет метод измерения коэрцитивной силы. Он позволяет по измеренным значениям дать оценку напряженно-деформированного состояния в сварных конструкциях, по которой можно спрогнозировать их остаточный ресурс. Кроме того, этот метод дает возможность установить без нагрузки участок, подлежащий разрушению в процессе эксплуатации, задолго до достижения предельного состояния.

На примере кислородных баллонов получена физико-математическая модель, которая позволяет рассчитать прочность сосудов с учетом магнитной неоднородности. В результате проведенных расчетов методом конечных элементов были установлены критические значения давления предразрушения в исследуемых баллонах с погрешностью в 9–10 %, которая возникает из-за неполной картины по измерению толщины стенки, использования данных механических испытаний для одноосного напряженного состояния, а также неравномерности структуры металла. Изучены металлографические и кристаллографические особенности, подтверждающие зависимость коэрцитивной силы от структурно-текстурных параметров стали.

Для практического использования указанного метода предлагается контроль участков, представляющих опасность для эксплуатации конструкций. Эти участки могут быть предварительно выявлены на основе измерения толщины стенки с помощью ЭМА-метода. Для этой цели был разработан стенд, который дает возможность установить поврежденность стенки сосудов и измерить коэрцитивную силу в опасных участках, что позволяет повысить безопасность их эксплуатации.

PREDICTION OF SAFE SERVICE OF PRESSURE VESSELS WITH ACCOUNT FOR MAGNETIC INHOMOGENEITY OF METAL. *V.A. Nekhotyashchiy, A.L. Palienko, A.A. Perepichaj, M.D. Rabkina (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* It was found by the recent investigations that magnetic methods, unlike the other methods of nondestructive testing (ultrasonic, radiographic, capillary, etc.) are less labor consuming and simpler in use for diagnostics and guarantee the safe service of structures, operating under pressure. Among the varieties of magnetic control the method of measurement of coercive force possesses significant advantages due to its quick-response. After measurements it allows making assessment of stress-strain state in welded structures and to predict their residual life. In addition, this method gives an opportunity to detect the area, subjected to fracture in service, without applying loading before reaching the limiting state.

On the example of oxygen cylinders a physical-mathematical model was obtained, which makes it possible to calculate the strength of vessels with account for magnetic inhomogeneity. As a result of carried out calculations by the finite-element method the critical values of pre-fracture pressure were found in test cylinders at 9–10 % error, which occurs due to incomplete information on measurement of wall thickness, use of data of mechanical tests for uniaxial stressed state, as well as non-uniformity of metal structure. Metallographic and crystallographic peculiarities were studied, confirming the dependence of coercive force on structure-texture parameters of steel.

For practical application of the mentioned method, the testing of regions, representing hazard for service of structures is offered. These regions can be preliminary revealed on the basis of measurement of wall thickness using EMA method. For this purpose, a stand was designed which gives an opportunity to determine the degree of damage of walls of vessels and to measure the coercive force in hazardous areas, that will allow increasing the safety of their service.

ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНО-ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ. *Г.М. Никифорчин, О.Т. Цирульник, О.І. Звірко, М.І. Греділь, В.А. Волошин (Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна).* Тривала експлуатація магістральних газопроводів спричиняє їх пошкодження, в основному корозійної та корозійно-механічної природи. Згідно статичних даних 70–80 % усіх відмов магістральних трубопроводів пов'язані зі зварними з'єднаннями (ЗЗ), а для прогнозування подальшого терміну їх служби необхідно враховувати зміну під час експлуатації механічних та електрохімічних властивостей металу труби. Робота присвячена дослідженню впливу тривалої експлуатації на механічні та електрохімічні характеристики різних зон ЗЗ сталі магістрального газопроводу.

Випробовували стиковий зварний шов сталі 17Г1С, вирізаний з труби (зовнішній діаметр 1220 мм, товщина стінки 12 мм) після її експлуатації впродовж 30 років, а також шов, виготовлений на трубі запасу за технологією зварювання труб у монтажних умовах. Стан металу оцінювали за характеристиками міцності та пластичності (в центрі зразка на розтяг знаходилася досліджувана зона ЗЗ з

PECULIARITIES OF CORROSION-HYDROGEN DEGRADATION OF PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF MAIN GAS PIPELINES. *G.M. Nikiforchin, O.T. Tsirulnik, O.I. Zvirko, M.I. Gredil, V.A. Voloshin (G.V. Karpenko Physical-Mechanical Institute of NASU, Lvov, Ukraine).* Long-term service of main gas pipelines causes their damage, mainly of corrosion and corrosion-mechanical nature. According to statistic data, 70–80 % of all known failures of main pipelines are connected with welded joints (WJ), and for prediction of further term of their service it is necessary to take into account the change of mechanical and electrochemical properties of pipe metal during service. The paper is devoted to investigation of effect of long-time service on mechanical and electrochemical characteristics of different zones of WJ of steel of main gas pipeline.

Butt weld of steel 17G1S, cut out of pipe (OD — 1220 mm, wall thickness — 12 mm) after its service for 30 years, and also weld, made on spare pipe, were tested using technology of pipes welding under the site conditions. Metal state was tested for characteristics of strength and ductility (in the center of tensile specimen there was the test zone of WJ with circular stress raiser of 1 mm diameter) and impact strength by Charpy method. Electrochemical characteristics of metal

круглим концентратором діаметром 1 мм) та ударної в'язкості за методом Шарпі. Електрохімічні характеристики металу (потенціал без струму E_0 та поляризаційний опір R_p) визначали з поляризаційних кривих, знятих у розчині H_2SO_4 (pH 1).

Виявлено, що тривала експлуатація труб незначно впливає на характеристики міцності металу ЗЗ, але спричиняє істотну деградацію характеристик пластичності та ударної в'язкості. Встановлено різну корозійну тривкість різних зон ЗЗ металу у вихідному стані, а тривала експлуатація практично однаково погіршує опірність корозії всіх зон ЗЗ. Загалом потенціали без струму різних зон ЗЗ у вихідному стані відрізняються між собою не більше, ніж на 35 мВ. Враховували, що корозійну тривкість певних зон ЗЗ визначає не тільки їх поляризаційний опір, але і взаємну поляризацію, яка може спричиняти і вибіркову корозію, і наводнювання металу. Під цим кутом зору виявлено, що різні зони ЗЗ по різному поляризуються до і після експлуатації, анодні та катодні ділянки можуть мінятися місцями, а це відбиватиметься на кінетиці локальної корозії та прояві водневого окрихчення.

СТАРЕНИЕ СВАРНЫХ ОТВЕТСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОИСК МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА УДАРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ. *Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский (Белорус. нац. техн. ун-т, Минск, Беларусь).* Эффективные решения вопросов надежной эксплуатации различных ответственных металлических конструкций, по нашему мнению, весьма востребованы в химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и строительной отраслях. К указанным конструкциям, в первую очередь, относятся сосуды и аппараты, работающие под давлением; магистральные и технологические трубопроводы; мосты; грузоподъемные краны и другие объекты. Аварийное разрушение ряда указанных конструкций приводит ежегодно к многомиллиардным финансовым потерям и человеческим жертвам. Вероятность аварийного разрушения практически любой металлоконструкции повышается с увеличением срока ее эксплуатации, что связано с физическими процессами старения металла. Характерной особенностью проявления старения большинства конструкционных углеродистых и низколегированных сталей является снижение сопротивления металла ударному воздействию (ударной вязкости). Так, например, для большинства трубных сталей (марганцево-кремниевых) после 30 лет эксплуатации ударная вязкость может снижаться в 3–6 раз и быть меньше допустимых значений.

Предлагается неразрушающий метод определения ударной вязкости стальных конструкций, в том числе полученных сваркой, основанный на эмпирических зависимостях по взаимосвязи параметров отпечатка пирамидального индентора при определении твердости по Виккерсу с относительным сужением материала и его ударной вязкостью. Экспериментально подтверждена работоспособность предлагаемого метода путем сравнения значений ударной вязкости сталей Ст3, 20, 09Г2С, 17ГС, 15Х5М и 12Х18Н10Т, оцененной по стандартному и предлагаемому методам. Установлена хорошая корреляция полученных значений (по предлагаемому неразрушающему методу определения ударной вязкости) со значениями, полученными по стандартному методу (на специальных образцах, вырезанных из диагностированной конструкции). При этом использование переносных твердомеров позволяет определять ударную вязкость практически в любой доступной точке диагностируемой конструкции без вырезки из нее образцов.

(potential without current E_0 and polarization resistance R_p) were determined from polarization curves taken in solution H_2SO_4 (pH 1).

It was revealed that long-term service of pipes slightly influences the characteristics of strength of WJ metal, but causes the significant degradation of characteristics of ductility and impact toughness. Different corrosion susceptibility of different zones of WJ metal in initial state was determined, and long-tern service deteriorates almost similarly the corrosion resistance of all the zones of WJ. In general, the potentials without current of different zones of WJ in initial state are differed between themselves for not more than by 35 mV. It was taken into account that corrosion susceptibility of definite zones of WJ defines not only their polarization resistance, but also mutual polarization, which can cause a selective corrosion and hydrogen-inducing of metal. Thus, it was revealed that different zones of WJ are polarized in different way before and after service, anode and cathode regions can change their places, and this influences the kinetics of local corrosion and appearance of hydrogen embrittlement.

AGEING OF WELDED CRITICAL STRUCTURES AND SEARCH FOR METHOD OF NONDESTRUCTIVE ASSESSMENT OF METAL RESISTANCE TO IMPACT ACTION. *F.I. Panteleenko, A.S. Snarsky (Belarus National Technical University, Minsk, Belarus).* Effective solutions of problems of safe service of different critical metal structures are urgently required, in our opinion, in chemical, petroleum refining, metallurgical and construction industries. The mentioned structures include, first of all, the vessels and units, operating under pressure; main and technological pipelines; bridges; hoisting cranes and other objects. The emergency fracture of some mentioned structures leads annually to many-billion financial losses and human victims. The probability of emergency fracture of any metal structure in principle is increased with increase in its term of service that is due to physical processes of metal ageing. The peculiar feature of manifestation of ageing of majority of structural carbon and low-alloy steels is the reduction in metal resistance to impact action (impact strength). Thus, for example, the impact strength can 3–6 times decrease and be lower than admissible values for most of pipe steels (manganese-silicon) after 30 years of service.

Nondestructive method is offered for determination of impact strength of steel structures, including those made by welding. This method is based on empiric relations as to interaction of parameters of dents of pyramidal indenter in determination of Vicker's hardness with reduction in area of material and its impact strength. The performance of the offered method was experimentally confirmed by comparison of values of impact strength of steels St3, 20, 09G2S,17GS, 15Kh5M and 12Kh18N10T, evaluated by standard and offered methods. A good correlation of obtained values (by offered nondestructive method of determination of impact strength) with values, obtained by standard method (on special specimens cut out from diagnosed structure) was established. Moreover, the application of portable hardness meters allows determination of impact strength almost in any accessible point of structure being diagnosed without cut out of specimens from it.

ПРИМЕНЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ SWIP ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. *А.И. Панфилов (ООО «Стил Ворк», Кривой Рог, Украина).* Одним из основных направлений работы компании ООО «Стил Ворк» является производство износостойких биметаллических листов на производственной базе в г. Кривой Рог под торговой маркой SWIP — Steel Work Innovation Plate (Инновационные плиты Стил Ворк).

Биметаллические листы SWIP — это металлический материал, состоящий из двух слоев — основного и наплавленного — имеющих различные функции. Основной слой служит для восприятия механических нагрузок, наплавленный слой имеет более высокую, чем у основного слоя, износостойкость. Особенная структура наплавленного слоя позволяет изготавливать из биметаллических листов различные конструкции с применением, в том числе, вальцовки, гибки и сварки.

Применение биметаллических листов SWIP дает следующие преимущества:

• высокую износостойкость защищаемой поверхности;

• продление ресурса оборудования в сравнении с классической футеровкой в 4–6 раз;

• сокращение издержек на ремонт в 3–5 раз;

• простоту монтажа футеровки, минимальные трудозатраты на монтаж;

• уменьшение веса конструкции до 30 %.

Увеличение срока службы изнашиваемых деталей обеспечивает: отсутствие длительных простоев производства, отпадает потребность в приобретении нового дорогостоящего оборудования, сокращение затрат на обслуживание и ремонты, сокращение затрат на специальные ремонтные бригады, а самое главное увеличение ресурса основного дорогостоящего оборудования путем уменьшения количества его ремонтов.

Применение биметаллических листов SWIP в подъемных сосудах рудных и угольных шахт позволяет увеличить их производительность за счет снижения веса и объема футеровки, значительно снизить расходы электроэнергии в расчете на 1 т добытого сырья. Также данная технология позволяет отрабатывать шахты на более глубокие отметки без применения конструкции и мощности подъемных механизмов. Изготовленные из биметалла футеровочные элементы дают возможность значительно ускорить выполнение ремонтных работ и повысить их качество и безопасность. Антиадгезионные свойства наплавленного слоя биметалла эффективно решают задачу налипания влажной породы на перегрузочных узлах различного оборудования.

Применение изделий и футеровки из биметаллических листов в горнодобывающей и металлургической промышленности дает возможность снизить затраты на энергоресурсы, повысить производительность технологического оборудования, снизить себестоимость выпускаемой продукции. Применение биметалла в вакуум-камерах и аспирационных системах агломерационных машин позволяет снизить потребление природного газа и соответственно снизить выбросы вредных веществ, улучшить экологическую ситуацию в промышленных регионах.

Компанией разработаны технологии защиты от износа для широкого спектра оборудования: ковши экскаваторов, брони шахтных скипов и дозаторов, улиты и лопатки технологических вентиляторов, бункеры, перегрузочные устройства, узлы и детали шаровых мельниц, вакуум-камеры и газоходы обжиговых машин, решетчатые фильтры, сепараторы, трубопроводы, а также много другого оборудования, работающего в условиях износа различных типов.

APPLICATION OF BIMETAL SHEETS SWIP FOR PROTECTION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT. *A.I. Panfilov («Steel Work Ltd.», Krivoy Rog, Ukraine).* One of the main directions of activity of «Steel Work Ltd» company is production of wear-resistant bimetallic sheets at the production facility in Krivoy Rog under the trade name SWIP — Steel Work Innovation Plate.

SWIP bimetal plates is the metallic material composed of two layers — basic and deposited one having different functions. The basic layer serves to withstand the mechanical loads and deposited one has higher wear resistance than basic one. The specific structure of deposited layer allows manufacturing of different structures from bimetal sheets applying also rolling, bending and welding.

Application of SWIP bimetallic sheets gives the following advantages:

• high wear resistance of protective surface;

• prolongation of life of equipment as compared to the classic lining by 4–6 times;

• reduction of expenses for repair by 3–5 times;

• simplicity in mounting lining, minimal labor consumption for mounting;

• reduction of weight of structure down to 30 %.

The increase of service life of worn-out parts is provided by: absence of long idle periods of production, absence in need of purchase of new expensive equipment, reduction of expenses for maintenance and repairs, reduction of expenses for special repair teams, and the most important increase of life of main expensive equipment is provided by decrease of number of its repairs.

The application of SWIP bimetal sheets in lifting vessels of ore and coal mines allows increasing their efficiency due to decrease in weight and volume of lining, considerably decreasing the consumption of electricity counting per 1t of extracted raw material. Also this technology allows working in mines for deeper levels without changing its design and load-capacity of hoisting mechanisms. The lining elements manufactured of bimetal give possibility to accelerate considerably the performance of repair works and increase their quality and safety. Anti-adhesive properties of deposited layer of bimetal effectively solve the problem of sticking of a wet mineral to re-loading units of different equipment.

The application of products and lining of bimetal sheets in mining and metallurgical industry gives possibility to reduce expenses for power consumption, to increase the efficiency of technological equipment, to decrease the cost of output products. The application of bimetal in vacuum chambers and aspiration systems of agglomeration machines allows reducing the consumption of natural gas and correspondingly decreasing the exhausts of hazardous substances, improving environmental situation in industrial regions.

The company has developed technologies for wear protection of a wide range of equipment like: buckets of excavators, armors of mine skips and measuring pockets, elbows and blades of technological fans, hoppers, re-load devices, units and parts of ball mills, vacuum-chambers and gas ducts of annealing machines, sieves, separators, pipelines and also many other equipment operating under different types of wear conditions. The method of production of sheets and design of equipment for surfacing is patented in Ukraine.

Nowadays the products of the company «Steel Work Ltd» are used by such leading enterprises as: «Severny GOK», «Arselor Mittal Krivoy Rog», «Poltavsky GOK», «Evraz sukhaya balka», «Shakhtoupravlenie «Pokrovskoe», «Severstal» and also other enterprises of Ukraine and Russia.

The obtained high technical and economical results of application of bimetallic SWIP lining on technological equip-

Способ изготовления листов и конструкция установки для наплавки запатентованы в Украине и РФ.

На сегодня продукцией компании ООО «Стил Ворк» пользуются такие ведущие предприятия как: ПАО «Северный ГОК», ПАО «Арселор Миттал Кривой Рог», ПАО «Полтавский ГОК», ПАО «Евраз сухая балка», ПАО «Шахтоуправление «Покровское», ОАО «Северсталь», а также другие предприятия Украины и России.

Полученные высокие технико-экономические показатели применения биметаллической футеровки SWIP на технологическом оборудовании позволяют рекомендовать эту технологию как перспективную при ремонте различных объектов металлургической, горнодобывающей и угольной промышленности.

ment allow recommending this technology as perspective during repair of different objects of metallurgical, mining-extracting and coal industry.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВТОМНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ТРІЩИН В ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ. *М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.М. Підгурський (Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, Тернопіль, Україна).* У зварних з'єднаннях тріщини втоми з'являються зазвичай або в зоні переходу від основного до наплавленого металу або на поверхні наплавленого металу біля дефектів зварного шва. В обох випадках утворюються втомні поверхневі тріщини, характер розвитку яких визначає у подальшому ресурс (живучість) зварних конструкцій на стадії їх поширення. У зв'язку з цим розглянуті процеси зародження та розповсюдження втомних поверхневих тріщин при циклічному навантаженні великогабаритних зразків, що моделюють елементи зварних конструкцій. Проведено випробовування зразків з конструктивних сталей товщиною 4–36 мм та з'єднаннями, що виконані ручним та механізованим електродуговим зварюванням. Досліджувалось зародження та поширення втомних поверхневих тріщин в зоні переходу від основного металу до наплавленого, а також моделювався розвиток тріщин від штучно ініційованих надрізів. Визначені коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН), що описують напружено-деформований стан по контуру поверхневих тріщин з урахуванням конструктивної концентрації напружень та залишкових зварних напружень і їх градієнтів. Відзначено, що для всіх досліджуваних випадків росту поверхневих тріщин, у тому числі при їх об'єднанні в одну магістральну, поверхневі тріщини намагаються набути енергетично стабільної форми, при якій КІН по контуру тріщини стають практично однаковими. При цьому, не зважаючи на різке падіння коефіцієнта концентрації напружень, зі збільшенням відносної глибини a/t від 0 до 0,2 (a — глибина поверхневої тріщини, t — товщина зразка), співвідношення півосей невеликих поверхневих тріщин є практично незмінним і рівним a/c = 0,68–0,72. Приблизно таке ж співвідношення півосей при енергетично стабільному контурі мають поверхневі тріщини, що розвиваються в однорідному полі напружень. При подальшому рості магістральних поверхневих тріщин ($a/t > 0,2$) в зоні кутового зварного шва співвідношення a/c різко зменшується (в 1,8–4,2 рази). Основною причиною такої зміни кінетики форми тріщин є їх об'єднання, яке носить імовірнісний характер. Отримано апроксимаційні залежності кінетики розвитку поверхневих тріщин, що розповсюджуються в зонах зварних з'єднань. Це дозволяє уточнити розрахунок живучості відповідальних елементів зварних конструкцій.

MODELING OF INITIATION AND PROPAGATION OF FATIGUE SURFACE CRACKS IN WELDED JOINTS. *M.I. Podgurskiy, B.P. Tatarin, I.M. Podgurskiy (I. Pulyuj Ternopol National Technical University, Ternopol, Ukraine).* The fatigue cracks in welded joints are appeared usually either in the zone of transition from base to deposited metal or at the surface of deposited metal near the weld defects. In both cases the fatigue surface cracks are formed, whose nature of development defines the further life of welded structures at the stage of their propagation. In this connection, the processes of initiation and propagation of fatigue surface cracks were studied at cyclic loading of large-size specimens, which model the elements of welded structures. Specimens of structural steels of 4–36 mm thickness and joints made by manual and mechanized electric arc welding were tested. Initiation and propagation of fatigue surface cracks in the zone of transition from base metal to deposited one were investigated, and the development of crack, initiated from artificial notches, was modeled. Coefficients of stress intensity (CSI) were determined, which describe the stress-strain state around the contour of surface cracks taking into account the design stress concentration and residual welding stresses and their gradients. It was found that for all the cases of testing the growth of surface cracks, including at their combining into one avalanche crack, the surface cracks try to get the energy-stable shape at which CSI around the crack contour become almost similar. Moreover, in spite of abrupt drop of coefficient of stress concentration the relation of semi-axes of small surface cracks is almost unchanged and equal to a/c = 0.68–0.72 with growth of relative depth a/t from 0 to 0.2 (a — depth of surface crack, t — specimen thickness). Approximately the same relation of semi-axes at energy-stable contour is typical of surface cracks which are developed in uniform field of stresses. At the further growth of avalanche surface cracks ($a/t > 0.2$) the relation a/c is abruptly decreased (1.8–4.2 times) in the zone of a fillet weld. The main cause of this change in kinetics of crack shape is their combining, which has a probability nature. Approximate dependencies of kinetics of development of surface cracks which are propagated in the zones of welded joints were obtained. This allows making the calculation of life of critical elements of welded structures more precise.

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ ДЛЯ СВАРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ. *В.Д. Позняков, С.Л. Жданов, А.А. Максименко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона, Киев, Украина).* В последние годы в Украине и странах СНГ для изготовления строительных сварных металлоконструкций, при реконструкции существующих и сооружении новых спортивных объектов все более широкое применение находят микролегированные высокопрочные стали классов С390–С440. В соответствии с отечественными нормативными документами и европейскими нормами эти стали поставляются как в нормализированном состоянии, так и после контролируемой прокатки толщиной от 16 до 100 мм.

С использованием модельных образцов и метода валиковых проб проведена оценка влияния термического цикла сварки (ТЦС) на изменение микроструктуры, показателей прочности, пластичности и вязкости металла зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений сталей марок S355 J2 (С390) и 10Г2ФБЮ (С440). Показано, что под воздействием ТЦС на участке перегрева металла ЗТВ формируется ферритно-бейнитная структура, причем по мере повышения скорости охлаждения $w_{6/5}$ от 3 до 30 °С/с увеличивается доля бейнитной составляющей. Это обусловливает повышение показателей прочности и ударной вязкости, но в то же время снижение пластичности металла ЗТВ.

Сопротивляемость сварных соединений указанных сталей образованию холодных трещин исследовали на жесткозакрепленных стыковых технологических пробах, образцах «жесткий тавр» и методом Имплант. Установлено, что при содержании диффузионного водорода в наплавленном металле не более 3 мл/100 г обеспечивается высокая стойкость сварных соединений против образования холодных трещин. При большем содержании водорода необходим предварительный подогрев до 60–90 °С.

Предложены сварочные материалы для ручной и механизированной в защитных газах дуговой сварки, обеспечивающие требуемые показатели механических свойств сварных соединений на уровне основного металла.

На основе проведенных исследований разработаны технологические рекомендации по сварке применительно к изготовлению строительных металлоконструкций для перекрытия над НСК «Олимпийский» в г. Киеве (сталь S355 J2) и навеса над новым футбольным стадионом в г. Казань (сталь 10Г2ФБЮ).

NEW STRUCTURAL STEELS FOR WELDED BUILDING METAL STRUCTURES. *V.D. Poznyakov, S.L. Zhdanov, A.A. Maksimenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Over the recent years in Ukraine and CIS countries the microalloyed high-strength steels of the grades S390–S440 find ever wider application for manufacture of building welded metal structures in reconstruction of existing and at the same time construction of new sport objects. According to the domestic standardized documents and the European standards these steels are supplied both in normalized state, as well as after controllable rolling in thicknesses from 16 to 100 mm.

Using model specimens and method of bead-on-plate samples the evaluation of effect of thermal cycle of welding (TCW) on change of microstructure, characteristics of strength, ductility and toughness of metal of heat-affected zone (HAZ) of welded joints of steels of grades S355 J2 (S390) and 10G2FBYu (S440) was carried out. It was shown that under the effect of TCW at the area of HAZ metal overheating the ferrite-bainite structure is formed, moreover, with increase in cooling rate $w_{6/5}$ from 3 to 30 °C/s the fraction of bainite component increases. This predetermines the increase of values of strength and impact toughness, but at the same time the decrease of ductility of HAZ metal.

The resistance of welded joints of mentioned steels to cold cracks formation was investigated at the rigidly fixed butt technological samples, specimens «rigid T-joint» and using Implant method. It was established that at the content of diffusive hydrogen in deposited metal of not more than 3 ml/100 g the high resistance of welded joints against cold cracks formation is provided. At the higher content of hydrogen the preheating up to 60–90 °C is required.

Welding consumables for manual and mechanized arc welding in shielding gases were offered providing required values of mechanical properties of joints at the level of base metal. Basing on the carried out investigations the technological recommendations on welding as applied to manufacture of building of metal structures for roofing over the NSC «Olimpiysky» in Kiev (steel S355 J2) and shelter over the new football stadium in Kazan (steel 10G2FBYu) were worked out.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ЕМКОСТЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СВАРНЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ. *М.В. Радченко, Б.И. Мандров (Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия).* На промышленных предприятиях и в коммунальном хозяйстве городов используется большое количество емкостей для хранения жидкостей, в том числе и пожарных, эксплуатация которых затруднена из-за нарушения плотности сварных швов или основного материала. Так, например, в коммунальном хозяйстве среднестатистического города с населением 250–300 тыс. эксплуатируется около 800 шт. емкостей, требующих ремонта. Традиционный ремонт емкостей или их демонтаж и строительство новых объектов требует значительных инвестиций, что затруднительно для малобюджетных организаций.

Срок службы вышеуказанных объектов можно увеличить за счет применения сварных оболочек из полимерных материалов, вставляемых в емкость. Вертикальная стенка и днище должны иметь форму, точно копирующую внутренний контур емкости. Ширина полимерного листа не более 5 м, поэтому при необходимости в стенке можно

IMPROVEMENT OF SERVICE LIFE OF CONTAINERS BY APPLICATION OF WELDED SHELLS OF POLYMERIC MATERIALS. *M.V. Radchenko, B.I. Mandrov (Altai State Technical University, Barnaul, Russia).* At the industrial enterprises and communal services of cities a large number of containers are used for storage of liquids, including also flammable ones, the service of which is difficult due to violation of leak tightness of welds or base metal. Thus, for example, in communal services of mean-statistic city with 250–300 thousand population about 800 pieces of containers, requiring repair, are in service. The traditional repair of containers or their dismantling and construction of new objects requires large investments, that is problematic for low-budget organizations.

The service life of the above-mentioned objects can be increased by application of welded shells of polymeric materials, inserted into containers. The vertical wall and bottom should have a shape, precisely copying the internal contour of the container. The width of polymeric sheet is not more than 5 m, therefore, it is possible to use, if necessary, an

использовать нахлесточное соединение, а для ее приварки к днищу угловое соединение, выполняемые экструзионной сваркой.

Эксперименты, проведенные на сварных моделях емкостей, доказали техническую возможность выполнения подобных проектов, однако для их практической реализации необходимо решить ряд проблем как информационного, так и технического плана:

• отсутствие нормативной документации на вышеуказанные объекты;

• затруднения в оценке прочности сварных соединений при испытании на растяжение, связанное с использованием образцов разных типов для основного материала и для сварных соединений;

• отсутствие устройств для фиксации листов во время монтажа оболочки;

• отсутствие специализированных насадок для экструзионной сварки угловых соединений стенки с днищем, особенно при сварке внутренних угловых поворотов. Очевидно, что для реализации проектов необходимы исследования.

Решение вышеперечисленных проблем позволит существенно расширить применение полимерных материалов и повысить эффективность проведения работ по реконструкции емкостей.

overlap joint in the wall and a fillet joint for its welding-on to the bottom, applying the extrusion welding.

Experiments, carried out on welded models of containers, proved the technical capability of fulfillment of similar projects. However, for their practical realization it is necessary to solve some problems of both information and also technical aspect:

• absence of standardized documentation for the above-mentioned objects;

• difficulty in assessment of strength of welded joints at tensile tests, connected with use of specimens of different types for base metal and for welded joints;

• absence of devices for fastening sheets during shell mounting;

• absence of specialized tips for extrusion welding of fillet joints of wall with bottom, in particular in welding of internal fillet turns. It is evident that the investigations are required for the realization of projects.

Solution of the above-listed problems will allow great widening of application of polymeric materials and increasing the efficiency of works for the reconstruction of containers.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМУЛЫ ПРОГИБА ЛОБОВОЙ КРОМКИ ЛИСТОВЫХ ПОЛОТНИЩ С УЧЕТОМ ЭМПИРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДЛИНЫ ВЫЛЕТА И ТОЛЩИНЫ ЛИСТОВ. *В.А. Роянов[1], П.В. Коросташевский[2] ([1]ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь, Украина, [2]НТК ЧАО «АЭС», Мариуполь, Украина).* Основные положения методики расчета деформаций лобовой кромки листов и листовых полотнищ при их перемещении по роликовым полям линий их сборки и сварки разработаны ранее. При этом для определения прогибов консольно свисающих кромок при их прохождении по неприводному роликовому полю была выбрана расчетная схема в виде консольной балки с заделкой с одного из концов, нагруженной по всей длине равномерно распределенной нагрузкой — собственным весом. Однако результаты замеров прогибов, полученные при проведении экспериментальных работ, показали, что фактические деформации серьезно отличаются от расчетных.

В ходе уточнения расчетной схемы часть полотнища со свисающей кромкой была представлена в виде балки, установленной на двух шарнирных опорах с консольным вылетом и нагруженной по всей длине равномерно распределенной нагрузкой — собственным весом. Исходя из дифференциального уравнения изогнутой оси (упругой линии) балки для данной расчетной схемы выведено базовое уравнение, решенное в дальнейшем относительно прогиба консольно свисающей лобовой кромки листов и листовых полотнищ. В итоге были выведены уточненные формулы прогибов лобовой кромки. Значения деформаций, полученные по выведенным формулам, оказались значительно ближе к результатам опытных замеров. При этом максимального совпадения результатов практических замеров прогибов лобовой кромки и их значений, полученных расчетным путем, удалось достичь при введении в формулу прогиба эмпирического коэффициента $K_э$, равного $h_{мм}/3l_м$, где $h_{мм}$ и $l_м$ — безразмерные величины, численно равные соответственно толщине листа в миллиметрах и длине консольного вылета лобовой кромки листа (листового полотнища) в метрах, при котором определяется ее прогиб.

INVESTIGATION OF FORMULA OF END EDGE BENDING OF SHEET PANELS BY ACCOUNTING FOR EMPIRIC COEFFICIENT OF STICKOUT LENGTH AND SHEET THICKNESS. *V.A. Royanov[1], P.V. Korostashevsky[2] ([1]Preazovsky State Technical University, Mariupol, Ukraine; [2]NTC PJSC «AES», Mariupol, Ukraine).* The main statements of procedure for calculation of deformations of end edge of sheets and sheet panels during their moving along the roller fields of lines of their assembly and welding were developed earlier. Moreover, to determine the bends of console-hanging down edges during their passing along the non-driven roller field, the calculation scheme was developed in the form of a console beam with sealing at one of the ends, loaded along the entire length by the uniformly distributed load, i.e. by natural weight. However, the results of measurements of bends, obtained during experiments, showed that real deformations greatly differ from the calculated ones.

During specifying the calculation scheme, a part of panel with handing down edge was presented in the form a beam, mounted on two hinged supports with a console stickout and loaded along the length by the uniformly distributed load, i.e. natural weight. Coming from a differential equation of bent axis (elastic line) of beam for the given calculation scheme, a basic equation was derived, solved further concerning the bending of console-hanging down end edge of sheets and sheet panels. As a result, the more precised formulas of bends of end edge were derived. Values of deformations obtained by the derived formulas occurred to be more close to the results of experimental measurements. Here, the maximum coincidence of results of practical measurements of bends of end edges and their values, obtained by calculations, was managed to be reached by adding the empiric coefficient K_e, equal to $h_{mm}/3l_m$, into the formula of bending, where h_{mm} and l_m are the dimensionless values, numerically equal, respectively, to thickness of sheet in millimeters and length of console stickout of end edge of sheet (sheet panel) in meters, at which its bending is determined.

Thus, it was managed to take into account the additional effect of thickness of sheets and stickout of console-hanging-down end edge and to obtain the more precise formulas of

Таким образом, удалось учесть дополнительное влияние толщины листов и вылета консольно свисающей лобовой кромки и получить более точные формулы расчета ее деформаций, что имеет практическое значение при конструировании технологического оборудования сборочно-сварочного производства.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ. *А.В. Свиридов, А.Г. Гринь (Донецкая гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Работоспособность и долговечность изделий, изготовленных из меди, на примере кристаллизаторов ЭШН ЖМ, определяются эксплуатационной стойкостью, прежде всего механическими свойствами. В связи с этим были проведены исследования механических свойств сварных соединений при рабочих температурах, выполненных различными сварочными материалами.

Исследования эксплуатационной стойкости сварных соединений проводили согласно стандартным методикам.

Учитывая, что рассматриваемое изделие (кристаллизатор ЭШН ЖМ) работает при повышенных температурах, испытания механических свойств проводили в интервале температур от комнатной до температуры возможного перегрева (20–400 °С). Для сравнительной оценки механических свойств при этих же температурах испытывались образцы, сваренные различными сварочными материалами: прессованными порошковыми проволоками диаметром 5 и 8 мм, электродами марки «Комсомолец-100», автоматической сваркой с использованием сварочной проволоки марки М1 под слоем флюса АН-М1 и проволоки марки Бр.КМц3-1 в среде аргона. Механические свойства определяли по результатам испытаний четырех образцов по каждому показателю. Испытания на растяжение образцов, изготовленных из сварного соединения, выполненного вышеуказанными сварочными материалами, показали, что разрушение их происходит по околошовной зоне в результате разупрочнения основного металла в процессе сварки и более высокой прочности металла сварного шва. Из приведенных исследований видно, что прочность металла швов, выполненных прессованной порошковой проволокой, начинает уменьшаться при температуре испытания выше 300 °С. Относительное удлинение металла шва не изменяется в интервале исследованных температур. Металл швов, выполненных другими сварочными материалами, менее легирован, имеет более низкую температуру рекристаллизации и теряет прочностные и пластичные свойства при более низкой температуре.

КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНЕ РУЙНУВАННЯ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ ІЗ ЗВАРНИМИ З'ЄДНАННЯМИ В СІРКОВОДНЕВИХ СЕРЕДОВИЩАХ. *М.С. Хома (Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна).* При розробці газонафтових родовищ на глибоководному шельфі Чорного моря, де можливий підвищений вміст сірководню, необхідно використовувати матеріали, що забезпечують високу роботоздатність обладнання. Це пов'язано з тим, що в сірководнево-хлоридних середовищах спостерігається висока швидкість корозії та наводнювання металів та їх зварних з'єднань, що викликає прискорене корозійно-механічне руйнування. Дослідження металів у сірководневих середовищах проводять переважно за постійних деформації чи навантаженнях. Однак при проектуванні гідроконструкцій, що будуть контактувати із сірководневими розчинами, необхідно приймати до уваги і можливість знакозмінних напружень від хвилювання моря та вітрового навантаження.

calculation of deformations that has a practical importance in designing the equipment of assembly-welding manufacturing.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS ON COPPER BASE. *A.V. Sviridov, A.G. Grin (Donetsk State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* Serviceability and long life of products, made of copper, on the example of moulds for ESS LM, are defined by service life, first of all, by mechanical properties. In this connection, the investigations of mechanical properties of welded joints at operating temperatures, made by different welding consumables, were investigated.

Investigations of service life of welded joints were carried out in accordance with standard methods.

Taking into account that the examining product (mould for ESS LM) is operating at elevated temperatures, the tests of mechanical properties were performed within the range of temperatures from room up to temperature of possible overheating (20–400 °C). For comparative evaluation of mechanical properties the specimens welded with different welding consumables were tested at the same temperatures: pressed powdered wires of 5 and 8 mm diameter, electrodes of grade «Komsomolets-100», automatic welding using welding wire of grade M1 under layer of flux AN-M1 and wire of grade Br.KMts3-1 in argon. Mechanical properties were determined from results of testing four specimens for each characteristic. Tensile tests of specimens, manufactured of welded joint, made by the above-mentioned materials, showed that their fracture occurs in near-weld zone as a result of weakening of base metal during welding and higher strength of weld metal.

It is seen from the given investigations that the strength of metal of welds made by pressed powdered wire, begins decreasing at test temperature above 300 °C. Elongation of weld metal is not changed within the range of test temperatures. Metal of welds, made by other welding consumables, less alloyed, has the lower temperature of recrystallization and losses strength and ductile properties at lower temperature.

CORROSION-MECHANICAL FRACTURE OF PIPE STEELS WITH WELDED JOINTS IN HYDROGEN SULPHIDE ENVIRONMENTS. *M.S. Khoma (G.V. Karpenko Physical-Mechanical Institute of NASU, Lvov, Ukraine).* In mining of gas-oil fields at the deep-water shelf of the Black Sea, where the increased content of hydrogen sulphide is possible, it is necessary to apply materials which provide the high serviceability of the equipment. This is connected with the fact that in hydrogen sulphide-chloride environments a high rate of corrosion and hydrogenation of metals and their welded joints are observed, thus causing the accelerated corrosion-mechanical fracture. Investigations of metals in hydrogen sulphide environments are carried out mainly at continuous deformations and loads. However, in designing of hydraulic structures, which will have contact with hydrogen sulphide solutions, it is necessary to take into attention also the possibility of alternate stresses caused by sea waves and wind loads.

Встановлено, що зварні з'єднання феритно-перлітних та перлітних трубних сталей у сірководневих розчинах під статичними і циклічними напруженнями руйнуються переважно у зоні термічного впливу (ЗТВ) внаслідок зростання в процесі кородування у 3–4 рази її мікроелектрохімічної гетерогенності, що приводить до інтенсифікації локальної корозії, а також збільшення в ~1,25 раза, порівняно з основним металом, концентрації дифузійно-рухливого водню. Інтенсифікації корозійних процесів в металі ЗТВ сприяють також механічні напруження: в області пружних деформацій її мікроелектрохімічна гетерогенність зростає до 130 мВ в межах пружної деформації, до 170 мВ — пластичної і до ~300 мВ — в області зосередженої пластичної деформації. Показано, що за циклічних асиметричних напружень ($\sigma_a = 0{,}2\sigma_{0,2}$) опір руйнуванню зварних зразків сталі 17Г1СУ знижується в більшій мірі, ніж зразків з основного металу. Наявність у зварному шві пор, лінійні розміри яких не перевищують допустимих, згідно з ВСН 012-88, приводить до зниження опірності зварних зразків сірководневому корозійному розтріскуванню на ~20 %, а за циклічних асиметричних напружень їх довговічність не перевищує декількох годин.

Отже, корозійно-механічне руйнування феритно-перлітних та перлітних трубних сталей із зварними з'єднаннями у сірководневих розчинах протікає як за механізмом водневого окрихчення, так і за механізмом прискореного локального розчинення напруженої ЗТВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ РЕАКЦИОННО-ДИФФУЗИОННЫМ СПОСОБОМ. *К.А. Ющенко, Т.Н. Кушнарева, В.Е. Мазурак (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Литейные никелевые сплавы, особенно направленной кристаллизации и монокристаллические, являются основными конструкционными материалами для изготовления направляющих и рабочих лопаток турбин в теплонапряженных газотурбинных двигателях (ГТД) и наземных газотурбинных установках (ГТУ). Получение равнопрочных неразъемных соединений и восстановление деталей турбин без расплавления основного материала при сохранении исходной структуры после ремонта с обеспечением необходимых служебных характеристик соединений деталей является актуальной задачей.

Проведены исследования особенностей формирования соединений реакционно-диффузионным способом с использованием металлов-депрессантов IVa и Va групп для сплавов типа ЖС6У, ЧС70, IN738, МА IN758, ЖС26, ЖС32, ЖС36, PWA-1480.

Выполнены микроструктурные исследования фазового состава материалов швов и рассмотрена взаимосвязь между химическим составом присадочного материала и технологических параметров с физико-механическими свойствами соединений. Сформулированы металловедческие особенности формирования соединений.

Проведены механические испытания на кратковременную прочность при растяжении (20, 900, 1000, 1100 и 1200 °С) и длительную прочность при 900 °С (под нагрузкой 300–350 МПа).

Результаты механических испытаний показали, что уровень прочности соединений составляет 0,8–0,9 прочности основного металла с разрушением образцов за пределами зоны шва.

Технологический процесс реализован при получении неразъемных соединений сложной формы и ремонте натурных деталей конструктивных элементов авиационных ГТД из жаропрочных никелевых сплавов.

It was found that welded joints of ferrite-pearlite pipe steels in hydrogen sulphide solutions under static and cyclic stresses are fractured mainly in a heat-affected zone (HAZ) due to 3–4 times increase in its microelectrochemical heterogeneity in the process of corroding, thus leading to intensification of a local corrosion, as well as 1.25 increase also in concentration of diffusion-mobile hydrogen, as compared with the base metal. Intensification of corrosion processes in HAZ metal promotes also mechanical stresses: in the region of elastic deformations its microelectrochemical heterogeneity increases up to 130 mV within the ranges of elastic deformation, up to 170 mV — plastic deformation and up to ~300 mV — in the region of concentrated plastic deformation. It is shown that at cyclic asymmetric stresses ($\sigma_a = 0.2\sigma_{0.2}$) the fracture resistance of welded joints of steel 17G1SU is reduced larger than that in specimens of base metal. The presence of pores in welded joints, linear sizes of which do not exceed admissible ones in accordance with VSN 012-88, leads to decrease in resistance of welded joints to hydrogen sulphide corrosion cracking by ~20 %, and at cyclic asymmetric stresses their surface life does not exceed several hours.

Thus, the corrosion -mechanical fracture of ferrite-pearlite and pearlite pipe steels with welded joints in hydrogen sulphide solutions is proceeding both according to the mechanism of hydrogen embrittlement, and also according to mechanism of accelerated local weakening of stressed HAZ.

RESULTS OF INVESTIGATIONS OF PRODUCING JOINTS OF HEAT-RESISTANT NICKEL ALLOYS BY REACTION-DIFFUSION METHOD. *K.A. Yushchenko, T.N. Kushnareva, V.E. Mazurak (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Foundry nickel alloys, in particular of a directed crystallization and monocrystalline ones, are the main structural materials for manufacture of vanes and blades of turbines in heat-stressed gas turbine engines (GTE) and on-land gas turbine units (GTU). Producing of full-strength permanent joints and restoration of turbine parts without melting of base metal, preserving the initial structure after repair, providing required service characteristics of joints of parts is an urgent problem.

Investigations of peculiarities of formation of joints by reaction-diffusion method using metals-depressants of IVa and Va groups for alloys of type ZhS6U, ChS70, IN738, MA IN758, ZhS26, ZhS32, ZhS36, PWA-1480 were carried out. Microstructural examinations of phase composition of materials of welds were made and interaction was studied between the chemical composition of filler material and technological parameters and physical-mechanical properties of joints. Metals science peculiarities of joints formation were formulated.

Mechanical tests were performed for short-time tensile strength (20, 900, 1000, 1100 and 1200 °C) and long-time strength at 900 °C (under load of 300–350 MPA).

Results of mechanical tests showed that the level of strength of joints is 0.8–0.9 of strength of base metal with fracture of specimens beyond the weld zone.

Technological process was realized in producing permanent joints of intricate shape and repair of full-scale parts of design elements of aviation GTE of heat-resistant nickel alloys.

ОЦЕНКА КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВОВ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ. *К.А. Ющенко[1], В.С. Савченко[1], А.В. Звягинцева[1], Н.О. Червяков[1], В.Н. Ткач[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина)*. Сварные швы никелевых сплавов с аустенитной структурой весьма чувствительны образованию горячих трещин в температурном интервале провала пластичности (700–1000 °С). Трещины проходят по большеугловым границам аустенитных зерен и связаны с процессом упругопластического деформирования в швах при выполнении сварки. Учитывая поликристаллическое строение швов, значительное влияние на процессы деформирования оказывает анизотропия упругих свойств металла. Оценивали изменения свойств модуля упругости в соседних зернах швов, между которыми проходит горячая трещина. Учитывая ограниченный размер зерен, для оценки модуля упругости применяли наноиндентирование с использованием индентора Берковича. При этом нагрузка на индентор составляла 20 мН.

Информацию о кристаллографической ориентации соседних зерен получали с использованием дифракции отраженно рассеянных электронов с помощью специальной приставки к сканирующему электронному микроскопу. Было показано, что сварной шов состоит из зерен, разделенных большеугловыми границами, и имеющих произвольную ориентацию кристаллографических плоскостей. Адресное, в пределах каждого зерна, определение модуля упругости показало значительное отличие его значения в зависимости от кристаллографического направления, причем минимальное значение модуля упругости соответствует направлению <100>, а максимальное <111>.

Можно предположить, что такое отличие приведет к повышению локальной пластической деформации в приграничных участках зерен в швах при сварке и будет способствовать формированию условий межзеренного разрушения при образовании трещин.

ASSESSMENT OF CRYSTALLOGRAPHIC ANISOTROPY OF ELASTIC PROPERTIES OF WELD METAL OF NICKEL ALLOYS BY USING NANOINDENTATION. *K.A. Yushchenko[1], V.S. Savchenko[1], A.V. Zvyagintseva[1], N.O. Chervyakov[1], V.N. Tkach[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V.N. Bakul Institute of Superhard Materials of NASU, Kiev, Ukraine)*. Welds of nickel alloys with austenite structure are very sensitive to the formation of hot cracks within the nil-ductility temperature range (700–1000 °C). Cracks are passing along higher-angle boundaries of austenite grains and are due to the process of elastic-plastic deforming in welds during welding. Taking into account the polycrystalline structure of welds, the anisotropy of elastic properties of metal greatly influence the processes of deforming. Changes in properties of elasticity modulus in neighboring grains of welds, between which the hot crack is passed, were evaluated. With account for a limited size of grains, to evaluate the elasticity modulus the nanoindentation was used by applying the Berkovich indenter. Here, the load for indenter was 20 mN.

Information about crystallographic orientation of neighboring grains was obtained by the diffraction of back-scattered electrons using a special attachment to the scanning electron microscope. It was shown that weld consists of grains, divided by higher-angle boundaries and having random orientation of crystallographic planes. Address determination of elasticity modulus within each grain showed the significant difference of its value depending on crystallographic direction, moreover, the minimum value of elasticity modulus corresponds to direction <100>, and maximum — to <111>. It can be assumed that this difference will lead to increase in a local plastic deformation in the near-boundary areas of grains in welds during welding and will promote the formation of conditions of intergranular fracture at cracks formation.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

NONDESTRUCTIVE TESTING AND TECHNICAL DIAGNOSTICS

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ LRUT ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ МЕТАЛЛА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ. *Е.А. Давыдов[1], А.Л. Шекеро[1], П.С. Юхимец[1], М. Миховски[2], А. Алексиев[2], Й. Мирчев[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т механики БАН, София, Болгария).* Для обнаружения коррозионных поражений внутренних поверхностей нефте- и газопроводов в настоящее время применяются внутритрубные ультразвуковые и магнитные дефектоскопы. При этом 100%-ый контроль такими системами во многих случаях выполнить невозможно из-за отсутствия камер пуска и приема диагностических устройств, отсутствия врезок для подключения других трубопроводов переменного по длине диаметра. Большим недостатком систем внутритрубной диагностики является низкая скорость движения внутритрубного снаряда. Чувствительность такого контроля обычно ограничена размером выявляемых дефектов и глубиной коррозионных поражений, которые составляют от 20–30 % толщины стенки трубы. Таким образом, выявление внутренних дефектов и коррозионных поражений в стальных трубопроводах, не подлежащих внутритрубной дефектоскопии, является сложной проблемой.

Эти проблемы позволяет решить современная технология низкочастотного ультразвукового контроля направленными волнами (LRUT). LRUT использует низкочастотные направленные ультразвуковые волны, способные распространяться на расстояние 50 м и более из одного места установки акустической антенны, что дает возможность проводить диагностику протяженных объектов с ограниченным доступом к поверхности металла, в частности, магистральных нефте- и газопроводов. Применение данной технологии позволяет значительно повысить производительность контроля, снизить материальные затраты на подготовку поверхности трубопровода, выполнять анализ данных в реальном времени.

Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины совместно с Институтом механики Болгарской академии наук в рамках выполнения Европейского исследовательского проекта «INNOPIPES» проводятся совместные исследования технологии LRUT с целью ее дальнейшего развития и практического применения для диагностики и ремонта магистральных трубопроводов.

APPLICATION OF CURRENT ULTRASONIC TESTING TECHNOLOGY LRUT FOR DETECTION OF CORROSION DAMAGES OF METAL OF MAIN PIPELINES. *E.A. Davydov[1], A.L. Shekero[1], P.S. Yukhimets[1], M. Mikhovski[2], A. Alexsiev[2], G. Mirchev[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine, Ukraine; [2]Institute of Mechanics of BAS, Sofia, Bulgaria).* Detection of corrosion damages of internal surfaces of oil- and gas-pipelines is performed in present time by in-tube ultrasonic and magnetic flaw detectors. At that, in number of cases performance of 100 % testing using such systems is impossible due to absence of inspection gauge launching-receiving chambers, cutting-in for connecting of other pipelines of diameter variable on length. Low speed of movement of pipeline inspection gauge (PIG) is significant disadvantage of the systems for in-tube diagnostics. Sensitivity of such a testing is as a rule limited by dimensions of found defects and depth of corrosion damages which made 20–30 % of pipe wall thickness. Therefore, detection of internal defects and corrosion damages in steel pipelines where in-tube flaw detection can not be performed is a complex problem. Current technology of long-range ultrasonic testing (LRUT) allows solving these problems. LRUT uses low-frequency ultrasonic guided waves capable of propagating on 50 m distance and more from one point of acoustic antenna positioning. This provides the possibility of performance of diagnostics of lengthy objects with limited access to metal surface, in particular, main oil- and gas pipelines. Application of this technology allows significantly increasing testing efficiency, reducing expenses for preparing of pipeline surface, analyzing data in real time. The E.O. Paton Electric Welding Institute in cooperation with Bulgarian Academy of Sciences performs joint investigations of LRUT technology in the scope of research project «INNOPIPES» for the purpose of its further development and practical application for diagnostics and repair of main pipelines.

МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ. *М.Н. Карманов, В.А. Шалаев (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Работы, выполняемые отделом неразрушающего контроля ИЭС им. Е.О. Патона, направлены на разработку новых принципов построения цифровых систем радиационного контроля, обеспечивающих минимизацию стоимости таких систем для каждого конкретного потребителя при сохранении технических характеристик и функциональных возможностей в соответствии с требованиями заказчика.

Обычно такие системы предлагают в виде мощного программно-аппаратного комплекса, ориентированного на применение с определенным типом преобразователей радиационного изображения в цифровой код (слайд-сканер для ввода изображений рентгенограмм, рентгенотелевизионных изображений, преобразование радиационного изображения с помощью детекторов матричных линеек, лазерные сканеры для беспленочной радиографии).

На практике при цифровом радиационном контроле во многих случаях используется лишь незначительная часть

MODULAR SYSTEMS OF DIGITAL RADIATION TESTING. *M.N. Karmanov, V.A. Shalaev (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine, Ukraine).* Works, performed in department of non-destructive testing of the E.O. Paton Electric Welding Institute, are directed on development of new principles of designing of radiation testing digital systems providing minimization of cost of such systems for each specific consumer at retention of technical characteristics and functional capabilities in accordance with customer's requirements.

Such systems as a rule are proposed in a form of powerful firmware complex, directed on application with specific type of converters of radiation images in numerical code (slide-scanner for radiogram images and X-ray television images, input conversion of radiation image with the help of detectors of matrix scales, laser scanners for filmless radiography).

In practice only insignificant part of software tools are used in number of cases at digital radiation testing. At that, the customer has to overpay for unused software resources.

Concept of modular design of radiation testing digital systems is proposed, providing the customer with the possibility

программных инструментов. При этом заказчик вынужден переплачивать за неиспользуемые программные ресурсы. Предлагается концепция модульного построения цифровых систем радиационного контроля, обеспечивающего возможность выбора заказчиком цифровых ресурсов, необходимых для расшифровки изображений радиационного контроля в каждом конкретном случае. При этом сохраняется возможность дальнейшего расширения и дополнения системы по мере освоения таких систем и изменения требований к расшифровке, документированию и архивации результатов контроля.

В предлагаемой модульной системе могут использоваться различные типы радиационных детекторов (рентгеновская пленка, рентгенотелевизионные камеры, матричные преобразователи и т. п.) В качестве источника облучения обычно используют рентгеновский аппарат или различные виды радиационных изотопов.

В этом случае для цифрового радиационного контроля имеется возможность выбора минимального набора программных модулей, необходимого для конкретных задач и объемов цифрового радиационного контроля, предполагаемого уровня автоматизации расшифровки, настроенного на конкретные конфигурации радиационного контроля. Тем самым заказчик минимизирует затраты на приобретение системы цифрового радиационного контроля.

of selection of digital resources necessary for decoding of radiation testing images in each specific case. At that, possibility of further expansion and complement of the system is preserved in scope of mastering of such systems and changing of requirements on decoding, documentation and archiving of testing results.

Different types of radiation detectors (X-ray film, X-ray-television camera, matrix converters etc.) can be used in the proposed modular system. X-ray unit or different types of radiation isotopes are used as a rule as radiation source.

In this case, there is a possibility of selection of minimum set of program modules necessary for specific tasks and scopes of digital radiation testing with assumed level of decoding automation adjusted for specific configuration of radiation testing. In that way, the customer minimizes the expenses for purchasing of digital radiation testing system.

НЕРУЙНІВНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРІВ ЯДЕР ЗВАРНИХ ТОЧКОВИХ З'ЄДНАНЬ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННОЇ ШИРОГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАНІЧНОГО ТА ТЕРМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ. *Л.М. Лобанов, В.А. Півторак, І.В. Киянець, В.В. Савицький, О.М. Савицька (Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна).* Розроблено неруйнівну методику визначення діаметра ядра зварної точки із застосуванням електронної ширографії. Встановлено, що для оцінки розміру ядра зварної точки необхідно отримати розподіл похідних уздовж перерізу, який проходить через центр досліджуваної точки, від компонентів вектора переміщень, обумовлених дією механічного або термічного навантаження. На кривій розподілу похідних $\partial w/\partial x$ або $\partial w/\partial y$ спостерігаються екстремуми, відстань між якими відповідає діаметру ядра точки.

На основі розробленої методики та устаткування виконано комплекс експериментальних досліджень з визначення величини ядра як окремої зварної точки, так і розташованої в масиві зварних точкових з'єднань.

Виконані експерименти підтвердили ефективність використання методу електронної ширографії для неруйнівного визначення розміру діаметра ядра зварної точки. При цьому механічне навантаження доцільно використовувати на тестових зразках в лабораторних умовах, а термічне навантаження є ефективним для застосування розробленої методики на натурних об'єктах. Оптимальним для неруйнівного визначення діаметра ядра зварної точки при двобічному доступі до поверхні контрольованого об'єкту є використання рівномірного нагріву зі зворотнього боку досліджуваного елемента, а за однобічного доступу — локального нагріву зварної точки з лицьового боку.

Результати проведених експериментів показали, що похибка з визначення діаметра ядра зварної точки методом електронної ширографії з використанням термічного навантаження не перевищувала 0,4 мм.

Встановлено, що під дією термічного навантаження деформування зварної точки, яка розташована в масиві інших зварних точкових з'єднань, має такий самий характер, як і окремої зварної точки, якщо відстань між такими точками більша за 20 мм.

NON-DESTRUCTIVE DETERMINATION OF DIAMETERS OF NUGGETS OF SPOT WELDED JOINTS BY ELECTRON SHEAROGRAPHY METHOD USING MECHANICAL AND THERMAL LOADING. *L.M. Lobanov, V.A. Pivtorak, I.V. Kiyanets, V.V. Savitskiy, O.M. Savitska (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Non-destructive procedure for determination of diameter of weld nugget spot using electronic shearography method was developed. It is determined that evaluation of dimensions of weld nugget spot requires obtaining of distribution of derivatives along the section, which passes through the center of investigated spot, from components of vector of displacements due to effect of mechanical and thermal loading. Curve of distribution of $\partial w/\partial x$ або $\partial w/\partial y$ derivatives has the extremes distance between which corresponds to diameter of weld nugget.

Complex of experimental investigations on determination of size of nugget as a separate weld nugget as well as located in a body of welded spot joints was carried out based on developed procedure and equipment.

Performed experiments confirmed efficiency of application of electron shearography method for non-destructive determination of diameter of weld nugget spot. At that, mechanical loading is rational to be used for test specimens under laboratory conditions and thermal loading is efficient in application of developed procedure on full-scale objects. Application of uniform heating from reverse side of studied element is optimum for non-destructive detection of diameter of weld nugget spot at double-side access to the surface of testing object and local heating of weld spot from front side is good at one-side access.

Results of performed experiment showed that error of determination of diameter of weld nugget spot by electron shearography method using thermal loading does not exceed 0.4 mm.

It is determined that deformation of weld spot located in the body of other welded spot joints has the same character under effect of thermal loading as for separate weld spot if distance between such spots is higher than 20 mm.

Results of performed investigations can be a basis for development of technology of contactless non-destructive deter-

Результати виконаних досліджень можуть бути основою для створення технології безконтактного неруйнівного визначення діаметрів ядер точкових зварних з'єднань тонколистових конструкцій в промислових умовах.

mination of diameters of nuggets of welded spot joints of thin-sheet structures under industrial conditions.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРУШАЮЩЕГО ДАВЛЕНИЯ ТРУБ С КОРРОЗИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ. *Л.М. Лобанов, В.А. Пивторак, В.А. Нехотящий, П.Д. Кротенко, К.В. Шиян (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Задача обнаружения внутритрубных дефектов, вызванных эрозионно-коррозионным износом (ЭКИ), является актуальной при обследовании трубопроводов на ТЭС и АЭС. Одним из методов, широко применяемых для этой цели, является ультразвуковая дефектоскопия. Ее практическое применение в ряде случаев вызывает определенные трудности.

К новым методам контроля, которые интенсивно развиваются, относятся электронная ширография и спекл-интерферометрия. Их преимущество состоит в бесконтактности и возможности получать необходимую информацию, которая характеризует дефектность исследуемого объекта за одно измерение.

В результате выполненных исследований показано, что применяя метод электронной ширографии, при нагружении трубы внутренним давлением можно устанавливать размеры коррозионного повреждения на контролируемом участке.

Разработана расчетно-экспериментальная методика, позволяющая на основании данных, полученных методом электронной спекл-интерферометрии, определять толщину стенки на участке повреждения трубы. Полученные с помощью бесконтактных методов (электронной ширографии и спекл-интерферометрии) параметры внутритрубного коррозионного повреждения (продольный размер и толщина стенки), с помощью известных эмпирических соотношений, дают возможность спрогнозировать разрушающее давление в трубе. Для сопоставления прогнозируемой и фактической величин разрушающего давления выполнено испытание образцов труб, содержащих коррозионные повреждения. Относительная погрешность прогнозирования разрушающего давления составила $\delta = 7{,}7$ %.

PREDICTION OF FAILURE PRESSURE OF PIPES WITH CORROSION DEFECTS USING LASER INTERFEROMETRY. *L.M. Lobanov, V.A. Pivtorak, V.A. Nekhotyashchiy, P.D. Korotenko, K.V. Shiyan (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine, Ukraine).* Detection of in-tube defects caused by erosive-corrosive wear (ECW) is a relevant task in examining of pipelines of heat power and nuclear-power plant. One of the methods, widely used for this purpose, is ultrasonic flaw detection. Its practical application in series of cases results in certain difficulties. Electronic shearography and speckle interferometry relate to new intensively developing testing methods. Their advantage is absence of contact and possibility of obtaining of necessary information characterizing defectiveness of examined object per one measurement.

Results of performed investigations showed that dimensions of corrosion damage in area of testing can be detected using electron shearography method at pipe loading by internal pressure.

Experiment-calculation procedure was developed allowing determining thickness of wall in area of pipe damage on the basis of data obtained by electron speckle interferometry method. Parameters of in-tube corrosion damage (longitudinal dimension and wall thickness) obtained with the help of contactless methods (electron shearography and speckle interferometry) using known empirical relations provide the possibility of prediction of failure pressure. Testing of pipe specimens containing corrosion damages was carried out for matching of predicted and actual values of failure pressure. Relative error of prediction of failure pressure made $\delta = 7.7$ %.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ТИТАНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ВТ-20 С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОЙ ШИРОГРАФИИ. *Л.М. Лобанов, В.А. Пивторак, Е.М. Савицкая, И.В. Киянец (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В авиационной и аэрокосмической промышленности все более широкое применение находят сварные титановые тонкостенные панели с продольными ребрами жесткости, изготовленные из сплавов ВТ-20. Контроль качества таких панелей достаточно трудоемкий и вызывает ряд трудностей. В связи с этим актуальным остается разработка новых методов исследования их качества. Метод электронной ширографии применялся для неразрушающего контроля качества стрингерных панелей, выполненных из высокопрочного титанового сплава ВТ-20, размерами 1200×550×2,5 мм. Четыре продольных ребра жесткости высотой 2,5 мм приваривались прорезными швами к титановому листу. Расстояние между ребрами составляло 100 мм. Сварка титановых панелей выполнялась в условиях их предварительного упругого растяжения, которое создавалось с помощью специальной растягивающей оснастки. После сварки титановая панель в рас-

QUALITY CONTROL OF WELDED TITANIUM PANELS FROM VT-20 ALLOY USING ELECTRON SHEAROGRAPHY METHOD. *L.M. Lobanov, V.A. Pivtorak, E.M. Savitskaya, I.V. Kiyanets (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine, Ukraine).* Welded titanium thin-wall panels with longitudinal stiffening ribs manufactured from VT-20 alloys find increasingly wide application in aircraft and aerospace industry. Quality control of such panels is sufficiently labor consuming and promotes series of difficulties. In this connection, development of new methods for investigation of their quality remains a relevant task. Method of electron shearography was used for non-destructive quality control of stringer panels manufactured from high-strength titanium alloy VT-20 of 1200×550××2.5 mm size. Four longitudinal stiffening ribs of 2.5 mm height were welded by slot welds to titanium sheet. Distance between the ribs made 100 mm. Welding of titanium panels was performed under conditions of their preliminary extension, developed with the help of special stretching fixture. After welding titanium panel in stretched state was subjected to non-destructive quality control using electron shearography method.

тянутом состоянии подвергалась неразрушающему контролю качества с применением метода электронной ширографии.

Представлены результаты неразрушающего контроля качества сварных швов титановых панелей с применением метода электронной ширографии. Показана эффективность использования метода ширографии для неразрушающего контроля титановых панелей без демонтажа оснастки для растяжения, что позволяет при выявлении дефектов в сварном шве сразу приступить к их устранению.

Results of non-destructive quality control of welds of titanium panels using electron shearography method are represented. The efficiency of application of shearography method for non-destructive control of titanium panels without dismantling of stretching fixture is shown that allows immediately starting defect elimination at their detection in weld.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА. *А.Я. Недосека, С.А. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсиенко, Л.Ф. Харченко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Одной из приоритетных научно-технических задач для энергетической отрасли является продление ресурса оборудования и вывод его из эксплуатации по фактическому состоянию. В докладе представлена новая эффективная технология оценки работоспособности металлоконструкций, созданная на основе квантовой механики разрушения, механики несплошной среды, теории волновых процессов. Технология использует совместный анализ данных акустической эмиссии (АЭ), излучаемой материалами при деформировании, и технологических параметров состояния конструкций — давление, температура, кривая нагрузки и т. п.

Технология опирается на обширный экспериментальный материал, а ее эффективность подкреплена практическим внедрением результатов. Так, системы непрерывного АЭ мониторинга семейства ЕМА уже применяются для контроля состояния сосудов давления, хранилищ и оборудования цехов производства аммиака (Одесский припортовый завод), на мостовых переходах труб аммиакопровода (Укрхимтрансаммиак). Технология позволяет осуществлять 100%-ый контроль конструкций или их узлов без разрушения, заблаговременно оценивать разрушающую нагрузку (фактически, определять предел прочности при текущем состоянии), оценивать остаточный ресурс материалов конструкций.

В рамках совершенствования АЭ технологии оценки состояния конструкций на киевских ТЭЦ (в том числе горячих трубопроводов и барабанов котлов) проведены научные исследования в следующих направлениях: оценка и учет влияния среды и высоких температур на результаты АЭ контроля; совершенствование методов локации источников АЭ; развитие методов отбраковки производственных помех; расчет волновых полей в конструктивных элементах с учетом влияния среды и температуры, совершенствование конструкций датчиков АЭ и волноводов; повышение достоверности оценки текущего состояния материалов и прогноза их остаточного ресурса применительно к конкретным промышленным объектам. Накопленный практический опыт позволяет говорить о возможности распространения разработанной технологии на самое разнообразное оборудование энергетической отрасли.

ACOUSTIC-EMISSION DIAGNOSTICS OF EQUIPMENT OF ENTERPRISES OF POWER COMPLEX. *A.Ya. Nedoseka, S.A. Nedoseka, M.A. Yaremenko, M.A. Ovsienko, L.F. Kharchenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Extension of equipment resource and its withdrawal from operation based on actual state are one of the most priority scientific-and-technical problems for power branch. Work presents a new efficient technology for evaluation of working capacity of metal structures developed based on fracture quantum mechanics, discontinuous media mechanics and theory of wave processes. The technology uses joint analysis of data from acoustic emission (AE), emitted by materials in deformation, and technological parameters of structure state, i.e. pressure, temperature, load curve and etc.

The technology is based on extensive experimental material, and its efficiency is supported by practical implementation of results. Thus, systems of continuous AE monitoring of EMA family have already been used for control of state of pressure vessels, storages and equipment of shops of ammonia manufacture (Odessa port plant) and in bridges of pipes of ammonia pipeline (Ukrkhimtransammiak). The technology allows performing 100 % control of structures or their assembly units without failure, evaluating fracture load beforehand (virtually, determine ultimate strength in current state), estimating residual life of structure materials.

Researches in the following directions were performed at Kiev heat power plants (including hot pipelines and boiler drums) in scope of improvement of AE technology of evaluation of state of the structures, i.e. evaluation and consideration of effect of media and high temperatures on results of AE control; improvement of methods for AE source location; development of methods for screening of production interferences; calculation of wave fields in structural elements considering effect of media and temperature, improvement of design of AE transducers and waveguides; increase of reliability of evaluation of current state of materials and prediction of their residual life applicable to specific industrial objects. Accumulated practical experience allows talking about possibility of distribution of developed technology for application on different equipment of power branch.

РАЗРАБОТКИ ИЭС им. Е.О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. *Ю.Н. Посыпайко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В отделе неразрушающего контроля качества сварных соединений ИЭС им. Е.О. Патона на протяжении многих лет, наряду с другими, ведутся разработки методов и средств контроля герметичности, отдел поставляет оборудование и выполняет контроль на объектах заказчика.

DEVELOPMENTS OF THE E.O. PATON ELECTRIC WELDING INSTITUTE IN AREA OF CONTROL OF LEAK-PROOFNESS OF WELDED JOINTS. *Yu.N. Posypayko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Department of non-destructive testing of quality of welded joints of the E.O. Paton Electric Welding Institute carries out, among another, development of methods and means of control of leak-proofness in a course

Первые средства контроля герметичности сварных соединений были созданы в ИЭС им. Е.О. Патона еще в 1950-х годах. Это были переносные накладные вакуумные камеры и механизированные тележки для контроля днищ и стенок сооружаемых резервуаров (ОБ-299, ОБ-599). В дальнейшем камеры совершенствовались, а область их применения расширялась: сварные соединения статора турбогенератора (ОБ-581), многослойных труб (ОБ-1898), траншейных резервуаров (НК-161). Последняя разработка в этом направлении вобрала опыт предыдущих: НК-175 — это комплект накладных вакуумных камер для контроля сварных соединений защитных оболочек, днищ и стенок резервуаров, трубопроводов и других изделий и сооружений. Такой комплект позволяет контролировать листовые конструкции с односторонним доступом к швам.

Были созданы механизированные промышленные установки для контроля листовых заготовок резервуаров на сборочно-сварочном стане (ОБ-2278) и многослойных труб (ОБ-2101, ОБ-2102, НК-128, НК-130). В установке НК-130 применен эффективный способ локального жидкостного бароаквариума.

Другим направлением является разработка лабораторных стендов и промышленных установок для газоаналитических методов контроля (ОБ-981, ОБ-2266, НК-107, НК-108, НК-129, ОБ-2075).

Механизированная установка НК-201 предназначена для контроля герметичности штампосварных радиаторов водяного отопления и может работать в автоматизированной линии сборки и сварки радиаторов. Контроль выполняется способом опрессовки радиаторов и их погружения в жидкостную ванну (способ аквариума), но предусмотрена также возможность подключения манометрических или газоаналитических течеискателей.

of many years. The department delivers equipment and performs testing at customer objects.

First means of control of leak-proofness of welded joint were developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute back in the 1950th. It was portable lay-on vacuum chambers and mechanized trucks for control of bottoms and walls of tanks being constructed (OB-299, OB-599). Later the chambers were improved and area of their application became wider, i.e. welded joints of starter of turbo-generator (OB-581), multilayer pipes (OB-1898), and trench reservoirs (NK-161). The latter development in this direction included experience of previous ones, namely, NK is a set of lay-on vacuum chambers for testing of welded joints of shielding covers, bottoms and wall of tanks, pipelines and other parts and constructions. Such a set allows controlling of sheet structures with one-side access to welds.

Industrial mechanized units were developed for testing of multilayer pipes (OB-2101, OB-2102, NK-128, NK-130) and sheet billets of reservoirs on welding-assembly mill (OB-2278). Efficient method of local liquid baroaquarium was applied in NK-130 unit.

Another direction is a development of laboratory benches and industrial units for gas-analytical methods of testing (OB-981, OB-2266, NK-107, NK-108, NK-129, OB-2075).

NK-201 mechanized unit is designed for testing of leak-proffness of stamp-welded hot-water radiators and it can operate in automated line for assembly and welding of radiators. Control is performed by method of pressure testing of radiators and their immersion in liquid pool (aquarium method), but possibility of connection of manometric and gas-analytical leak detectors is also envisaged.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА. *М.С. Сорокин[1], А.А. Белов[1], В.А. Лебедев[2] ([1]«Эллой-ИТ», Нижний Новгород, Россия; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Компания «Эллой» разработала базовые принципы построения и внедрения системы WeldTelecom, которая предназначена для автоматизации процессов сварочного производства, повышения эффективности контроля за производственной деятельностью, а также для решения задач повышения качества сварочных процессов на предприятиях за счет поддержки сварочного производства в части планирования и распределения ресурсов; возможности дистанционной установки оптимальных настроек сварочного процесса; дистанционного контроля режимов эксплуатации сварочных аппаратов в реальном времени; накопления статистики работы сварочных аппаратов в базе данных с последующим их анализом; контроля производительности и качества труда сварщиков; контроля расхода сварочных материалов и иных ресурсов.

Принцип работы системы. Серверная программа системы совместно с сервером базы данных предприятия работают круглосуточно и принимают все данные о работе сварочных аппаратов. В зависимости от планов работ оборудования и персонала серверная программа формирует и рассылает управляющие команды для сварочных аппаратов. Сеть Wi-Fi роутеров, входящих в состав системы и работающих круглосуточно, обеспечивает беспроводной канал связи со сварочными аппаратами, которые один раз в секунду передают данные о своем режиме работы на сервер системы.

SYSTEM FOR AUTOMATION AND CONTROL OF WELDING PRODUCTION. *M.S. Sorokin[1], A.A. Belov[1], V.A. Lebedev[2] ([1]«Alloy-IT», Nizhni Novgorod, Russia; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Basic principles of designing and implementation of WeldTelecom system was developed by Alloy Company. This system is designed for automation of processes of welding engineering, increase of efficiency of control for production activity as well as for solution of tasks of increase of quality of welding processes at enterprises due to support of welding engineering in field of planning and distribution of resources; possibility of remote adjustment of welding process optimum settings; remote control of modes of operation of welding apparatus in real time; storage of operation statistics of welding apparatus in a data base with their further analysis; control of efficiency and quality of welders' work; control of consumption of consumables and other resources. Below is described a principle of system operation. Server-side code of the system together with database server of the enterprise operates on a twenty-four hour basis and accepts all data about work of welding apparatus. Server-side code forms and distributes control instructions for welding apparatus depending on equipment and personnel operation plan. Wi-Fi router networks, included in the system and operating on twenty-four hour basis, provides wireless network with welding apparatus which transfer data about their mode of operation to system server once per second.

System manager can rely on welder experience and allow regulating mode of welding without limitations, can set tolerances of parameter regulation or forbid welder to force in technological process.

Менеджер системы может положиться на опыт сварщика и позволить регулировать режим сварки без ограничений, может задать допуски регулировки параметров или запретить сварщику вмешиваться в технологический процесс.
Возможности программного комплекса системы WeldTelecom позволяют получить полное представление о работе любого сварочного поста в режиме реального времени.
Система WeldTelecom позволяет формировать следующие отчетные данные: заданные параметры сварочного процесса; время горения дуги и перерывы в работе, расход сварочных материалов; наличие неисправностей оборудования.
Экономическая эффективность системы обусловливается следующими возможностями: оптимизация оплаты труда сварщиков, уменьшение количества брака выпускаемой продукции, повышение производительности работы сварочных постов, уменьшение себестоимости единицы продукции, уменьшение времени на разработку технологических процессов сварки.
Система WeldTelecom постоянно совершенствуется на основе опыта и наработок ученых и специалистов сварочного производства, среди которых флагман сварочной науки и техники — ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины.

Possibilities of program complex of WeldTelecom system allows obtaining complete understanding about work of any welding station in real time mode. WeldTelecom system allows forming following report data, namely, set parameters of welding process; time of arc burning and stops in operation; consumable consumption; presence of equipment failure.
Cost efficiency of the system is provided by next possibilities, i.e. optimizing of payment of welder work, reduction of number of rejects of output products, increase of efficiency of operation of welding stations, reduction of first cost of production, reduction of time for development of welding technological processes. WeldTelecom system is constantly improved based on experience and results of researchers and specialists of welding production, among which are the leader of welding science and technique — the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЭКРАНОВ И ПЗС-КАМЕР. *В.А. Троицкий, Н.Г. Белый, В.Н. Бухенский, С.Р. Михайлов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Наиболее перспективными среди рентгенотелевизионых систем (РТВС) являются РТВС с рентгеновскими экранами и ПЗС-камерами, имеющие ряд преимуществ перед другими РТВС: возможность смены рентгеновского экрана, что позволяет изменять размер рабочего поля и другие параметры РТВС; простота конструкции; низкая стоимость; высокие рентгенотехнические характеристики.
В докладе представлены результаты разработки и исследований такой высокочувствительной цифровой РТВС. В РТВС используются ПЗС-камеры на высокочувствительных матрицах фирмы «Sony» и различные детектирующие устройства со сменными высокоэффективными экранами из материалов CsI(Tl) и Gd_2O_2S(Tb). Размер рабочего поля РТВС может изменяться от 120 до 200 мм. Камеры оснащены светосильными вариообъективами Computar. Отличительной особенностью ПЗС-камер является возможность работы в режиме регулируемой длительности накопления изображений на матрице (количество кадров накопления до 2048), что позволяет повысить качество изображений за счет повышения отношения сигнал/шум, повысить чувствительность контроля и снизить необходимую интенсивность рентгеновского излучения на входе РТВС. В состав РТВС входит портативный компьютер, который используется для управления режимами работы ПЗС-камер, а также для записи, обработки и архивирования рентгенотелевизионных изображений.
Разработанная РТВС в стандартном телевизионном режиме при контроле движущихся объектов обеспечивает относительную чувствительность 1,5 %, а в режиме регулируемой длительности накопления изображений в ПЗС-камере — 1–1,5 %. Использование режима регулируемой длительности накопления изображений в ПЗС-камере позволяет также использовать для просвечивания малогабаритные импульсные рентгеновские аппараты с устранением низкочастотных мерцаний изображений и созданием мобильных РТВС для контроля объектов в полевых усло-

FAST DIGITAL X-RAY-TELEVISION SYSTEM BASED ON X-RAY SCREENS AND CCD-CAMERAS. *V.A. Troitskiy, N.G. Belyi, V.N. Bukhenskiy, S.R. Mikhaylov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine, Ukraine).* X-ray-television systems (XTVS) with X-ray screens and CCD-cameras are the most perspective among XTVS and have series of advantages over other XTVS, i.e. possibility of change of X-ray screen that allows changing dimension of working filed and other parameters of XTVS; simplicity of structure; low price and high X-ray technical characteristics.
The paper presents the results of development and investigation of such a fast digital XTVS. CCD cameras with fast matrices of Sony Company and different detecting devices with changeable high-efficient screens from CsI(Tl) and Cd_2O_2S (Tb) materials are used in XTVS. Dimensions of working field of XTVS can be changed from 120 to 200 mm. The cameras are equipped with fast auto-zoom lens of Computar company. Possibility of operation in mode of regulated duration of image accumulation on the matrix (number of frame accumulation up to 2048) is a distinctive feature of CCD cameras. It allows increasing quality of image due to increase of signal-to-noise ratio, rising testing sensitivity and reducing necessary intensity of x-ray irradiation in XTVS output. XTVS includes laptop computer which is used for control of CCD-camera modes of operation as well as for record, processing and archiving of X-ray-television images. Developed XTVS provides 1.5 % relative sensitivity in standard television mode at testing of moving objects and 1–1.5 % in mode of regulated duration of image accumulation in CCD-camera. Application of mode of regulated duration of image accumulation in CCD-camera allows also using small-sized pulse X-ray apparatus for screening with elimination of low-frequency flickering of images and development of mobile XTVS for testing of objects under field conditions and difficult-to-reach places with 1.8–2 % sensitivity.

виях и труднодоступных местах с чувствительностью 1,8–2 %.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ «УНИВЕРСАЛ-1П», «УНИВЕРСАЛ-2П». *В.А. Троицкий В.А., М.Н.Карманов, В.М. Горбик (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В ИЭС им. Е.О. Патона разработаны, изготовлены и проходят апробацию два диагностических ультразвуковых комплекса с использованием низкочастотных направленных волн для дистанционного обследования коррозионного износа трубопроводов диаметром до 330 и 630 мм, резонансной частотой 36 и 16,3 кГц. Это «Универсал-1П» и «Универсал-2П» соответственно.

Система состоит из следующих блоков:

• акустической антенны;

• блока возбуждения зондирующих импульсов, приема отраженных сигналов и программного управления режимами;

• персонального компьютера для регистрации, обработки и анализа полученной информации о техническом состоянии трубопровода.

Точность измерения расстояний от антенны до выявленных дефектов, сварных соединений, врезок вдоль оси трубы достаточно высокая (в пределах разрешающей способности длинноволнового метода контроля, не хуже 0,3 м).

Обследования открытых участков газопровода Красноперекопского бромзавода (труба диаметром 330 мм, толщина стенки 8 мм) показали потенциальные возможности использования этого метода на расстоянии до 150 м от установленной антенны. Там же проводились обследования подземного участка газопровода, покрытого усиленной противокоррозионной бризольной изоляцией толщиной 9 мм. В этом случае акустические волны практически сразу же затухают.

Достаточно хорошо упругие волны проходят по трубам с пенопластовой, стекловатной теплоизоляцией с последующей гидроизоляцией. Выявлялись участки коррозионных поражений, отверстий врезок.

Нами проводились исследования по выявлению коррозионных поражений подземных участков труб действующей теплотрассы. При гидравлических испытаниях теплотрассы была обнаружена утечка на одном из ее участков. После шурфования на вскрытом трубопроводе была установлена акустическая антенна и выявлен участок коррозионного поражения на расстоянии порядка 6 м с точностью до 30 см. Этот эксперимент показал потенциальные возможности использования длинноволнового метода контроля трубопроводов с высокой степенью коррозионных поражений.

КОМПЛЕКСНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА. *В.А. Троицкий, Ю.Н. Посыпайко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Основной целью комплексного неразрушающего контроля сварных резервуаров большого объема (1000–50000 м^3) для хранения нефтепродуктов, жидкого аммиака, спиртов и других жидкостей является определение их технического состояния, возможности дальнейшей безопасной эксплуатации, сроков последующих обследований, необходимости и объема ремонта.

Комплекс работ по техническому контролю таких хранилищ включает:

DIAGNOSTIC ULTRASONIC COMPLEXES «UNIVERSAL-1P» AND «UNIVERSAL-2P». *V.A. Troitsky, M.N. Karmanov, V.M. Gorbik (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Two diagnostic ultrasonic complexes of resonance frequency 36 and 16.3 kHz using low-frequency guided waves for remote inspection of corrosion wear of 330 and 630 mm diameter pipelines have been developed, manufactured and are in a process of approbation at the E.O. Paton Electric Welding Institute. These are «Universal-1P» and «Universal-2P», respectively.

The system consists of the next blocks:

• acoustic antenna;

• block for excitation of probing pulses, receiving of reflected signals and program control of modes;

• PC for registration, processing and analysis of obtained data on technical state of the pipeline.

Accuracy of measurement of distances from antenna to found defects, welded joints and branch cutting-in along the pipe is sufficiently high (not worse than 0.3 m in the ranges of resolving capacity of long-wave method of testing).

Inspection of open sections of gas pipeline of Krasnoperekopsk bromine plant (pipe of 330 mm diameter, wall thickness 8 mm) showed potential possibilities of application of this method in a distant up to 150 m from set antenna. Examination of underground section of the pipeline covered by reinforced anti-corrosion brisol insulation of 9 mm thickness were also performed. At that, virtually immediate attenuation of acoustic waves is observed.

Elastic waves propagate sufficiently well in pipes with foam and glass wool thermal insulation with further waterproofing. Sections of corrosion damage and holes of branch cutting-in were detected. Investigations on detection of corrosion damages of underground sections of pipes of heat main under operation were carried out. Leakage at one of its sections was found at hydraulic tests. Acoustic antenna was set on opened section of the pipeline after prospecting and area of corrosion damage was detected in distance around 6 m with accuracy up to 30 cm. This experiment showed potential possibilities of application of long-wave method of testing of pipelines with high level of corrosion damages.

COMPLEX NON-DESTRUCTIVE TESTING OF LARGE VOLUME WELDED RESERVOIRS. *V.A. Troitsky, Yu.N. Posypayko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Main purpose of complex non-destructive testing of welded reservoirs of large volume (1000–50000 m^3) used for storage of petroleum products, liquid ammonium, spirits and other liquids is determination of their technical state, possibility of further safe operation, terms of next examinations, necessity and volume of repair. Complex of works on engineering inspection of such storages include:

• visual-optical testing of internal and external surfaces of reservoirs, detection and evaluation of irregularities of deformations of wall and bottom;

• визуально-оптический контроль внутренней и наружной поверхности резервуаров, выявление и оценка неровностей и деформаций стенки и днища;
• неразрушающий контроль сварных соединений и металла стенки различными видами контроля; измерения толщины листов днища, стенки и кровли;
• контроль герметичности сварных соединений днища;
• изучение коррозионного состояния листов днища, стенки и кровли;
• измерение проседания днища путем нивелирования;
• измерение отклонений стенки от вертикали путем ее теодолитной съемки;
• проверку состояния основания, отмостки, несущих конструкций, понтона;
• определение механических характеристик металла на образцах;
• металлографические исследования металла и сварных соединений стенки;
• расчет внутренних механических напряжений в металле стенки;
• анализ технической документации, дефектов и отклонений от нормативов элементов конструкций резервуара;
• составление обоснованного технического заключения.

Нормативной базой комплексного технического контроля резервуаров являются международные и национальные стандарты, технические регламенты и т. д.

При необходимости нами могут быть выполнены работы, выходящие за рамки приведенного перечня, например, тепловой, магнитный и пр.

В ИЭС им. Е.О. Патона накоплен многолетний опыт комплексного неразрушающего контроля резервуаров различного объема и назначения. В последние 20 лет нами выполнен технический контроль около 400 различных резервуаров.

• non-destructive testing of welded joints and wall metal by different types of testing; measurement of thickness of bottom-pans, wall and roof covering;
• testing of leakproofness of bottom welded joints;
• study of corrosion state of bottom-pans, wall and roof covering;
• measurement of bottom sagging by means of leveling;
• measurement of wall deviation from vertical by means of its theodolite survey;
• checking of state of basis, blind area, bearing structures and pontoon;
• determination of mechanical characteristics of metal in specimens;
• metallographic investigations of metal and wall welded joints;
• calculation of internal mechanical stresses in wall metal;
• analysis of specifications, defects and deviations from standards of reservoir structure elements;
• drawing of grounded technical conclusion.

Normative basis for complex engineering testing of reservoirs is international and national standards, technological regulations and etc.

Also we can perform works which are not indicated in this list, for example, heat and magnetic testing, in the case of necessity.

The E.O. Paton Electric Welding Institute has accumulated a long-term experience of complex non-destructive testing of reservoirs of different volume and designation. We have performed technical testing of around 400 different reservoirs during the last 20 years.

МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ. *В.А. Троицкий[1], Ю.Н. Посыпайко[1], Ю.С. Агалиди[2], С.В. Левый[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина).* Метод магнитного контроля, основанный на магнитооптической визуализации магнитограмм, возник в результате развития средств регистрации рельефа магнитного поля на поверхности изделий в зонах повышенных напряжений и приповерхностных дефектов. Создание этого метода позволило расширить возможности оценки качества приповерхностных слоев ферромагнитных изделий, поднять чувствительность, разрешающую способность и достоверность контроля.

Технология магнитооптического контроля включает ряд последовательно выполняемых процессов: возбуждение магнитных полей рассеяния дефектов контролируемого изделия и их запись на магнитный носитель, визуализацию магнитограмм с использованием преобразователей на основе магнитооптического эффекта Фарадея, оценку результатов контроля с использованием алгоритмов принятия решений на основе экспертных оценок.

Результаты экспериментов по магнитооптическому контролю, полученные при высокочастотном подмагничивании и с постоянным подмагничиванием, показывают уверенную визуализацию трещин раскрытием от нескольких до 10 мк. Причем отображается не только геометрическая конфигурация трещин, но и области концентрации внутренних напряжений в точке роста трещины, где нет еще разрыва металла, т. е. потенциально опасные напряженные участки образца.

MAGNETOOPTICAL FLAW DETECTION OF NEAR-SURFACE LAYERS OF FERROMAGNETIC PARTS. *V.A. Troitsky[1], Yu.N. Posypayko[1], Yu.S. Agalidi[2], S.V. Leviy[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine, [2]National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine).* Method of magnetic testing, based on magnetooptical visualization of magnetograms, had appeared as a result of development of means for registration of geometry of magnetic field on the surface of parts in zones of increased stresses and near-surface defects. Development of this method allowed expanding possibility of quality evaluation of surface layers of ferromagnetic parts, increasing sensitivity, resolving capacity and reliability of testing.

Technology of magnetooptical testing includes a series of sequential processes, i.e. excitation of magnetic stray fields of defects of tested part and their record on magnetic carrier, visualization of magnetograms using transducers based on magnetooptical Faraday effect, evaluation of testing results using decision making algorithms based on expert evaluation.

Results of experiments on magnetooptical testing, obtained at high-frequency magnetic bias and with constant magnetic bias, showed reliable visualization of crack opening from several up to 10 μm. At that, geometrical configuration of crack as well as area of internal stress concentration in a point of crack growth, where metal failure is yet absent, i.e. potentially dangerous stressed areas of the specimen, are represented.

Theoretically, opening of found cracks can be at a level of noise of magnetic carrier, i.e. it can achieve micron portions. For the purpose of obtaining of comparative evaluation of sensitivity the experiments were performed on visualization

Теоретически раскрытие обнаруживаемых трещин может быть на уровне шумов магнитного носителя, т. е. может достигать долей микрона.

С целью получения сравнительной оценки чувствительности нами выполнены эксперименты по визуализации поверхностных трещин контрольных образцов визуально-оптическим, капиллярным, магнитопорошковым и магнитооптическим методами.

При магнитооптическом контроле достигнута наиболее высокая чувствительность, наиболее высокое пространственное разрешение и наивысшее соотношение сигнал/шум, что в совокупности обеспечивает более высокую достоверность контроля.

of surface cracks of test specimens using visual-optical, penetrant, magnetic-particle and magnetooptical methods. Magnetooptical testing provided the highest sensitivity, the highest spatial resolution and noise-to-signal ration that in sum promote high testing reliability.

ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ. *В.М. Учанін (Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна).* Зварні з'єднання вимагають особливої уваги під час неруйнівного контролю (НК) конструкцій. Це пов'язано з можливим зниженням матеріалу за рахунок структурних змін в зоні термічного впливу і появою додаткових дефектів зварювання, які можуть суттєво впливати на надійність конструкцій. Методи вихрострумового контролю дозволяють вирішити задачі виявлення дефектів у зварних швах із немагнітних (зокрема, алюмінієвих) сплавів і феромагнітних сталей, а також дати об'єктивну оцінку структурних змін алюмінієвих сплавів на основі безконтактного визначення розподілу питомої електропровідності (ПЕП), яка є структурочутливим параметром. Під час вихрострумового конролю зварних швів виникає ряд проблем, без вирішення яких ефективність методу знижується через неоднорідність ПЕП, наявність валика підсилення або поганий стан поверхні після його видалення, кривизну поверхні (особливо при депланації кромок).

Шляхом розробки селективних вихрострумових перетворювачів (ВСП) подвійного диференціювання вирішена задача вихрострумової дефектоскопії зварних швів із алюмінієвих сплавів, зокрема: виявлення дефектів типу «злипання» в зварних швах із сплаву 1201, виконаних електронно-променевим зварюванням, і виявлення непроварів, оксидних плен і пор в зварних швах із сплаву АМг6, виконаних дуговим зварюванням.

На базі селективних ВСП розроблено багатоканальні автоматизовані системи для вихрострумової дефектоскопії кутових і типу внахлист зварних швів із феромагнітних сталей через шар захисного покриття товщиною до 4 мм і для дефектоскопії торцевих швів із тонкостінних (1 мм) сталевих пластин.

Під час зварювання виробів із термозміцнюваних алюмінієвих сплавів створюються дві ділянки: зона переплаву і зона термічного впливу з ділянками повної або часткової перекристалізації. Вихрострумова структуроскопія дозволяє визначити розміри зони зниження матеріалу конструкції по розподілу ПЕП поперек зварного шва. Контроль побудований на взаємозв'язку механічних характеристик і ПЕП. Зокрема, побудовано кореляційні залежності між ПЕП і твердістю для сплаву 1201. Для точнішого визначення розподілу ПЕП розроблено локальні ВСП абсолютного типу діаметром 1,2 і 0,8 мм.

EDDY-CURRENT TESTING OF WELDED JOINTS. *V.M. Uchanin (H.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine).* Welded joints require special attention during non-destructive testing (NDT) of structures. This is related with possible weakening of material due to structural changes in heat-affected zone and appearance of additional welding defects which can significantly affect structure reliability. Methods of eddy-current testing allow solving tasks of detection of defects in welds from nonmagnetic (in particular, aluminum) alloys and ferromagnetic alloys as well as providing objective estimation of structural changes of aluminum alloys based on contact-free determination of distribution of specific conductance (SC) which is a structure-sensitive parameter. Application of eddy-current testing of welds promotes series of problems without solving of which efficiency of method is reduced due to SC inhomogeniety, presence of reinforcement bead or bad surface quality after its removal and surface curvature (in particular in deplanation of edges).

Problem of eddy-current flaw detection of welds from aluminum alloys, namely, detection of «adhesion» type defects in welds from 1201 alloy made by electron-beam welding, and detection of lacks of penetration, oxide films and pores in welds from AMg-6 alloy made by arc welding is solved by development of selective eddy-current transducers (ECT) of double differentiation.

Multi-channel automated systems based on selective ECT were developed for eddy-current flaw detection of fillet and lapped welds from ferromagnetic steels which is carried out through layer of protective coating of up to 4 mm thickness and for flaw detection of edge welds from thin-wall (1mm) steel plates.

Two areas, i.e. re-melting zone and heat-affected zone with areas of complete and partial re-crystallization, are created in welding of products from thermostrengthened aluminum alloys. Eddy-current structure evaluation allows determining dimensions of zone of structure material weakening on distribution of SC across the weld. The testing is based on relationship of mechanical characteristics and SC. In particular, correlation dependencies between SC and hardness for 1201 alloy are built. Local ECT of absolute diameter type 1.2 and 0.8 mm are developed for more accurate determination of SC distribution.

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ И СЪЕМНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ. *Е.В. Шаповалов, В.А. Коляда (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Наиболее важным фактором функ-

DEVELOPMENT OF UPDUTING DIAGNOSTIC EQUIPMENT FOR MOBILE AND REMOVABLE MEANS OF AUTOMATED TESTING OF GEOMETRY OF RAILWAY TRACK. *E.V. Shapovalov, V.A. Kolyada (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Safe operation is the most important factor of functioning of railway transport. Increase of requirements to speed of

ционирования железнодорожного транспорта является его безопасная эксплуатация. Рост требований к скорости движения подвижного состава требует более качественной диагностики состояния верхнего строения железнодорожного пути, что достигается путем расширения перечня контролируемых параметров и применения современной контрольно-измерительной аппаратуры.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработано ряд подсистем и устройств, предназначенных для автоматизированного контроля геометрических параметров железнодорожного пути с применением средств технического зрения и современной микропроцессорной контрольно-измерительной аппаратуры. Разработаны подсистемы лазерно-телевизионного контроля геометрических параметров стыковых рельсовых соединений звеньевого пути, бесконтактного обнаружения волнообразного износа на поверхности катания рельсов и видеоконтроля состояния промежуточных рельсовых скреплений. Проведены успешные испытания бесконтактных средств измерения геометрических параметров железнодорожного пути в составе действующих путеизмерительных вагонов. Создана путеизмерительная тележка, которая позволяет автоматически обнаруживать существенные неисправности железнодорожного пути непосредственно в процессе измерения. По уровню исполнения, функциональным возможностям и техническим характеристикам тележка соответствует всем современным требованиям, которые предъявляются к данному типу съемной путеизмерительной техники.

Внедрение предложенных технических решений в путевое хозяйство позволит существенно повысить качество диагностики верхнего строения железнодорожного пути при одновременном снижении ее себестоимости.

movement of rolling stock requires more qualitative diagnostic of state of track structure that is achieved by means of expansion of list of controlled parameters and application of current monitoring equipment.

Series of subsystems and devices, designed for automated control of geometry of railway track using means of machine vision and modern microprocessor monitoring apparatus, were developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute. Subsystems of laser-television testing of geometry of butt rail joints of jointed track, contact-free detection of scalloping wear on rail tread and video control of state of intermediate rail brace were created. Successful tests of contact-free means for measurement of geometry parameters of railway track being part of operating track measurement cars were performed. Track measurement truck allowing automatic detection of significant damages of railway track immediately in the process of measurement was developed. The truck corresponds all current requirements which are made to given type of removable track measurement technique on level of performance, functional capabilities and technical characteristics.

Implementation of proposed technical solutions in railway equipment allows significantly increasing quality of diagnostic of railway structure with simultaneous first cost reduction.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ. *Е.В. Шаповалов, Р.М. Галаган, Ф.С. Клищар, В.И. Запара (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Повышение качества точечных сварных соединений является важной задачей, решить которую можно, используя акустико-эмиссионный (АЭ) метод контроля. На сегодня актуальным направлением является разработка специализированных систем АЭ контроля контактной точечной сварки (КТС), а также алгоритмов обработки сигналов АЭ, что позволит оперативно контролировать качество точечного соединения. Для решения данной задачи разработана система, в состав которой входят: датчик тока сварки, приемный датчик ДАЭ-150, модуль усиления, фильтрации и оцифровки сигналов АЭ, а также высокоскоростной цифровой регистратор, созданный на основе микропроцессора BF548. В результате проведенных экспериментов установлено, что после окончания подачи тока сварки возникает дислокационный шум относительно небольшой амплитуды длительностью не более 0,05 с. Этот интервал времени соответствует продолжительности аллотропических и фазовых превращений металла литого ядра. Показано, что спектральные характеристики сигналов АЭ на данном отрезке времени для качественного и некачественного сварных соединений имеют значительные отличия. На основе сигналов АЭ качественно выполненных сварных точек сформировано образцовый частотный шаблон. Для разработки показателя качества КТС предложено использовать метод свертки двух сигналов в частотной области, одним из которых является образцовый шаблон, а другим — спектр сигнала АЭ, полученного при сваривании текущей точки. Применение указанного подхода позволяет оценивать качество КТС по возникновению высокого уровня сигнала на выхо-

EXPERIENCE OF DEVELOPMENT OF ACOUSTIC-EMISSION SYSTEM FOR TESTING OF RESISTANCE SPOT WELDING. *E.V. Shapovalov, R.M. Galagan, F.S. Klishchar, V.I. Zapara (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Increase of quality of spot welds is an important task which can be solved using acoustic-emission (AE) method of testing. Today relevant task is a development of specialized systems of AE testing of resistance spot welding (RSW) as well as algorithms of processing of AE signals that allow on-line testing of quality of spot joint. System consitsting of welding current sensor, receiving sensor DAE-150, modulus of acceleration, filtration and digitization of AE signals as well as high-frequency digital recorder, developed based on BF548 microprocessor was developed for given problem solution. As a result of performed investigations appearance of dislocation noise of relatively small amplitude and of not more than 0.05 s duration is stated after stopping of welding current feed. This time interval corresponds to duration of allotropic and phase transformations of metal of cast nugget. It is shown that spectrum characteristics of AE signal at given period of time for quality and unsound welded joints have significant differences. Reference frequency pattern was formed based on AE signals of quality weld spots. Procedure of folding of two signals in a frequency area, one of which is reference pattern and another is spectrum of AE signal obtained in welding of current spot, is proposed to be used for development of quality index of RSW. Application of specified approach allows evaluating quality of RSW on appearance of high signal level at the output of folding block and analyzed time area (after welding current stop). Appearance of such a peak indicates significant level of statistical connection of reference frequency pattern and spectrum characteristics of AE signals in welding of current spot. Absence of high signal

де блока свертки в анализируемой временной области (после окончания сварочного тока). Появление такого пика свидетельствует о значительной степени статистической связи образцового частотного шаблона и спектральных характеристик сигнала АЭ при сваривании текущей точки. Соответственно отсутствие высокого уровня сигнала указывает на образование некачественного точечного соединения. Одним из направлений дальнейшего развития предложенного подхода является разработка методик оценки размеров литого ядра.

level, respectively, shows formation of unsound spot joint. One of the directions of further development of proposed approach is a working of technique for evaluation of dimensions of cast nugget.

НОВЫЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. *С.А. Щупак, Н.В. Троицкая, Ю.Н. Посыпайко, А.Л. Шекеро (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* На протяжении последних 10 лет в Украине принято более 80 новых стандартов в области неразрушающего контроля (НК). Большинство из них касается НК сварных соединений, причем 90 % — это европейские и международные стандарты, гармонизированные в Украине. Курс на гармонизацию был принят Законом Украины о стандартизации и вступлением Украины во Всемирную торговую организацию (ВТО). Став членом ВТО государство обязано выполнять положения договора о технических барьерах в торговле, а значит, отдавать предпочтение международным стандартам по сравнению с региональными и национальными стандартами.

Гармонизацией международных и европейских стандартов в области НК в Украине занимаются Технические комитеты по стандартизации № 78 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» и № 44 «Сварка и родственные процессы». Разработчиками стандартов выступили ряд организаций: ИЭС им. Е.О. Патона, ТК «Спецмонтаж», Ассоциация «Укрэксперт» и др.

Отметим некоторые наиболее заметные стандарты. В ДСТУ 3491–96 классифицированы и определены дефекты сварных соединений, а ГСТУ 3-036–2003 посвящен выбору методов НК для сосудов, работающих под давлением. Визуальному контролю, который становится наиболее распространенным методом НК, но до последнего времени был мало стандартизирован в Украине, посвящены стандарты ДСТУ EN 13018:2005, ДСТУ EN 13927:2005, ДСТУ ISO 17637:2003, ДСТУ EN 12454:2005, ДСТУ — Н Б А.3.1-11:2008.

Наибольшее количество стандартов определяют требования к радиационному (16 стандартов) и ультразвуковому (20 стандартов) контролю — активно развивающимся направлениям в НК. В частности, в стандарте ДСТУ EN 583-6:2005 установлены требования к новому направлению в ультразвуковом контроле: дифракционно-временному методу выявления и определения размеров несплошностей. Введены в действие стандарты по магнитному (10), капиллярному (7), вихретоковому (5) контролю, по терминологии (8), сертификации персонала (1), по компетентности лабораторий НК (1) и др.

NEW STANDARDS IN AREA OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WELDED JOINTS. *S.A. Shchupak, N.V. Troitskaya, Yu.N. Posypayko, A.L. Shekero (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* More than 80 new standards in area of non-destructive testing (NDT) were accepted in Ukraine in a course of last 10 years. Most of them relate to NDT of welded joints, at that 90 % is European and international standards being harmonized in Ukraine. Direction to harmonization was taken after passing of Law of Ukraine about standardization and harmonization and entrance of Ukraine in the World Trade Organization (WTO). The country joining to members of the WTO should fulfill provisions of agreement on technical barriers in trade, and, therefore, show preference for international standards in comparison with regional and national standards.

Harmonization of international and European standards of NDT area in Ukraine is performed by Technical Committees on standardization No. 78 «Technical diagnostics and nondestructive testing» and No. 44 «Welding and related processes». Series of organizations, i.e. E.O. Paton Electric Welding Institute, TC «Spetsmontazh», «Ukrexpert» association etc. became standard developers.

Several most noticeable standards are outlined below. DSTU 3491–96 classifies and determines defects of welded joints and GSTU 3-036–2003 is devoted to selection of NDT methods for pressure vessels.

DSTU EN 13018:2005, DSTU EN 13927:2005, DSTU ISO 17637:2003, DSTU EN 12454:2005 and DSTU — N B A.3.1-11:2008 are dedicated to visual testing which becomes the most widespread NDT method, but until recently has not been enough standardized in Ukraine.

Most of the standards determine the requirements to radiation (16 standards) and ultrasound (20 standards) testing which are actively developing NDT methods. In particular, standard DSTU EN 583-6:2005 sets the requirements to new direction of ultrasound testing, i.e. time-of-flight diffraction method of detection and determination of discontinuity flaw dimensions. Standards on magnetic (10), penetrant (7), eddy-current (5) testing, on terminology (8), personnel certification (1), competency of NDT laboratories (1) et. al. are implemented.

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ

SURFACE ENGINEERING

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ КОМПОЗИЦИЙ С ПОКРЫТИЯМИ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ. *В.П. Безбородов (Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия).* Важное значение для получения прочных композиций с покрытиями имеют образование между их компонентами прочной адгезионной связи после напыления и обеспечение условий сплавления при последующем оплавлении покрытий. При этом большое влияние на качество формируемых композиций оказывают преобразования в переходной зоне покрытия с основой, вызванные термическими и диффузионными процессами, которые в значительной степени определяют структуру и свойства компонентов и композиций в целом.

Известно, что неблагоприятные остаточные растягивающие напряжения, существенно снижающие прочностные характеристики композиций, могут возникать в покрытиях в процессе формирования из-за сильного различия природы материалов покрытия и основы. Для предотвращения этих негативных явлений, как правило, проводят предварительный подогрев металла основы перед нанесением покрытий, тщательно оптимизируют режимы напыления и оплавления, а также используют термическую обработку — отжиг композиций для снятия остаточных напряжений.

Влиянию режимов оплавления покрытий различными способами на структуру и свойства покрытий из никелевых сплавов уделяется большое внимание авторами многих работ. В то же время слабо исследованы протекающие при оплавлении и термической обработке преобразования структуры в переходной зоне покрытия с основой и прочностные свойства формируемых композиций. В связи с этим одной из основных задач данной работы являлось изучение влияния условий процесса оплавления покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов и последующего отжига на структуру и прочностные свойства композиций с покрытиями. Такие знания позволяют облегчить выбор способа, оптимального режима оплавления и термообработки композиций, состоящих из различного сочетания компонентов: покрытия и металла основы.

Для установления влияния структуры переходной зоны покрытия с основой на прочностные свойства оплавленных и отожженных композиций в работе были проведены металлографические и дюрометрические исследования, микрорентгеноспектральный анализ и прочностные испытания композиций при нагружении растяжением. Для нанесения покрытий использовали порошковые материалы из Ni–Cr–B–Si- и Ni–B–Si-сплавов. Материалами основы служили низко-, средне- и высокоуглеродистые стали. Покрытия наносились аргонно-азотной плазмой, после чего проводилось оплавление. В работе использовались различные способы оплавления покрытий и последующего охлаждения композиций, что обеспечивало разные условия формирования композиций.

Была проведена оценка влияния температуры и длительности оплавления покрытий, а также условий охлаждения на структуру и твердость металла ЗТВ основы из различных сталей, а также прочность получаемых композиций.

MAIN REGULARITIES OF STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF TRANSITION ZONE OF COMPOSITIONS WITH COATINGS AFTER HIGH-TEMPERATURE EFFECT. *V.P. Bezborodov (Institute of strength physics and materials science, SD RAS, Tomsk, Russia).* To produce the strong compositions with coatings it is important to form a strong adhesion between their components after spraying and to provide the conditions of fusion during next fusion of coatings. Here, the transformations in transition zone of coating with base, caused by thermal and diffusion processes, which define to a great extent the structure and properties of components and compositions as a whole, have a large influence on the quality of compositions being formed.

It is known that unfavorable residual tensile stresses, significantly reducing the strength characteristics of compositions can occur in the coatings during the process of formation due to a large difference in nature of materials of coating and base. To prevent these negative phenomena, the preheating is carried out, as a rule, of base metal before coating deposition, the conditions of spraying and fusion are optimized carefully, and also the heat treatment is used: annealing of compositions to relieve the residual stresses.

The authors of numerous works paid a large attention to the effect of conditions of fusion of coatings using different methods on the structure and properties of coatings of nickel alloys. At the same time the transformations of structure in transition zone of coating with base, proceeding in fusion and heat treatment, and strength properties of compositions being formed are little studied. In this connection, one of the main tasks of this work was to study the effect of conditions of the process of fusion of coatings of self-fluxing nickel alloys and subsequent annealing on the structure and strength properties of compositions with coatings. This knowledge allows facilitate the selection of method, optimum condition of fusion and heat treatment of compositions consisting of different combination of components: of coating and base metal.

To find the effect of structure of transition zone of coating with base on strength properties of fused and annealed compositions, the metallographic and durometric examinations, X-ray spectral microanalysis and strength tests of compositions at tensile loading were carried out in the work. To deposit coatings, the powdered materials of Ni–Cr–B–Si- and Ni–B–Si-alloys were used. The base materials were low-, medium- and high-carbon steels. The coatings were deposited by argon-nitrogen plasma, and, then, the fusion was made. Different methods of coating fusion and next cooling of compositions were used in the work, thus providing the different conditions of formation of compositions.

The effect of temperature and duration of fusion of coatings and also the conditions of cooling on structure and hardness of HAZ metal of base of different steels, as well as the strength of compositions, being produced, was evaluated.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ. *Е.В. Бережная (Донбас. гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Повышение технико-экономических показателей почвообрабатывающих машин неразрывно связано с увеличением сроков службы составляющих их деталей, тяжелые условия эксплуатации которых приводят к быстрому исчер-

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF ELECTRIC CONTACT HARD-FACING. *E.V. Berezhnaya (Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* Updating of technical-economic characteristics of cultivating machines is inseparably connected with increase in service life of their parts, the severe service conditions of which lead to a fast exhaustion of the life margin. One of the effective

панию запаса долговечности. Одним из эффективных способов решения этой проблемы является электроконтактная наплавка изношенных поверхностей. Основным условием высокой износостойкости наплавляемой композиции является создание в ней гетерогенной структуры, состоящей из твердых зерен карбида вольфрама (износостойкой оставляющей), равномерно распределенных в пластичной металлической Cu–Mn–Ni матрице. В процессе работы износостойкого наплавленного материала действующие нагрузки замыкаются на WC + W_2C, а металлическая матрица выполняет функцию релаксатора напряжений. Оптимизация технологических параметров процесса электроконтактной наплавки порошковой лентой с матрицей на основе меди на стальную деталь была проведена с учетом физико-химических особенностей взаимодействия компонентов расплавов в ходе формирования наплавленного слоя. Для расплавов меди и железа характерно преимущественное взаимодействие односортных атомов, усиливающееся с понижением температуры. Такой характер взаимодействия компонентов может приводить к неоднородности металла соединения, что отрицательно влияет на работоспособность восстановленных деталей. Проведенный термодинамический анализ стабильных и метастабильных превращений с участием жидкой Cu–Fe фазы показал, что процессом, оказывающим негативное влияние на качество металла соединения, может быть метастабильное расслоение переохлажденных медно-железных расплавов. Для расплавов с x_{Fe} = 0,08–0,75 переохлаждение, необходимое для достижения границ бинодали, не превышает 70 К. В концентрационном интервале x_{Fe} = 0,35–0,65 подобное переохлаждение неизменно приведет к расслоению металла, так как при нем будут достигнуты границы спинодали жидкой фазы. В реальных условиях такое переохлаждение может быть легко достигнуто, что приводит к расслоению расплава. В святи с этим рекомендован концентрационный интервал с предельным содержанием меди в жидком сплаве менее 20 % (мас.), которому должен соответствовать состав металла соединения.

methods for the solution of this problem is the electric contact hard-facing of worn-out surfaces. The basic condition of a high wear resistance of the composition being hard-faced is the creation of a heterogeneous structure in it, consisting of hard grains of tungsten carbide (wear-resistant constituent), uniformly distributed in a plastic metal Cu–Mn–Ni matrix. In the process of operation of wear-resistant deposited material the effective loads are locked against WC + W_2C, and the metallic matrix fulfils the function of stress relaxation. Optimizing the technological parameters of the process of flux-cored strip electric contact hard-facing with a copper-base matrix on steel part was made with account for the physical-chemical peculiarities of interaction of melt components during formation of the deposited layer. The melts of copper and iron are typical of primary interaction of single-class atoms, which is intensified with the temperature decrease. This nature of interaction of components can lead to joint metal heterogeneity, thus negatively influencing the serviceability of the as-restored parts. The carried out thermodynamic analysis of stable and metastable transformations with participation of the liquid Cu–Fe phase showed that a metastable delamination of overcooled copper-iron melts can be the process , negatively influencing the joint metal quality. For melts with x_{Fe} = 0.08–0.75 the overcooling, required for reaching the limits of binodal, does not exceed 70 K. In a concentration interval of x_{Fe} = 0.35–0.65 the similar overcooling will undoubtedly lead to the metal delamination, as here the limits of liquid phase spinodal will be reached. Under the real conditions, this overcooling can be easily attained, thus leading to the melt delamination. In this connection the concentration interval with limiting content of copper in molten alloy of less than 20 mass %, to which the composition of joint metal should correspond, is recommended.

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ КП Fe–Cr–SiC, ПОЛУЧЕННОГО МХС. *Ю.С. Борисов, Е.А. Астахов, З.Г. Ипатова, К.В. Янцевич, А.И. Кильдий (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина)*. Одним из приоритетных направлений ГТН покрытий является создание материалов с использованием композиционных порошков (КП), состоящих из ферросплавов титана, хрома, ниобия, молибдена с добавлением карбида или борида кремния, имеющих уникальное сочетание физико-химических свойств, таких как твердость, износостойкость, коррозионная стойкость.

В ИЭС им. Е.О. Патона были проведены исследования коррозионной стойкости детонационных покрытий из КП систем «ферросплав–карбид кремния», полученных спеканием. Покрытия наносили на установке «ПЕРУН-С» с применением кислород-пропан-бутановой смеси. Электрохимические испытания проводили на потенциостате П-5627М со скоростью развертки 20 мВ/с. Стационарные потенциалы измеряли относительно хлор-серебряного электрода сравнения. Коррозионные испытания покрытий показали улучшение их коррозионной стойкости в агрессивных средах по сравнению с хромированной углеродистой сталью.

Более существенно повысить коррозионную стойкость данных систем удалось за счет формирования покрытий из КП, полученных механохимическим синтезом (МХС). Анализ результатов электрохимических испытаний по-

IMPROVEMENT OF CORROSION RESISTANCE OF DETONATION COATING OF Fe–Cr–SiC COMPOSITE POWDERS, PRODUCED BY MECHANICAL-CHEMICAL SYNTHESIS. *Yu.S. Borisov, E.A. Astakhov, Z.G. Ipatova, K.V. Yantsevich, A.I. Kildiy (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine)*. One of priority directions of GTS of coatings is the development of materials using composite powders (CP), consisting of ferroalloys of titanium, chromium, niobium, molybdenum with addition of carbide or silicon boride, having a unique combination of physical and chemical properties, such as hardness, wear resistance, corrosion resistance.

At the E.O. Paton Electric Welding Institute the investigations of corrosion resistance of detonation coatings of CP of «ferroalloy-silicon carbide» systems, produced by sintering, were carried out. The coating were deposited in «PERUN-S» with application of oxygen-propane-butane mixture. Electrochemical tests were performed in potentiostat P-5627 M at the rate of scanning of 20 mV/s. Stationary potentials were measured relatively to silver-chlorine electrode for comparison. The corrosion tests of coatings showed the improvement of their corrosion resistance in aggressive media as compared to chrome-plated carbon steel.

It was possible to increase the corrosion resistance more significantly due to formation of coatings of CP, produced by mechanical-chemical synthesis (MCS). The analysis of results of electrochemical tests of coating of CP of Fe–Cr–SiC system, produced by MCS, showed the increase in its

крытия из КП системы Fe–Cr–SiC, полученного МХС, показал увеличение его коррозионной стойкости по отношению к таковой для покрытия из спеченного порошка в синтетической морской воде в 12,5 раза, а в 10 %-м растворе серной кислоты в 5,25 раза. Объяснение этому можно найти, сравнивая структуры, фазовые составы и размерность фазовых составляющих в напыляемых покрытиях. Практически при одинаковых фазовых составах последние резко отличаются размерностью фазовых составляющих. Так, при использовании КП, полученных МХС, наблюдается смещение размерности структуры покрытий из области мелкокристаллической (20–50 мкм) в нанокристаллическую (около 100 нм).

corrosion resistance as compared to that for coatings of sintered powder in synthetic sea water by 12.5 times, and in 10 % solution of sulfuric acid — by 5.25 times. This can be explained by comparing the structure, phase compositions and dimension of phase constituents in the sprayed coatings. Almost at similar phase compositions the latter are greatly differed by dimension of phase constituents. Thus, when using CP, produced by MCS, the shifting of dimension of structure of coatings from the region of fine-crystalline (20–50 μm) to nanocrystalline (about 100 nm) one is observed.

МИКРОПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ ТИТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ. *Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович, А.Н. Кислица, Е.К. Кузьмич-Янчук (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Успехи, достигнутые имплантологией в последнее время, в значительной степени связаны с массовым применением имплантатов с функциональными биомедицинскими покрытиями. С точки зрения повышения биосовместимости и ускорения процесса остеоинтеграции имплантатов имеет значение не только состав покрытия, но и морфология его поверхности, величина пористости и размер пор.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработаны метод и оборудование микроплазменного напыления (МПН) биосовместимого Ti-покрытия с использованием проволоки. По сравнению с традиционным проволочным напылением этот метод позволяет снизить потери напыляемого материала при нанесении покрытий на малоразмерные изделия благодаря малому (1–5 мм) размеру пятна напыления.

В качестве материала для нанесения биосовместимых пористых Ti-покрытий использовалась титановая проволока сплошного сечения диаметром 0,3 мм марки ВТ1-00. Для напыления Ti-покрытий использовали установку микроплазменного напыления МПН-004, оснащенную устройством для напыления покрытий из проволок. Установлена степень влияния основных факторов микроплазменного напыления (силы тока, расхода плазмообразующего газа, дистанции напыления, скорости подачи проволоки) на процесс диспергирования Ti-проволоки, структуру и свойства Ti-покрытий. Определены условия формирования биосовместимых Ti-покрытий с развитой морфологией поверхности с пористостью до 31,0 % и величиной пор 150–250 мкм при микроплазменном проволочном напылении. Измерение прочности сцепления полученных микроплазменных Ti-покрытий показало, что при испытаниях на отрыв она составляет 31–38 МПа (при толщине 300–500 мкм), на сдвиг — 26–29 МПа, что удовлетворяет требованиям ISO 13779-2 на покрытия для эндопротезов.

На основе результатов проведенных исследований разработана технология микроплазменного проволочного напыления биосовместимых пористых Ti-покрытий на компоненты эндопротеза тазобедренного сустава системы «ИТО-МОТОР-СИЧ».

MICROPLASMA SPRAYING OF BIOCOMPATIBLE TITANIUM COATINGS. *Yu.S. Borisov, S.G. Voynarovich, A.N. Kislitsa, E.K. Kuzmich-Yanchuk (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Achievements, attained by the implantology over the recent years, are connected to a large extent with a mass application of implants with functional biomedical coatings. From the point of view of increasing the biocompatibility and acceleration of the process of osteointegration of implants not only the coating composition is of importance, but also morphology of its surface, value of porosity and size of pores.

At the E.O. Paton Electric Welding Institute the method and equipment have been developed for microplasma spraying (MPS) of biocompatible Ti-coating using a wire. As compared to the traditional wire spraying, this method allows decreasing the losses of material being sprayed during coating deposition on small-sized products due to a small (1–5 mm) size of a spraying spot.

As a material for spraying the biocompatible porous Ti-coatings, the titanium solid wire of 0.3 mm diameter of VT1-0 grade was used. For spraying of the Ti-coatings, the MPN-004 type installation for microplasma spraying, equipped with a device for coatings spraying from wire, was used. The degree of effect of main factors of macroplasma spraying (current value, consumption of plasma-forming gas, distances of spraying, speeds of wire feeding) on the process of Ti-wire dispersion, structure and properties of Ti-coatings was established. Conditions of formation of biocompatible Ti-coatings with a developed morphology of surface with porosity of up to 31.0 % and value of pores of 150–250 μm were defined in microplasma wire spraying. Measurement of adhesion strength of produced microplasma Ti-coatings showed that at rupture tests it is equal to 31–38 MPa (at 300–500 μm thickness), at shear tests — 26–29 MPa, that meets the requirements of ISO 13779-2 to coatings for endo-prostheses. Basing on the results of carried out investigations, the technology of microplasma wire spraying of biocompatible porous Ti-coatings on components of endo-prosthesis of hip joint of «ITO-MOTOR-SICH» system has been developed.

ЭЛЕКТРОДУГОВОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ С ПСЕВДОСПЛАВНОЙ СТРУКТУРОЙ. *Ю.С. Борисов, И.А. Демьянов, Н.В. Вигилянская (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Покрытия с псевдосплавной структурой относятся к отдельному виду композиционных покрытий, которые состоят из материалов, практически или совсем не взаимодействующих между собой (отличаются по температуре плавления, не сплавляются между собой). Электродуговая ме-

ELECTRIC ARC SPRAYING OF COATINGS WITH A PSEUDOALLOY STRUCTURE. *Yu.S. Borisov, I.A. Demyanov, N.V. Vigilyanskaya (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Coatings with pseudo-alloy structure refer to a separate type of composite coatings, which consist of materials, which little or almost not interact between themselves (differed in temperature of melting, not fused between themselves). The electric arc metallization allows deposition of coatings with a pseudoal-

таллизация позволяет наносить покрытия с псевдосплавной структурой, которая формируется за счет распыления разнородных проволок. В ИЭС им. Е.О. Патона электродуговым напылением получены псевдосплавные покрытия на основе меди, которые обеспечивают увеличение износостойкости без существенного изменения теплопроводности. Покрытия состоят из равномерно распределенных по объему слоя структурных составляющих, одной из которых является медь, а второй — упрочняющий компонент: NiCr, Mo, Ti, FeB. Общая твердость покрытий составляет для Cu–NiCr — 1,85, Cu–Mo — 1,89, Cu–Ti — 2,75, Cu–FeB — 7 ГПа. По оценке теплопроводности покрытие Cu–Mo имеет λ около 70 % λ_{Cu}, в случае Cu–NiCr и Cu–Ti — это около 50 % λ_{Cu}. Стойкость данных покрытий к абразивному изнашиванию при комнатной температуре по результатам проведенных испытаний превышает чистую медь в 1,5–3 раза. Покрытие Cu–NiCr превышает свойства меди по твердости при температуре 400 °С в 3 раза.

Одновременным распылением разнородных проволок получены псевдосплавные покрытия NiCr–БрАж твердостью 2,5 ГПа, NiCr–Св08Х19Н10М3Б твердостью 3,5 ГПа и покрытия на основе сочетания порошковых проволок с цельнотянутой проволокой нихрома: NiCr–ПП-Нп30Х4В2М2ФС твердостью 4 ГПа, NiCr + ПП-FeMo–SiC твердостью 5 ГПа.

Установлено, что износостойкость покрытий Cu–NiCr, Cu–Mo, Cu–FeB и NiCr–Св08Х19Н10М3Б при нагреве до 300–350 °С превышает в этих условиях стойкость чистой меди в 5; 1,1; 22 и 155 раз, соответственно.

Применение данных покрытий является перспективным для защиты деталей и конструкции в различных отраслях промышленности, в том числе для повышения стойкости медных кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок.

loy structure, which is formed by spraying of dissimilar wires. At the E.O. Paton Electric Welding Institute the electric arc spraying was used to produce the pseudoalloy coatings on copper base, which provide the increase in wear resistance without significant change of heat conductivity. The coatings consist of structural components, uniformly distributed in layer volume, one of which is copper, the second one is hardening component: NiCr, Mo,Ti, FeB. Total hardness of coatings for Cu–NiCr–1.85 is Cu–Mo–1.89, Cu–Ti–2.75, Cu–FeB–7 GPa. From the estimate of heat conductivity the coating Cu–Mo has λ of about 70 % λ_{Cu}, in case of Cu–NiCr and Cu–Ti it is about 50 % λ_{Cu}, From the test results the resistance of these coatings against abrasive wear at room temperature exceeds that of the pure copper by 1.5–3.0 times. Coating Cu–NiCr 3 times exceeds the properties of copper in hardness at temperature 400 °C.

Simultaneous spraying of dissimilar wires provided producing pseudoalloy coatings NiCr–BrAzh of 2.5 GPa hardness, NiCr–Sv08Kh19N10M3B coatings of 3.5 GPa hardness and coating on the base of combination of flux-cored wires with solid-drawn wire of nichrome: NiCr-PP-Np30Kh4B2M2FS of 4 GPa hardness, NiCr + PP-FeMo–SiC of 5 GPa hardness. It was found that the wear resistance of coatings Cu–NiCr, Cu–Mo, Cu–FeB and NiCr–Sv08Kh19N10M3B at heating up to 300–350 °C exceeds under these conditions the resistance of pure copper by 5, 1.1, 22 and 153 times, respectively. The application of these coatings is promising for protection of parts and structures in various branches of industry, including the increase in service life of copper moulds of machines for continuous casting of billets.

МАГНЕТРОННОЕ НАНЕСЕНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ nc-TiC/a-C ПОКРЫТИЙ. *Ю.С. Борисов[1], М.В. Кузнецов[1], А.В. Волос[1], В.Г. Задоя[1], В.В. Стрельчук[2], В.П. Кладко[2], В.Ф. Горбань[3]. ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т физики полупроводников им. В.В. Лошкарева, Киев, Украина; [3]Ин-т проблем материаловедения им. И.М. Францевича, Киев, Украина).* Одной из текущих задач инженерии поверхности является разработка составов и технологии осаждения сверхтвердых нанокомпозитных покрытий.

Для осаждения TiC/C покрытий использовалась система из двух магнетронных распылительных устройств с титановой и графитовой мишенью. Исследованы условия получения TiC/C покрытий с регулируемым содержанием углерода, изменяемым от 42 до 70 ат. %. Показано, что при содержании углерода в пределах 42–54 ат. % покрытие состоит из наноразмерных кристаллов TiC, внедренных в матрицу аморфного углерода. Размеры зерна TiC уменьшаются от 5,3–10,2 до 2,9–4,3 нм с увеличением содержания углерода в покрытии от 42 до 54 ат. %.

Изучено влияние карбидных подслоев на свойства. В частности, при использовании подслоя WC–6Co толщиной 40–50 мкм, нанесенного на подложку из стали 40Х детонационным напылением, в случае покрытия nc-TiC/a-C толщиной 2,8–3,1 мкм, была получена наивысшая твердость до 38 ГПа при модуле упругости 45 ГПа.

MAGNETRON SPUTTERING OF SUPER-HARD NANOCOMPOSITE nc-TiC/a-C COATINGS. *Yu.S. Borisov[1], M.V. Kuznetsov[1], A.V. Volos[1], V.G. Zadoya[1], V.V. Strelchuk[2], V.P. Kladko[2], V.F. Gorban[3] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Kiev, Ukraine; [3]I.M. Frantsevich Institute of Problems of Materials Science, Kiev, Ukraine).* One of the current problems of the surface engineering is the development of compositions and technology of deposition of super-hard nanocomposite coatings.

To deposit TiC/C coatings the system of two magnetron sputtering devices with a titanium and graphite target was used. The conditions were investigated for producing TiC/C coatings with a controllable content of carbon, changed from 42 up to 70 at.%. It is shown that at carbon content in the ranges of 42–54 at.% the coating consists of nanodimensional crystals of TiC, embedded into matrix of amorphous carbon. Sizes of TiC grain are decreased from 5.3–10.2 to 2.9–4.3 nm with increase in carbon content in coating from 42 up to 54 at.%.

The effect of carbide sublayers on properties was studied, in particular, when applying the sublayer WC–6Co of 40–50 μm thickness, deposited on substrate of steel 40X by detonation coating, the highest hardness of up to 38GPa at elasticity modulus of 45GPa was obtained in case of coating nc-TiC/a-C of 2.8–3.1 μm thickness.

МАГНЕТРОННОЕ НАНЕСЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТНОГО CN_x ПОКРЫТИЯ. *Ю.С. Борисов[1], М.В. Кузнецов[1], А.В. Волос[1], В.Г. Задоя[1], В.В. Стрельчук[2], В.П. Кладко[2], В.Ф. Горбань[3] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т физики полупроводников им. В.В. Лошкарева, Киев, Украина; [3]Ин-т проблем материаловедения им. И.М. Францевича, Киев, Украина).* Одной из текущих задач инженерии поверхности является разработка технологии осаждения нанокомпозитного покрытия CN_x.

Для осаждения CN_x-покрытия использовалась система из двух магнетронных устройств с титановой и графитовой мишенью. Осаждение покрытия CN_x проводилось в смеси газов Ar/N_2. Исследованы условия получения CN_x-покрытия в смеси газов Ar/N_2 при давлении p = 0,35, 1, 2 Па и температуре образца T = 100–200 °С. Показано, что наиболее износостойкие покрытия CN_x получены при p = 0,35 Па, T = 130 °С, % Q_N = 40 и 58 %. Изучены механические характеристики покрытия CN_x. Показано, что положительные результаты испытаний на износостойкость хорошо согласуются с высокими значениями нормированной твердости H/E^* = 0,131, процента упругой деформации εes = 4,03 % и процента упругого восстановления R = 87,3 %. Исследование структуры покрытия показало, что покрытия имеют аморфную разупорядоченную графитоподобную структуру с sp- , sp- и sp1-электронными связями углерода. Наиболее упорядоченная структура у износостойких покрытий CN_x (наименьшая величина I_D/I_G = 1,16 и 1,2), полученных при p = 0,35 Па, T = = 130 °С, % Q_N = 40 и 58 %.

Изучено влияние подслоя титана и переходного слоя TiCN на адгезионные свойства. При использовании подслоя титана и переходного слоя TiCN увеличивается адгезия покрытия к подложкам из титана и стали Х18Н10Т.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ С НАПЫЛЯЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ. *Ю.С. Борисов, А.П. Мурашов, А.П. Грищенко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* При нанесении покрытий плазменной струей в открытой атмосфере на формирование покрытия влияет подмешивание в струю газов окружающей среды. Это приводит к загрязнению покрытия, обусловленного протеканием неконтролируемых реакций напыляемого материала и напыляемого слоя с активными компонентами окружающей среды. Кроме того, такое взаимодействие напыляемого потока с окружающей средой приводит к его охлаждению, что ведет к уменьшению КПД процесса.

Одним из решений проблемы защиты напыляемого материала от воздействия внешней среды является использование насадки местной защиты. От формы насадки, ее размеров, расхода защитного газа зависит эффективность защиты. Неправильный выбор выше перечисленных параметров приводит к возникновению в насадке на внутренних поверхностях наплывов напыляемого порошка и, как следствие, образованию дефектов в покрытии.

Цель работы заключалась в определении конструкции, формы, размеров специальной защитной насадки, расхода защитного газа и исследование влияния этих параметров на процесс напыления покрытий, в частности, оценка возможности снижения мощности плазмотрона, необходимой для получения покрытия с высокой прочностью сцепления и плотностью.

Применение разработанной защитной насадки позволило увеличить среднюю скорость напыляемых частиц на 25 %

MAGNETRON SPUTTERING OF NANOCOMPOSITE CN_x COATING. *Yu.S. Borisov[1], M.V. Kuznetsov[1], A.V. Volos[1], V.G. Zadoya[1], V.V. Strelchuk[2], V.P. Kladko[2], V.F. Gorban[3] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Kiev, Ukraine; [3]I.M. Frantsevich Institute of Problems of Materials Science, Kiev, Ukraine).* One of the current problems of the surface engineering is the development of compositions and technology of deposition of super-hard nanocomposite coating CN_x.

To deposit CN_x coating the system of two magnetron sputtering devices with a titanium and graphite target was used. Deposition of CN_x coating was performed in mixtures of Ar/N_2 gases. Conditions of producing CN_x-coating in mixtures of Ar/N_2 gases at pressure p = 0.35, 1, 2 Pa and specimen temperature T = 100–200 °C were investigated. It is shown that the most wear-resistant coatings CN_x were produced at p = 0.35 Pa, T = 130 °C, % Q_N = 40 and 58 %. Mechanical characteristics of coating CN_x were studied. It was shown that the positive results of wear resistance tests are well correlated with high values of standardized hardness H/E^* = 0.131, percent of elastic deformation εes = 4.03 % and percent of elastic recovery R = 87.3 %. The examination of coating structure showed that the coatings have an amorphous disordered graphite-like structure with sp-, sp- and sp1-electron bonds of carbon. The most ordered structure is typical of wear-resistant coatings CN_x (the least value I_D/I_G = 1.16 and 1.2), obtained at p = 0.35 Pa, T = 130 °C, % Q_N = 40 and 58 %.

The effect of titanium sublayer and transition layer TiCN on adhesion properties was studied. When applying the titanium sublayer and transition layer TiCN, the adhesion of coating to substrates of titanium and steel Kh18N10T is increased.

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF EFFECTIVENESS OF SYSTEM OF SHIELDING THE PLASMA JET WITH SPRAYED MATERIAL FROM INTERACTION WITH ENVIRONMENT. *Yu.S. Borisov, A.P. Murashov, A.P. Grishchenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* When coating is sprayed by plasma jet in open atmosphere, the entry of environmental gases into the jet influences the coating formation. This leads to the coating contamination, caused by proceeding of uncontrollable reactions of material, being sprayed, and layer, being sprayed, with active components of the environment. Moreover, this interaction of spraying flow with environment leads to its cooling, thus resulting in decrease of the process efficiency factor.

One of the solutions of problem of protection of material being sprayed from the environment effect is an application of a local protection nozzle. The protection efficiency depends on the nozzle shape, its size, consumption of the shielding gas. The improper selection of the above-listed parameters leads to the appearance of overlaps of powder, being sprayed, on the nozzle inner surfaces, and as consequence, the formation of defects in the coating.

The aim of the work was to define the design, shape, sizes of a special protective nozzle, consumption of shielding gas and to investigate the effect of these parameters on the process of coating spraying, in particular, evaluation of possibilities of decrease in plasmatron power required for producing coatings with a high adhesion strength and density.

Application of the designed protective nozzle allowed increasing the average rate of particles being sprayed by 25 % (from 95 up to 120 m/s), improving the particles warm-up, decreasing the required specific power of spraying process

(с 95 до 120 м/с), улучшить прогрев частиц, снизить необходимую удельную энергию процесса напыления на 20 % за счет увеличения высокотемпературной зоны плазменной струи. Покрытия, полученные с применением насадки, содержат на 10 % меньше оксидов (5 и 4,5 % соответственно), пористость снижается в 4 раза (с 0,4 до 0,1 %), прочность сцепления с подложкой повышается на 20 % (с 30±3,3 до 36±2,8 МПа).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГРАДИЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ. *Ю.С. Борисов, А.П. Мурашов, А.П. Грищенко, Н.В. Вигилянская (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Одним из путей повышения такого служебного свойства теплозащитных покрытий (ТЗП), как термостойкость, является использование градиентности структуры ТЗП. Цель применения градиентности состоит в снижении напряжений в покрытии, вызванных разницей коэффициентов термического расширения основы металлического подслоя и керамического теплозащитного слоя.

Данная работа посвящена исследованию влияния структуры и состава градиентных плазменных покрытий на их термостойкость. В качестве металлической составляющей использовали сплав NiCrAlY, имеющий высокую жаростойкость. В качестве керамического слоя использовали диоксид циркония ZrO_2, стабилизированный оксидом иттрия Y_2O_3. Градиентные покрытия получали напылением пятислойных ТЗП с изменением соотношения металла и керамики в слоях от металлического подслоя к внешнему керамическому слою (100, 75/25, 50/50, 25/75, 100). Для сравнения испытывали двуслойные покрытия системы NiCrAlY–ZrO_2. Для оценки термостойкости использовали методику прямого нагрева поверхности образца пламенем газовой горелки со стороны покрытия в течение 5 с с последующим охлаждением струей воздуха в течение 30 с.

Результаты исследования стойкости к тепловому удару двойных покрытий и градиентных показали, что градиентные покрытия имеют большую стойкость к термоудару, чем двойные в 2 раза (градиентные покрытия более 4000 циклов, двуслойные 2000 циклов).

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОРОШКИ ДЛЯ ГТН Fe–Cr–SiC, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МХС. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА. *Ю.С. Борисов, В.Л. Рупчев, А.Н. Бурлаченко, А.Л. Борисова, Л.И. Адеева, А.Ю. Туник (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Представлены структура и свойства композиционных порошков Fe–Cr–SiC для газотермического нанесения покрытий, полученные методом механохимического синтеза (МХС). На основе термодинамического анализа возможных реакций железа и хрома с карбидом кремния выбраны составы, отличающиеся наиболее высокой экзотермической активностью, а именно реакции Cr и SiC с образованием карбида хрома $Cr_{23}C_6$ и силицида Cr_5Si_3, для которой ΔH = −109,13 кДж/моль и железа с карбидом кремния с образованием Fe_3Si и C, для которого ΔH = = −27,98 кДж/моль.

На основании этих данных рассчитан состав смеси (мас. %): 40,5Fe–45Cr–14,5SiC. Исследование процесса получения композиционных порошков проводили в планетарной мельнице «Активатор-2SL» на воздухе при скорости вращения барабанов 1500 об/мин при соотношении массы шаров к массе шихты 10:1 в течение 0,5–5 ч. Было установлено, что при времени обработки 0,5–1,5 ч происходит образование твердого раствора Fe–Cr, в котором равномерно распределены частицы SiC. Микротвердость

by 20 % due to increase of the high-temperature zone of the plasma jet. Coatings, produced by use of the nozzle, have a lower content of oxides by 10 % (5 and 4.5 %, respectively), porosity is 4 times decreased (from 0.4 to 0.1 %), the strength of adhesion with substrate is increased by 20 % (from 30±3.3 up to 36±2.8 MPa).

INVESTIGATION OF HEAT-PROTECTIVE PROPERTIES OF GRADIENT COATINGS. *Yu.S. Borisov, A.P. Murashov, A.P. Grishchenko, N.V. Vigilyanskaya (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* One of the ways for improving such service property of heat-protective coating (HPC), as thermal resistance, is the application of gradient properties of HPC structure. The aim of application of gradient parameter is to decrease the stresses in the coating, caused by their difference in coefficients of thermal expansion of metal sublayer base and ceramic heat-protective layer.

The present work is devoted to the investigation of effect of structure and composition of gradient plasma coatings on their thermal resistance, As a metallic component, the alloy NiCrAlY was used, having a high temperature resistance. As a ceramic layer, the zirconium dioxide ZrO_2, stabilized with yttrium oxide Y_2O_3, was used. Gradient coatings were produced by spraying of five-layer HPC with change in ratio of metal and ceramics in layers from a metallic sublayer to external ceramic layer (100, 75/25, 50/50, 25/75, 100).For comparison, the double-layer coatings of NiCrAlY–ZrO_2 system were tested. To evaluate the thermal resistance, the procedure of direct heating of specimen surface by the flame of gas torch was used on the side of coating for 5 s with next cooling by air jet for 30 s.

Results of investigation of resistance to heat shock of double coatings and gradient ones showed that the gradient coatings have the 2 times higher resistance to heat shock than the double ones (the gradient coatings at more than 4000 cycles, the double ones — 2000 cycles).

COMPOSITE POWDERS Fe–Cr–SiC FOR THERMAL SPRAYING, PRODUCED BY MChS. STRUCTURE AND PROPERTIES. *Yu.S. Borisov, V.L. Rupchev, A.N. Burlachenko, A.L. Borisova, L.I. Adeeva, A.Yu. Tunik (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Presented are the structure and properties of composite powders Fe–Cr–SiC for gas thermal spraying of coating, produced by mechanical-chemical synthesis (MChS). Basing on the thermodynamic analysis of possible reactions of iron and chromium with silicon carbide, the compositions were selected, characterized by the highest exothermal activity, namely reaction of Cr and SiC with the formation of chromium carbide $Cr_{23}C_6$ and silicide Cr_5Si_3, for which ΔH = = −109.13 kJ/mole and iron with silicon carbide with formation of Fe_3Si and C, for which ΔH = −27.98 kJ/mole.

On the basis of these data, the composition of mixture (mass %): 40.5Fe–45Cr–14.5SiC was calculated. The investigation of the process of producing the composite powders were performed in a planetary mill «Activator-2SL» in air at the 1500 rpm speed of rotation of drums at ratio of balls mass to charge mass as 10:1 for 0.5–5.0 h. It was found that at 0.5–1.5 h time of treatment the solid solution Fe–Cr is formed, in which the SiC particles are uniformly distributed. Mircohardness of composite particles is increased from 6.6 up to 10 GPa in treatment from 0.5 up to 1.5 h. With increase

композиционных частиц возрастает от 6,6 до 10 ГПа при обработке от 0,5 до 1,5 ч. При увеличении времени обработки до 5 ч происходит взаимодействие SiC с феррохромом с образованием карбидных [$Cr_{23}C_6$, $(Fe–Cr)_7C_3$] и силицидных фаз хрома ($CrSi_2$), а также железа (Fe_3Si, $FeSi_2$). Микротвердость частиц при максимальном времени обработки достигает значения 10,6 ГПа. При металлографическом и микродюрометрическом анализе (построение вариационных кривых микротвердости) было установлено, что частицы композиционного порошка Fe–Cr–SiC имеют мелкодисперсную структуру и состоят из феррохрома-силицидной матрицы ($H\mu$ = 8,75 ГПа), в которой равномерно распределены дисперсные частицы карбидов [$Cr_{23}C_6$, $(Fe–Cr)_7C_3$, $H\mu$ = −11,4 ГПа].

Исследование фракционного состава порошковой смеси показало, что он содержит около 30 % частиц размером около 40 мкм.

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ AlCuFe, СОДЕРЖАЩЕГО КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ ФАЗУ. *А.Л. Борисова, А.Н. Бурлаченко, А.П. Грищенко, З.Г. Ипатова, Т.В. Цымбалистая, К.В. Янцевич (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Представлены результаты исследования теплозащитных и коррозионных свойств плазменных покрытий из порошков AlCuFe и AlCuFeTiCrSi-сплавов, нанесенных на образцы из жаропрочного алюминиевого сплава Д16, который применяют для изготовления поршней и других деталей ДВС.

В качестве напыляемого материала использовали порошки, полученные методом механо-химического синтеза (МХС) и распылением расплава водой высокого давления. Покрытия наносили дозвуковым и сверхзвуковым плазменными методами напыления.

Теплозащитные свойства покрытий исследовали на специально изготовленном стенде с использованием прямого нагрева струей пламени газовой горелки ГН-2. В качестве горючей смеси применяли смесь C_3H_8 и O_2. Максимальная температура нагрева составляла 400 °С, что соответствовало рабочей температуре деталей поршневой группы ДВС, изготовляемых из алюминиевых сплавов.

Наиболее существенное влияние на эффективность тепловой защиты — снижение уровня максимальной температуры образца по сравнению с образцом без покрытия — оказывает содержание квазикристаллической ψ-фазы (ΔT достигает от 100 до 140 °С), толщина покрытия (так, при толщине 200 мкм снижение T_{max} составляет около 50 °С, при 500 мкм около 25 °С, при 900 мкм около 15 °С на 100 мкм толщины), метод получения порошка.

Коррозионным испытаниям были подвергнуты те же покрытия в морской воде и смеси (морская вода + 10 % Na_2SO_4 (1:1)). Электрохимическое поведение и коррозионную стойкость газотермических покрытий исследовали потенциостатическим методом с использованием специально сконструированной прижимной ячейки. Для всех покрытий наблюдается высокая коррозионная стойкость в испытуемых растворах, хотя для морской воды она несколько хуже, чем для смеси морская вода и 10 % Na_2SO_4.

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ЧАСТИЦ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ ТОКОВЕДУЩЕЙ ПРОВОЛОКОЙ. *О.Г. Быковский, А.Н. Лаптева (Запорожский нац. техн. ун-т, Запорожье, Украина).* Прочностные и специальные свойства на-

of time of treatment up to 5 h the further interaction of SiC with ferrochrome is occurred with the formation of carbide [$Cr_{23}C_6$, $(Fe–Cr)_7C_3$] and silicide phases of chromium ($CrSi_2$), as well as of iron (Fe_3Si, $FeSi_2$). Microhardness of particles at maximum time of treatment reaches the value of 10.6 GPa. It was found during metallographic and microdurometric analysis (plotting of variation curves of microhardness) that particles of composite powder Fe–Cr–SiC have a fine-dispersed structure and consist of ferrochrome-silicide matrix (H_μ = 8.75 GPa), in which the dispersed particles of carbides [$Cr_{23}C_6$, $(Fe–Cr)_7C_3$, H_μ = −11.4 GPa] are uniformly distributed.

The examination of fractional composition of the powder mixture showed that it contains about 30 % of particles of about 40 μm size.

HEAT-PROTECTIVE AND CORROSION PROPERTIES OF PLASMA COATINGS OF COMPLEXLY-ALLOYED ALLOY ON AlCu–Fe BASE, CONTAINING A QUASI-CRYSTALLINE PHASE. *A.L. Borisova, A.N. Burlachenko, A.P. Grishchenko, Z.G. Ipatova, T.V. Tsymbalistaya, K.V. Yantsevich (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Presented are the results of investigation of heat-protective and corrosion properties of plasma coatings of powders of AlCuFe and AlCuFeTiCrSi-alloys deposited on specimens of high-temperature aluminium alloy D16 which is used for manufacture of pistons and other components of internal combustion engines (ICE). Powders, produced by the method of mechanical-chemical synthesis (MCS) and spraying of melt by high-pressure water were used as a spraying material. The coatings were deposited by subsonic and supersonic plasma methods of spraying.

Heat-protective properties were investigated in a specially-manufactured stand using direct heating by flame of gas torch GN-2. As a combustion mixture, the C_3H_8 and O_2 mixture was used. Maximum heating temperature was 400 °C that corresponded to the operating temperature of parts of piston group of ICE, manufactured of aluminium alloys.

The most significant effect on the effectiveness of heat protection, i.e. the decrease in level of maximum temperature of specimen as compared with specimen without coating, is attained by content of quasi-crystalline ψ-phase (ΔT reaches from 100 up to 140 °C), thickness of coating (thus, at thickness 200 μm the decrease in T_{max} is about 50 °C, at 500 μm is 25 °C, at 900 μm is about 15 °C per 100 μm of thickness) and method of powder producing.

The same coatings were subjected to corrosion tests in sea water and mixture (sea water + 10 % Na_2SO_4 (1:1). Electrochemical behavior and corrosion resistance of thermal coatings were investigated by a controlled potential method using a specially-designed pressure cell. For all the coatings, a high corrosion resistance in test solutions is observed, though for sea water it is somewhat lower than for mixture of sea water and 10 % Na_2SO_4.

THERMAL STATE AND FRACTION COMPOSITION OF PARTICLES IN PLASMA SPRAYING WITH CURRENT-CARRYING WIRE. *O.G. Bykovsky, A.N. Lapteva (Zaporozhye National Technical University, Zaporozhye, Ukraine).* Strength and special properties of sprayed coa-

пыленных покрытий определяются размерами, скоростью и температурой напыляемых частиц.

Авторами путем прямого калориметрирования были определены температура и строение частиц, распыляемых на оптимальных параметрах режима материалов в виде проволок.

Было установлено, что температура плазменной струи и капель всех распыляемых материалов намного превышает не только температуру их плавления, но и кипения (для алюминия А0 — 9100 °С, для меди М1 — 3090 °С, для бронзы КМц3-1 — 3800 °С, для металла, нанесенного порошковой проволокой ПП-100Х15М2Г2Р — 7930 °С, для металла, нанесенного проволокой Нп65Г — 4690 °С, для материала, нанесенного проволокой Св07Х20Н9Г7Т — 4160 °С). Поэтому часть металла переносится в парообразном состоянии и его доля составляет соответственно 41, 7,3, 11,3, 39, 18,7 и 15,3 %, что качественно согласуется с наибольшими значениями средней температуры плазменно-металлического потока. При исследовании фракционного состава частиц алюминия и высокоуглеродистых стальных проволок формирование напыленного слоя происходит за счет частиц размером 0,4–0,063 мм на 82–90 %, меди и бронзы за счет частиц размером 0,4–0,1 мм на 85–90 %, нержавеющей стали за счет частиц размером 0,4–0,2 мм на 90 %.

Мелкодисперсные фракции размером менее 0,063 мм и пылевидные, выделенные путем послойной механической обработки быстровращающейся стальной щеткой представляют продукты конденсированных парообразных фаз. При своем движении в плазменном потоке они быстрее теряют скорость и температуру, ухудшая когезионную прочность нанесенного покрытия, которое представляет собой псевдосплав со свойствами, отличающимися от присущих исходному материалу.

МИКРОПЛАЗМЕННЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ ПОРОШКА ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯХ. *С.Г. Войнарович, Е.К. Кузьмич-Янчук, А.Н. Кислица, С.Н. Калюжный, О.П. Масючок, В.Ю. Глуховский (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В настоящее время интенсивно ведется замена металлических нагревательных элементов на более современные и дешевые керамические. Этим обусловлена актуальность данной работы, где показана возможность получения керамических нагревателей путем нанесения дорожек из резистивных материалов методом ГТН.

В качестве материала для напыления резистивного покрытия был выбран диоксид титана TiO_2, который используется в промышленности для получения электронагревательных элементов. Для обеспечения электроизоляции и теплоизоляции нагревательного элемента от подложки использован оксид алюминия Al_2O_3. Для напыления использовалась установка микроплазменного напыления МПН-004, разработанная в ИЭС им. Е.О. Патона. Фиксирование температур в процессе нагрева проводили с использованием тепловизора IRISYS IRI 1020. В качестве основы макета нагревательного элемента использовали металлические пластины из стали Ст3 толщиной 2 мм. На них наносился электроизоляционный слой Al_2O_3 толщиной 300 мкм. После охлаждения пластины экранировали трафаретами из фольги для придания нагревательным дорожкам змеевидной формы. Слой токопроводящего резистивного материала толщиной 100 мкм из TiO_2 наносился в виде узкой дорожки шириной 4 мм при общей длине 300 мм.

tings are defined by sizes, speed and temperature of particles being sprayed.

Using the direct calorimetry the authors determined the temperature and structure of particles, sprayed of materials in the form of wires at optimum condition parameters.

It was found that the temperature of plasma jet and drops of all the materials being sprayed much exceeds not only the temperature of their melting, but also that of boiling (for aluminium AO — 9100 °C, for copper M1 — 3090 °C, for bronze KMts3-1 — 3800 °C, for metal, sprayed of flux-cored wire PP-100Kh15M2G2R — 7930 °C, for metal sprayed of wire Np65G — 4690 °C, for metal, sprayed of wire Sv07Kh20N9G7T — 4160 °C). Therefore, the part of metal is transferred in a vapor-like state and its fraction is, respectively, 41, 7.3, 11.3, 39, 18.7 and 15.3 %, that is qualitatively correlated with small values of average temperature of plasma-metal flow. The investigation of fractional composition of particles of aluminium and high-carbon steel wires showed that the formation of a sprayed layer is occurred at the expense of particles of 0.4–0.063 mm size by 82–90 %, copper and bronze at the expense of particles of 0.4–0.1 mm size by 85–90 %, stainless steel at the expense of particles of 0.4–0.2 mm size by 90 %.

The fine-dispersed fractions of size of less than 0.063 mm and dusty ones, precipitated by layer-by-layer mechanical treatment using a rapidly-rotated steel brush, are the products of condensed vapor-like phases. At their motion in the plasma flow they loss quicker the rate and temperature, deteriorating the cohesion strength of the sprayed coating, which represents a pseudo-alloy with properties, differed from those, typical of initial material.

MICROPLASMA RESISTIVE COATINGS, PRODUCED OF TITANIUM DIOXIDE POWDER FOR APPLICATION IN ELECTRIC HEATERS. *S.G. Voinarovich, E.K. Kuzmich-Yanchuk, A.N. Kislitsa, S.N. Kalyuzhnyi, O.P. Masyuchok, V.Yu. Glukhovsky (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* At the present time the metal heating elements are intensively replaced by the more updated and cheaper ceramic elements. This stipulates the topicality of the present work, where the possibility of manufacture of ceramic heaters by deposition of paths of resistive materials by the thermal spraying method is shown. As a material for the resistive coating deposition, the titanium dioxide TiO_2 was selected, which is used in industry for manufacture of electric heating elements. To provide electric insulation and heat insulation of heating element from substrate, the aluminium oxide Al_2O_3 was used. The installation for microplasma spraying of the MPN-004 type, developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute, was applied for spraying. Temperatures in the process of heating were recorded by using the thermal imager IRISYS IRI 1020. Metal plates of 2 mm thick steel St3 were used as a base of heating element mock-up. Electric insulation layer Al_2O_3 of 300 μm thickness was deposited on them. After cooling, the plates were shielded by sheets of foil to impart the serpentine shape to the heating paths. The layer of current-carrying resistive material of 100 μm thickness of TiO_2 was deposited in the form of a narrow path of 4 mm width at a total length of 300 mm.

The analysis of obtained results of measurements showed that at a gradual heating from 26 to 230 °C the fracture of heating layers was not observed. At next increase of temperature, the destruction of heating materials (phase transfor-

Анализ полученных результатов измерений показал, что при постепенном нагревании от 26 до 230 °С разрушения нагревательных слоев не происходило. При дальнейшем повышении температуры происходила деструкция материала нагревателя (фазовая трансформация анатаз-рутил), что привело к потере электропроводности. Таким образом, экспериментально доказана возможность использования технологии МПН для получения нагревательных элементов с температурой нагрева до 200 °С из TiO_2-покрытий в качестве токопроводящего резистивного материала.

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКЕ. *Д.А. Волков, А.Д. Кошевой (Донбас. гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Повышение эксплуатационной надежности деталей и узлов современной техники без существенного увеличения их массы и стоимости — весьма сложная, и, в то же время, актуальная задача сегодняшнего дня. Одним из путей решения этой задачи является создание композиционных износостойких покрытий на рабочих поверхностях контактирующих деталей узлов трения. Важное место в упрочнении и восстановлении поверхностей трения занимает технология нанесения покрытий из композиционных материалов на основе металлической матрицы методом электроконтактной наплавки (ЭКН). Детали, подлежащие восстановлению методом ЭКН металлическими порошками, могут иметь различную величину шероховатости изношенной поверхности, образованной либо в процессе эксплуатации, либо вследствие предварительной механической обработки восстанавливаемой поверхности и которая, в свою очередь, будет оказывать существенное влияние на процессы тепловыделения в контакте присадочный материал–деталь и, следовательно, на прочность сцепления.

Были проведены экспериментальные наплавки образцов с различной шероховатостью поверхности порошковыми присадочными материалами различного гранулометрического состава. В результате был установлен характер изменения прочности сцепления спеченного порошкового слоя с поверхностью восстанавливаемой детали в зависимости от чистоты обработки последней. Разработана математическая модель с использованием симплексно-решетчатого планирования, а также получены уравнения регрессии, описывающие влияние прочности сцепления наплавленного слоя с основой от фракционного состава порошковой композиции и чистоты обработки восстанавливаемой поверхности. Установлено, что для получения более высоких показателей по прочности сцепления наплавленного слоя с поверхностью детали, подлежащей восстановлению электроконтактной наплавкой, ее следует подвергать механической обработке точением или шлифованием до выведения следов износа на уровень R_a = 1,6–0,2 мкм. При этом следует использовать присадочные порошковые материалы мелких фракций $40 < h_{ср} \le 80$ мкм, что обеспечивает прочность сцепления нанесенного слоя с поверхностью восстанавливаемой детали на уровне 160–180 МПа.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПЛАВКОЙ БАНДАЖЕЙ КОЛЕС СКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА. *А.А. Гайворонский[1], А.В. Клапатюк[1], А.С. Шишкевич[1], В.Я. Грицай[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]КП «Киевпастранс», Киев, Украина).* В настоящее время при восстановлении профиля катания бандажей трамвайных колес применяется дуговая наплавка проволоками

mation of anatase-rutile) occurred, thus leading to loss in electric conductivity. Thus, the possibility of applying the technology of microplasma spraying for manufacture of heating elements with a heating temperature up to 200 °C of TiO_2 coating as a current-conducting resistive manufacture was proved experimentally.

EFFECT OF ROUGHNESS OF PART SURFACE ON ADHESION STRENGTH IN ELECTRIC CONTACT SURFACING. *D.A. Volkov, A.D. Koshevoy (Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* Improvement of serviceability of parts and components of the modern machinery without significant increase in their mass and cost is a rather complicated and, at the same time, urgent task of today. One of the ways of solution of this problem is the development of composite wear-resistant coatings on the working surfaces of contacting parts of friction units. The technology of deposition of coatings of composite materials on the base of metallic matrix by the method of electric contact surfacing (ECS) occupies the important place in strengthening and restoration of surfaces. Parts, subjected to restoration by the ECS method applying metal powders, can have different value of surface roughness, formed either in the process of service or due to preliminary mechanical treatment of surface to be restored and which, in turn, will have a significant effect on the processes of heat evolution in contact of filler material-part and, consequently, on the adhesion strength.

Experimental deposits were made on specimens with different roughness of the surface using powdered filler materials of different granulometric composition. As a result, the nature of changing the adhesion strength of sintered powdered layer with the surface of part being restored depending of cleanness of treatment of the latter was found. The mathematical model was designed applying the simplex-trellis planning, and also the equations of regression, describing the dependence of adhesion strength of the deposited layer with the base on fractional composition of powder composition and cleanness of treatment of surface being restored, were obtained. It was established that to obtain the higher values of adhesion strength of deposited layer with the part surface, subjected to restoration by electric contact surfacing, it should be subjected to mechanical treatment by grinding or polishing up to elimination of wear traces for the level R_a = 1.6–2.0 μm. In this case it is necessary to use the filler powdered materials of fine fractions of $40 < h_{av} > 80$ μm, that provides the strength of adhesion of deposited layer with the surface of part being restored at the level of 160–180 MPa.

TECHNOLOGY OF SURFACING RESTORATION OF WHEEL TIRES OF HIGH-SPEED PASSENGER TRANSPORT. *A.A. Gaivoronsky[1], A.V. Klapatyuk[1], A.S. Shishkevich[1], V.Ya. Gritsaj[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]KP «Kievpastrans», Kiev, Ukraine).* At the present time the arc surfacing with wires of grades Sv-08A, Sv-08G2S of 2–4 mm diameter under flux is used for restoration of rolling profile of tires

марок Св-08А, Св-08Г2С диаметром 2–4 мм под флюсом. Однако данная технология не обеспечивает необходимого уровня прочности и износостойкости наплавленного металла при эксплуатации в условиях скоростного движения.

Проведен комплекс исследований, на основании результатов которых разработана технология восстановления наплавкой бандажей колес скоростного трамвая, которая позволяет продлить срок безопасной эксплуатации колеса в 2,5–4 раза по сравнению с действующей технологией.

Изучено влияние температуры предварительного подогрева на трещиностойкось восстановленных наплавкой бандажей. Установлено, что исключить вероятность образования холодных трещин при наплавке бандажей трамвайных колес возможно при использовании предварительного подогрева до температуры 100–150 °С.

Выполнены работы по выбору сварочных материалов для восстановления трамвайных колес, которые бы обеспечивали уровень механических свойств и износостойкость наплавленного металла не ниже основного металла бандажа. Показано, что этим требованиям соответствуют проволоки сплошного сечения Св-08ХМ ($\sigma_в$ = 705 МПа, *HB* 250, KCU_{20} = 98 Дж/см^2) и порошковая проволока ПП-АН180МН ($\sigma_в$ = 790 МПа, *HB* 260, KCU_{20} = 97 Дж/см^2). Сопротивляемость износу при трении — скольжение наплавленного металла, выполненного данными материалами, более чем в 2,5 раза выше по сравнению с наплавленным металлом при использовании проволоки Св-08Г2С.

Разработана технология и проведена наплавка реборд бандажей опытной партии трамвайных колес. Опыт эксплуатации вагонов трамваев с восстановленными по новой технологии колесами на скоростной линии в г. Киев (депо Шевченко) показал, что их пробег составил 24–26 тыс. км, что в 4–5 раз выше показателей колес, восстановленных по действующей технологии.

В настоящее время выполняются работы по внедрению разработанной технологии на предприятиях КП «Киевпастранс».

of tram wheels. However, this technology does not provide the required level of strength and wear resistance of deposited metal in service under the conditions of high-speed movement.

A complex of instigations was carried out, on the results of which a technology of restoration of tires of high-speed tram wheels was developed, allowing extending the term of safe service of wheel by 2.5–4.0 times as compared with the existing technology.

The effect of preheating temperature on crack resistance of tires, restored by surfacing, was studied. It was found that it is possible to prevent the probability of cold crack formation in surfacing of tram wheel tires by applying the preheating up to 100–150 °C temperature.

The works were performed for the selection of welding materials for tram wheel restoration, which could provide the level of mechanical properties and wear resistance of the deposited metal of not lower than that of the tire base metal. It is shown that the solid wire Sv-08KhM (σ_{ult} = 705 MPa, *HB* 250, KCU_{20} = 98 J/cm^2) and flux-cored wire PP-AN180MN (σ_{ult} = 790 MPa, *HB* 260, KCU_{20} = 97 J/cm^2) meet these requirements. The resistance to wear in friction, i.e. sliding of the deposited metal, made by these materials, is more than 2.5 times higher as compared with deposited metal made with wire SV-08G2S.

Technology was developed and surfacing of tire flanges of pilot batch of tram wheels was performed. The experience in service of tram cars with wheels, restored using the new technology, at the high-speed line in Kiev (Shevchenko depot) showed that their running was 24–26 thousand kilometers, that is 4–5 times higher than characteristics of wheels, restored by using the existing technology.

At present, the works are carried out on implementation of the developed technology at the enterprises of KP «Kievpastrans».

АВТОМАТИЧЕСКАЯ НАПЛАВКА ПОД ФЛЮСОМ С ПОПЕРЕЧНЫМИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ЭЛЕКТРОДА. *С.В. Драган, Ж.Г. Голобородько, И.В. Симутенков (Нац. ун-т кораблестроения, Николаев, Украина).* Восстановление поверхностей деталей судовых машин и механизмов часто осуществляют с помощью автоматической наплавки под флюсом. Но при данном способе дугой выделяется избыточное количество тепла, приводящее к увеличению доли участия основного металла в наплавленном и длины сварочной ванны.

Способы, лишенные указанных недостатков, требуют сложного сварочного оборудования или специальных сварочных материалов. Альтернативой является управление параметрами процесса, основанное, например, на использовании малоамплитудных высокочастотных механических колебаний, возбуждаемых в электродной проволоке специальным генератором.

Экспериментально установлено повышение производительности плавления электрода при наплавке с колебаниями, что связано с уменьшением толщины и степени перегрева жидкометаллической прослойки, находящейся на торце электрода. Исследовали также взаимосвязь амплитуды и частоты колебаний, прикладываемых поперек, вдоль и под углом к направлению наплавки. Амплитуда колебаний возрастает с увеличением частоты в связи с возрастанием инерции ударника генератора. Второстепенное значение имеют инерция электрода на участке вылета и амплитуда колебаний задающего механизма генератора.

AUTOMATIC SUBMERGED ARC SURFACING WITH TRANSVERSE HIGH-FREQUENCY OSCILLATIONS OF ELECTRODE. *S.V. Dragan, Zh.G. Goloborodko, I.V. Simutenkov (Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine).* Restoration of surfaces of parts of ship machines and mechanisms is often performed using the automatic submerged arc surfacing. But, in this method the arc generates excessive amount of heat, leading to increase in a share of the base metal in deposited metal and in the weld pool length.

Methods, not having the above-mentioned drawbacks, require the complicated welding equipment or special welding consumables. The alternative is the control of the process parameters, based, for example, on application of low-amplitude high-frequency mechanical oscillations, excited in electrode wire by a special generator.

The increase in efficiency of electrode melting in surfacing with oscillations was experimentally found, that is due to decrease in thickness and degree of overheating of liquid-metal interlayer located at the electrode end. The interrelation of amplitude and frequency of oscillations, applied transverse, along and under the angle to the surfacing direction, were also investigated. Amplitude of oscillations is increased with increase in frequency due to increase in inertia of generator striker. Inertia of electrode at the area of stickout and amplitude of oscillations of master mechanism of the generator are of the secondary importance. There are resonance frequencies at which an abrupt increase in amplitude of os-

Существуют резонансные частоты, при которых происходит резкое увеличение амплитуды колебаний и наблюдается наибольшее влияние на геометрию шва. В диапазоне частот, следующих за резонансом, амплитуда колебаний остается постоянной и равной амплитуде при резонансе, что удобно для практического использования.
Амплитуда торца электрода регулируется ступенчато за счет изменения амплитуды генератора, массы ударника, вылета электрода и расстояния от точки приложения колебаний до токоподвода, плавно — путем изменения частоты колебаний. По мере роста амплитуды колебаний увеличивается степень рассредоточения теплового и силового действия дуги, что способствует уменьшению глубины и доли участия основного металла в наплавленном. Таким образом, основное влияние на геометрию оказывает амплитуда колебаний, а размеры наплавленного валика следует определять по известным зависимостям с поправкой, учитывающей амплитуду высокочастотных колебаний.

ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ НА СТРУКТУРУ ТА ТВЕРДІСТЬ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ. *О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров (Нац. ун-т кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв, Україна).* У світовій практиці з розробки та застосування технологій зміцнення і відновлення деталей все більша увага приділяється електродуговому напилюванню. Це обумовлено багатьма перевагами методу: висока продуктивність, максимальне значення коефіцієнта використання матеріалу та енергетичного ККД розпилення, низька вартість. Але електродугові покриття мають недоліки, основними з яких є низька міцність зчеплення покриттів з основою (підкладкою), висока пористість.
В роботі пропонується накладання електричних імпульсів між металізатором та підкладкою для зниження пористості та підвищення твердості електродугових покриттів. Покриття наносили за допомогою установки КДМ-2 електродуговим розпилювачем ЕМ-14М — дротом діаметром 1,2 мм зі сталі марки Св-08Г2С-О на режимі: напруга на дузі 25 В, сила струму дуги 110 А, тиск розпилюючого повітря 0,5–0,6 МПа. Електричні імпульси накладали за двома схемами. За першою схемою до ковпака металізатора підключався негативний електрод джерела імпульсного струму, а до підкладки — позитивний (пряма схема), при зворотній схемі електроди підключалися навпаки. Встановлено, що накладання електричних імпульсів за зворотньою схемою призводить до нестабільності процесу напилення. Показано, що при накладенні електричних імпульсів частотою менше 4 кГц та напругою менше 5 кВ ефект підвищення твердості не виявляється. Найвищі показники твердості (35 %) має покриття, напилене при накладанні електричних імпульсів за прямою схемою з частотою 6,5 кГц, напругою 5 кВ. Аналіз мікроструктур виявив здрібнення структури та зниження пористості електродугового покриття до 3 %. Досліджено міцність зчеплення покриття з основою випробуванням на згин по ГОСТ 9.302–88. Покриття, нанесене з накладанням електричних імпульсів, відшаровується при куті згину на 7° більше. Таким чином, накладання імпульсів струму між металізатором та виробом дозволяє зменшити розмір крапель металу у двохфазному потоці та отримати здрібнену структуру покриття і забезпечує підвищення твердості та міцності зчеплення, зниження пористості.

cillations occurs and the largest effect on weld geometry is observed. Within the range of frequencies, followed the resonance, the amplitude of oscillations remains constant and equal to amplitude at resonance, that is convenient for practical application.
Amplitude of electrode end is adjusted step-wise by changing the amplitude of generator, mass of striker, electrode stickout and distance from point of applying the oscillations up to current connector, i.e. smoothly by changing the frequency of oscillations. With the growth of amplitude of oscillations the degree of distribution of heat and force action of the arc is increased, thus contributing to decrease in depth and share of base metal in the deposited one. Thus, the amplitude of oscillation has the main effect on geometry, and sizes of the deposited bead should be determined by known relationships with correction, accounting for amplitude of high-frequency oscillations.

EFFECT OF ELECTRIC PULSES ON STRUCTURE AND HARDNESS OF ELECTRIC ARC COATINGS. *O.M. Dubovoy, A.A. Karpechenko, M.M. Bobrov (Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine).* In the world practice the greater attention began to be paid to the electric arc spraying after development and application of the technology of strengthening and restoration of parts. This was due to the numerous advantages of the method, such as: high productivity, maximum value of coefficient of material utilization and power efficiency factor of spraying, low cost. However, the electric arc coatings have drawbacks, among which: low strength of coating adhesion with a base (substrate), high porosity.
The work offers the imposition of electric pulses between the metal spraying gun and substrate to decrease the porosity and increase the hardness of electric arc coatings. The coatings were deposited in equipment KDM-2 with electric arc sprayer EM-14M using 1.2 mm diameter wire of steel grade Sv-08G2S under conditions: arc voltage — 25 V, arc current — 110 A, pressure of spraying air — 0.6–0.6 MPa. Electric pulses were imposed by two schemes. According to the first scheme a negative electrode of pulsed current source was connected to the metal spraying gun cap, while to substrate a positive electrode was connected (direct diagram), at the second scheme the electrodes were connected in opposite sequence. It was found that the imposition of electric pulses using the second scheme leads to the instability of the spraying process. It is shown that in imposition of electric pulses of frequency of less than 4 kHz and voltage of less than 5 kV the effect of increase in hardness is not revealed. The highest values of hardness (35 %) are typical of coatings sprayed at imposition of electric pulses using a direct scheme of 6.5 kHz frequency, voltage of 5 kV. Analysis of microstructures revealed the structure refining and decrease in porosity of electric arc coating to 3 %. The strength of adhesion of coating with a substrate was bend tested according to GOST 9.302–88. Coating, deposited with imposition of electric pulses, is laminated at 7° higher bending angle. Thus, the imposition of current pulses between the metal spraying gun and workpiece allows decreasing the size of metal drops in two-phase flow and obtaining the fine-grain structure of coating and providing the increase in hardness and strength of adhesion, decrease in porosity.

ОЦЕНКА РАБОТЫ ВОДО-ВОЗДУШНОЙ ФОРСУНКИ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ. *А.И. Евдокимов, Ю.М. Кусков (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Наиболее распространенной технологической системой выполнения наплавок высокоуглеродистых материалов является применение предварительного подогрева наплавляемого изделия и замедленного его охлаждения после завершения наплавки. Улучшение свойств наплавленного металла за счет регулирования термического цикла наплавки и дифференцированного изменения скорости его охлаждения практически не применяется.

При электрошлаковой наплавке (ЭШН) с использованием водоохлаждающих формирующих устройств сама технология обеспечивает ускоренное, но не регулируемое, охлаждение как расплавленного, так и закристаллизовавшегося наплавленного металла.

Предложена методика и разработано устройство для регулируемого охлаждения наплавленного металла. На первом этапе рассматривали возможность регулирования температуры наплавленного слоя при выполнении торцевых наплавок. При этом подвижный кристаллизатор выводился из области расположения шлаковой ванны, благодаря чему происходил слив шлаковой ванны и очищение от нее верхней поверхности наплавленного слоя. В качестве устройства для охлаждения металла использовали водо-воздушную форсунку, позволяющую отдельно осуществлять охлаждение в любом из трех вариантов — водяном, воздушном и водо-воздушном.

Проведенные эксперименты позволили проверить работоспособность конструкции устройства и выполнить предварительную оценку параметров охлаждения: оптимизацию расстояния сопла форсунки от охлаждаемой поверхности для получения необходимого пятна орошения; определение влияния давления воды и воздуха, а также процентного соотношения охлаждающих реагентов как на работоспособность устройства, так и на возможность регулирования скорости охлаждения.

Полученные данные будут учтены при отработке технологии ЭШН в секционном токоподводящем кристаллизаторе с использованием регулирования скорости охлаждения наплавленного металла типа нелегированного и легированного чугунов.

ASSESSMENT OF OPERATION OF WATER-AIR INJECTOR UNDER CONDITIONS OF ELECTROSLAG SURFACING OF HIGH-CARBON MATERIALS. *A.I. Evdokimov, Yu.M. Kuskov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The most widely spread technological system of surfacing of high-carbon materials is the application of preheating of workpiece being surfaced and its delayed cooling after the surfacing completion. The improvement of properties of deposited metal by control of thermal cycle of surfacing and differential change in rate of its cooling is not almost used in practice.

In electroslag surfacing (ESS) with application of water-cooled forming devices the technology itself provides the accelerated, but not controlled, cooling of both the molten and solidified deposited metal.

Method was offered and device was designed for a controllable cooling of the deposited metal. At the first stage the possibility of control of temperature of deposited layer in making of edge deposits was considered. In this case, the movable mould was removed from the area of slag pool location, owing to which the slag pool drain and cleanness of upper surface of deposited layer from it occurred. A water-air injector was used as a device for metal cooling, allowing realize cooling separately in any of three variants, namely: water, air and water-air.

The carried out experiments allowed testing the performance of the device design and making the preliminary assessment of cooling parameters: optimization of distance of the injector nozzle from surface being cooled for obtaining the required spot of irrigation; determination of effect of water and air pressure, as well as a percentage ratio of cooling reagents both on the device performance and also on the possibility of control of the cooling rate.

The obtained data will be taken into account in optimizing the technology of ESS in a sectional current-carrying mould with control of rate of cooling the deposited metal of type of non-alloyed and alloyed cast irons.

ВЛИЯНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНОГО ХРОМИСТОГО АУСТЕНИТА НА СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ И НАПЫЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ. *Ю.С. Коробов, М.А. Филиппов, В.В. Легчило, Ю.В. Худорожкова, В.С. Верхорубов (Уральский федеральн. ун-т, Екатеринбург, Россия).* Порошковая проволока (ПП) марки ППМ-6, близкая по составу к 150Х8Т2, разработана в УрФУ и выпускается серийно. Из нее можно получать металлизационные покрытия и наплавленные слои со структурой метастабильного аустенита. С помощью фазового и металлографического анализа проведено сравнительное изучение структуры таких покрытий и слоев.

Микроструктура наплавленного слоя из сплава 150Х8Т2 состоит из металлической мартенситно-аустенитной основы с мелкими зернами и включениями вторичных карбидов, окаймленной сеткой аустенитно-карбидной эвтектики. Карбидные фазы представляют собой совокупность первичных карбидов титана TiC и хрома M_7C_3, карбидной эвтектики ($\gamma + M_7C_3 + M_3C$) и вторичных карбидов, выделившихся при охлаждении аустенита.

Структура напыленного покрытия имеет существенные отличия, обусловленные разницей в кинетических и физи-

INFLUENCE OF METASTABLE CHROMIUM AUSTENITE ON THE PROPERTIES OF MATERIALS DEPOSITED BY SURFACING AND SPRAYING. *Yu.S. Korobov, M.A. Filippov, V.V. Legchilo, Yu.V. Khudorozhkova, V.S. Verkhorubov* (Urals Federal University, Ekaterinburg, Russia). Flux-cored wire (FW) of PPM-6 grade, close in its composition to 150Kh8T2, was developed at UrFU and is batch-produced. It can be used to produce metallization coatings and deposited layers with the structure of meta-stable austenite. Phase and metallographic analysis was used to perform comparative study of the structure of such coatings and layers.

Microstructure of deposited layer from 150Kh8T2 alloy consists of metal martensite-austenite base with fine grains and inclusions of secondary carbides, fringed by a net of carbide-austenite eutectics. Carbide phases are an aggregate of primary carbides of titanium TiC and chromium M_7C_3, carbide eutectic ($\gamma + M_7C_3 + M_3C$) and secondary carbides, precipitating at austenite cooling.

Structure of sprayed-deposited coating has essential differences due to kinetic and physico-chemical conditions of solidification. It is an irregular heterogeneous mixture of

ко-химических условиях кристаллизации. Она представляет нерегулярную гетерогенную смесь твердого раствора — аустенитно-мартенситной матрицы с включениями дисперсных частиц карбидов, комплексных образований, состоящих из карбидов и оксидов.
У покрытий и слоев из ППМ-6 после нагружения обкатыванием отмечено повышение микротвердости на 30–50 %.

ЖАРОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК. *Ю.С. Коробов, М.А. Филиппов, С.В. Невежин, Г.А. Ример (Уральский федеральн. ун-т, Екатеринбург, Россия).* На основе изучения физико-химических процессов при дуговой металлизации (ДМ), в частности, разработано оборудование активированной дуговой металлизации (АДМ), у которого основные выходные параметры в среднем на 40 % выше, чем при ДМ.
Данные расчетов и результаты экспериментальных исследований (диаметр капель, дистанция напыления, скорость капель, скорость газа, температура капель, температура газа, парциальное давление кислорода, содержание легирующих элементов в проволоке) были приняты в качестве входных переменных для построения нейросетевой модели (НСМ), позволяющей на выходе оценить значения степени окисления капель металла при ДМ, а также содержание легирующих элементов в покрытии.
НСМ была использована при разработке порошковых проволок (ПП) для получения жаростойких покрытий. Рассчитано, в частности, что для ПП системы легирования типа Fe–25Cr–5Al степень окисления капель крайних фракций 10 мкм и 237,5 мкм при АДМ ниже, чем при ДМ в 1,3–1,5 раза. Введение дополнительных легирующих элементов (Si, Ti) увеличивает разрыв до 1,4–1,7 раза. На основе нейросетевой модели по критерию минимального окисления капель металла при напылении были оптимизированы система легирования и фракционный состав ПП типа Fe–25Cr–5Al–Si–Ti, скорость и температура двухфазной струи.
Жаростойкость АДМ-покрытия из разработанных ПП, в сравнении со сталями для котлостроения, на порядок выше, чем у перлитных и мартенситно-ферритных (12Х1МФ, 1Х12В2МФ) и одного уровня с аустенитной 1Х18Н12Т.
Указанные ПП освоены в серийном производстве. Для деталей энергетического оборудования, работающих в условиях газовой коррозии, разработаны технологии нанесения жаростойких АДМ-покрытий.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖНЫХ ПОЛОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ГТД. *А.М. Костин, А.Ю. Бутенко (Нац. ун-т кораблестроения, Николаев, Украина).* На сегодня в судовом и энергомашиностроении особое внимание уделяется проблеме повышения эффективности, надежности и ресурса газотурбинных двигателей (ГТД). Ресурс двигателей определяется долговечностью наиболее ответственных деталей ГТД, в первую очередь к ним относятся рабочие лопатки турбины, которые находятся в наиболее тяжелых условиях эксплуатации.
Рассматриваемые в работе турбинные лопатки изготавливаются из никелевых литейных сплавов, таких как ЧС88У-ВИ, ЧС70У-ВИ, ЧС104-ВИ. Данные сплавы при высокой температуре эксплуатации двигателя, пиковые значения которой могут достигать 1100 °С, имеют недостаточную твердость, в этой связи существует необходимость упрочнения контактных поверхностей рабочих лопаток материалами с высокой износо- и жаростойкостью.

solid solution — austenite-martensite matrix with inclusions of dispersed carbide particles, and complex formations, consisting of carbides and oxides.
Microhardness increase by 30–50 % was noted in coatings and layers of PPM-6 after loading by rolling.

HIGH-TEMPERATURE COATINGS FROM FLUX-CORED WIRES. *Yu.S. Korobov, M.A. Filippov, S.V. Nevezhin, G.A. Rimer (Urals Federal University, Ekaterinburg, Russia).* Proceeding from investigation of physico-chemical processes in arc metallization (AM), equipment for activated arc metallization (AAM) was developed, in particular, in which the main output parameters are, on average, by 40 % higher than at AM.
Data of calculations and results of experimental studies (drop diameter, spraying distance, drop velocity, gas velocity, drop temperature, gas temperature, partial pressure of oxygen, alloying element content in the wire), were taken as initial variables for plotting the neural network model (NNM), allowing evaluation at the output of the value of degree of metal drop oxidation at AM, as well as content of alloying elements in the coating.
NNM was used in the development of flux-cored wires (FW) to produce high-temperature coatings. It was calculated, in particular, that for FW of alloying system of Fe–25Cr–5A type the degree of oxidation of the drops of extreme fractions of 10 μm and 237.5 at AAM is 1.3–1.5 times lower than at AM. Introduction of additional alloying elements (Si, Ti) increases the discrepancy up to 1.4–1.7 times. Proceeding from the neural network model, the alloying system and fractional composition of FW of Fe–25Cr–5Al–Si–Ti type, velocity and temperature of the two-phase jet were optimized by the criterion of minimum oxidation of metal drops at spraying.
High-temperature resistance of AAM coating from the developed FW, compared to boiler steels, is by an order of magnitude higher than that of pearlitic and martensitic-ferritic steels (12KhMF, 1Kh12V2MF) and is on the same level with austenitic 1Kh18N12T steel.
Batch-production of the above FW has been mastered. Technology of application of high-temperature AAM-coatings has been developed for parts of power engineering equipment operating under the conditions of gas corrosion.

DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE WEAR-RESISTANT MATERIAL FOR STRENGTHENING OF BAND FLANGES OF GTE BLADES. *A.M. Kostin, A.Yu. Butenko (Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine).* Nowadays, a special attention is paid in the ship and power machine building to the problem of improving the efficiency, reliability and service life of gas turbine engines (GTE). The service life of engines is defined by the life of the most critical parts of GTE, and the turbine blades refer to them in the first turn, as they are subjected to the most severe service conditions.
The turbine blades, described in the present work, are manufactured of nickel foundry alloys, such as ChS88U-VI, ChS70U-VI, ChS104-VI. These alloys have an insufficient hardness at high temperature of engine service, whose peak values may reach 1100 °C, therefore, there is a need in strengthening the contact surfaces of blades by using materials of high wear- and heat resistance.
The aim of the present work is to define the possibilities of application of the following systems as basic for designing

Целью настоящей работы являлось определение возможности использования в качестве базовых для проектирования упрочняющих композиций следующих систем: Ni–Zr–NbC, Co–Si–NbC, Ni–Si–NbC. Наплавку на опытные образцы из сплава ЧС88У-ВИ выполняли двумя способами: аргонодуговая неплавящимся вольфрамовым электродом и ацетилено-кислородная нейтральным пламенем. В случае применения аргонодуговой наплавки получен отрицательный результат. Во всех случаях обнаружены трещины в переходной зоне наплавка–основной металл.

Ацетилено-кислородная наплавка системы Ni–Zr–NbC не дала положительного результата в связи с сильным окислением композиции. Системы Co–Si–NbC и Ni–Si–NbC обеспечивают удовлетворительное формирование наплавленного слоя в один и два прохода. Значения твердости $HV10$ для обоих случаев находятся в пределах 800–900 ед.

Полученные результаты позволяют рекомендовать системы Co–Si–NbC и Ni–Si–NbC в качестве базовых для дальнейших исследований.

the strengthening compositions: Ni–Zr–NbC, Co–Si–NbC, Ni–Si–NbC. Surfacing on pilot specimens of ChS88U-VI alloy was performed by two methods: argon arc non-consumable tungsten electrode and acetylene-oxygen neutral flame welding.

In case of application of argon arc surfacing the negative result was obtained. In all the cases the cracks in a deposited-base metal transition zone were revealed.

Acetylene-oxygen surfacing of Ni–Zr–NbC system did not give the positive result due to strong oxidation of the composition. Systems Co–Si–NbC and Ni–Si–NbC provide a good formation of deposited layer per one and two passes. Value of hardness HV 10 for both cases is within 800–900 unities.

The obtained results make it possible to recommend the Co–Si–NbC and Ni–Si–NbC systems as basic ones for the further investigations.

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОТХОДОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ. *О.Г. Кузьменко, И.П. Лентюгов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Проблема загрязнения окружающей среды отходами промышленного производства является одной из наиболее важных для многих промышленно развитых стран. Достаточно остро стоит эта проблема и для Украины.

Наиболее перспективным является разработка таких технологий утилизации промышленных отходов, в результате которых создаются новые функциональные материалы. Для сварочного производства это могут быть материалы для сварки, наплавки и нанесения защитных покрытий. С этой точки зрения экологически и технически целесообразной становится задача переработки и использования для шихт наплавочных порошковых проволок, а также материалов для плазменного нанесения покрытий отходов от заточки быстрорежущего инструмента (ДСТУ 3211–2009).

В ИЭС им. Е.О. Патона разработан метод переработки таких отходов в качественную шихту (лигатуру) с использованием электрошлакового процесса. Учитывая, что в настоящее время номенклатура применяемых марок быстрорежущих сталей относительно небольшая и часто ограничивается сталью Р6М5, получение шихты примерно одного и того же химического состава не представляет больших организационных сложностей. При необходимости полученная по такой технологии шихта может быть долегирована необходимыми элементами.

Применение электрошлакового переплава отходов шлифования инструмента позволяет улучшить качество и чистоту легирующих шихтовых материалов и повысить специальные свойства покрытий — износостойкость и стойкость против термической усталости. Испытания покрытий, полученных дуговой и плазменной наплавкой с использованием материалов, изготовленных по данной технологии, показали их высокую износостойкость и прочность сварки с основным металлом.

DEVELOPMENT OF MATERIALS FOR WEAR-RESISTANT SURFACING USING GRINDING WASTES OF HIGH-SPEED STEEL. *O.G. Kuzmenko, I.P. Lentyugov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The problem of environment pollution with industrial wastes is one of the most important for many industrialized countries. This problem is also urgent for Ukraine. The most promising is the development of such technologies of utilization of industrial wastes, which will result in creation of the new functional materials. For the welding manufacturing these may be materials for welding, surfacing and deposition of protective coatings. From the ecological and technical point of view the task of recycling and utilizing of wastes from sharpening of high-speed tools (DSTU 3211–2009) becomes rational for charges of surfacing flux-cored wires, and also materials for plasma deposition of coatings. At the E.O. Paton Electric Welding Institute a method has been developed for recycling of these wastes into the quality charge (master alloy) using the electroslag process. Taking into account that at the present time the assortment of grades of high-speed steels is rather small and limited often by steel R6M5, the producing of charge of approximately the same chemical composition does not represent great organizational difficulties. When necessary, the charge, produced by this technology, can be additionally alloyed with required elements.

Application of electroslag remelting of wastes of tool grinding allows improving the quality and purity of alloying charge materials and increasing the special properties of coatings, such as wear resistance and resistance against the thermal fatigue. Tests of coatings, produced by arc and plasma surfacing using materials, manufactured by this technology, demonstrated their high wear resistance and full strength of weld and base metal.

РЕАКТИВНОЕ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА В СРЕДЕ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ H_2 + CH_4. *Е.К. Кузьмич-Янчук, Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович, А.Н. Кислица, А.Ю. Туник (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Одним из способов на-

REACTIVE LASER-PLASMA SPRAYING OF COATINGS ON TITANIUM BASE IN THE MEDIUM OF ACTIVE GAS MIXTURE H_2 + CH_4. *E.K. Kuzmich-Yanchuk, Yu.S. Borisov, S.G. Voynarovich, A.N. Kislitsa, A.Yu. Tunik (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* One of the methods of deposition of coatings

несения покрытий из титана, упрочненных включениями твердых фаз, является реактивное газотермическое нанесение, в том числе лазерно-плазменное нанесение покрытий на основе титана в среде активных газов. Целью данной работы являлось исследование особенностей формирования упрочняющих фаз в титановых покрытиях в условиях такого процесса. В качестве оборудования для генерации аргоновой плазменной струи использовали разработанную в ИЭС установку микроплазменного напыления МПН-004. Источником лазерного излучения являлся CO_2-лазер ROFIN-SINAR мощностью 10 кВт. В плазменную струю вводили титановую (сплав ВТ-1) проволоку диаметром 0,3 мм, перпендикулярно к оси струи, пересекая ее, подводили сфокусированный лазерный пучок. Газовую смесь вводили либо в плазменную струю вместе с защитным газом (аргоном), либо в зону лазерно-дугового разряда (ЛДР), возникающего при пересечении плазменной струи лучом лазера. Благодаря поглощению плазменной струей части лазерного излучения, на этом участке струи происходит значительное повышение температуры плазмы с возникновением ее неравновесности, что позволяет использовать ее как высокоэффективный плазмохимический реактор. В эксперименте использовали такие параметры напыления: I = 30–35 А, U = 32–36 В, h = = 50 мм, $Q_{\text{плазмообр}}$ (Ar) — 250–300 л/ч, $Q_{\text{защ}}$ (Ar) — 500 л/ч, $P_{\text{лаз}}$ = 1,5 кВт, $G_{\text{проволоки}}$ = 3,5–4,5 м/мин, $Q_{\text{газ.смеси}}$ (96 % H_2 + 4 % CH_4) = 76–180 л/ч. В результате эксперимента получены плотные покрытия с дисперсно-упрочненными участками. Рентгеноструктурные исследования покрытий показали наличие следующих фаз: Ti_2O, TiO, TiN, твердый раствор О в Ti. По результатам МРСА покрытий регистрируются твердые растворы внедрения легирующих элементов, таких как, С, О, N в титановой матрице. Покрытия с наилучшими характеристиками получены при расходе реагирующей смеси 180 л/ч. Общая микротвердость покрытия достигает 10,09±1,97 ГПа вследствие увеличения площади дисперсно-упрочненных участков микротвердостью 15,4±2,07 ГПа с наличием оксидных и нитридных фаз, количество которых напрямую связано с объемом подаваемого активного газа 96 % H_2 + + 4 % CH_4.

of titanium, strengthened by inclusions of hard phases, is the reactive thermal spraying, including the laser-plasma spraying of coatings on titanium base in medium of active gases. The aim of the work is to investigate the peculiar features of forming the strengthening phases in titanium coatings under conditions of this process. The installation of the microplasma spraying of MPN-004 type, designed at the Paton Institute, was used as an equipment for generation of argon plasma jet. The source of laser radiation was CO_2-laser ROFIN-SINAR of 10 kW capacity. The titanium (alloy VT-1) wire of 0.3 mm diameter was injected into plasma jet, normal to its axis, and the focused laser beam was supplied by crossing it. The gas mixture was added either into plasma jet together with shielding gas (argon) or into the zone of laser-arc discharge (LAD), occurring at plasma jet crossing by the laser beam. Owing to absorption of a part of laser radiation by a plasma jet, a significant increase in plasma temperature occurs at this jet area with appearance of its non-equilibrium, that allows its applying as a highly-effective plasma-chemical reactor. Such parameters of spraying were used in the experiment: I — 30–35 A; U = 32–36 V, h = 50 mm, $Q_{\text{pl-forming}}$ (Ar) — 250–300 l/h, Q_{shield} (Ar) — 500 l/h , P_{las} = 1.5 kW, G_{wire} = 3.5–4.5 m/min, $Q_{\text{gas mix}}$ (96 % H_2 + 4 % CH_4) = 76–180 l/h. As a result of experiment, the dense coatings with dispersion-strengthened areas were produced. X-ray diffraction examinations of coatings showed the presence of the following phases: Ti_2O, TiO, TiN, solid solution of O in Ti. From the results of X-ray diffraction microanalysis of coatings the interstitial solid solutions of alloying elements, such as C, O, N in titanium matrix are recorded. Coatings with the best characteristics were obtained at consumption of reactive mixture of 180 l/h. The total microhardness of coating reaches 10.09±1.97 GPa due to increase of area of dispersion-strengthened regions of 15.4 2.07 GPa microhardness with the presence of oxide and nitride phases, whose amount is directly connected with the volume of supplied active gas of 96 % H_2 + 4 % CH_4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ, ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ И В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ. *Ю.Н. Ланкин, И.А. Рябцев, Я.П. Черняк, В.Г. Соловьев, В.Ф. Семикин, П.П. Осечков, В.А. Жданов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Исследования проводились с целью изучения влияния параметров режимов различных способов дуговой наплавки на долю основного металла в наплавленном металле. Для исследований было изготовлено пять типов порошковой проволоки ПП-Нп-16ХГС: одна для наплавки под флюсом, одна для наплавки в смеси защитных газов и три самозащитных проволоки с газошлакообразующими компонентами шихты рутил-флюоритного, карбонатно-флюоритного и рутил-органического типа.

В процессе экспериментов меняли напряжение дуги в пределах 22–34 В. Ток и скорость наплавки при этом старались поддерживать постоянными — 350 А и 20 м/ч, соответственно. По результатам исследований построены трехмерные диаграммы протекания процессов в дуге. Диаграммы показывают наиболее вероятное сочетание тока и напряжения во время процесса наплавки. При этом отмечаются три области протекания процессов в дуге при наплавке. Первая область — стабильное горение дуги, вто-

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF ELECTRIC CONDITION PARAMETERS OF AUTOMATIC SUBMERGED ARC, OPEN ARC AND SHIELDED-GAS SURFACING. *Yu.N. Lankin, I.A. Ryabtsev, Ya.P. Chernyak, V.G. Solovjev, V.F. Semikin, P.P. Osechkov, V.A. Zhdanov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Investigations were carried out to study the effect of condition parameters of different methods of arc surfacing on a fraction of base metal in the deposited metal. For investigations, five types of flux-cored wire PP-Np-16KhGS were manufactured: one — for submerged arc surfacing, one — for surfacing in mixture of shielding gases and three self-shielding wires with gas-slag-forming components of charge of rutile-fluorite, carbonate-fluorite and rutile-organic type.

In the process of experiments the arc voltage was changed in the ranges of 24–34 V. Here, the current and surfacing speed were tried to be constant: 350 A and 20 m/h, respectively. From the results of investigations three-dimensional diagrams of processes proceeding in the arc were plotted. The diagrams show the most probable combination of current and voltage during the process of surfacing. Three regions of processes proceeding in the arc during surfacing are noted. The first region is the stable arc burning, the second one — wire short-circuiting, the third one — arc extinction.

рая — короткие замыкания проволоки и третья — обрывы дуги.

После обработки осциллограмм, записанных в ходе экспериментов, получены данные о проводимости дуги для всех исследованных режимов наплавки для всех типов порошковых проволок ПП-Нп-16ХГС. Анализ полученных данных позволил установить связь между проводимостью дуги и долей основного металла в наплавленном металле. Увеличение проводимости дуги приводит к увеличению доли основного металла в наплавленном металле. На графиках проводимости также отмечаются резкие скачки проводимости на определенных режимах. Данный факт, по-видимому, свидетельствует об изменении переноса металла (переход от крупнокапельного к мелкокапельному или струйному переносу), что влияет на проплавление основного металла и на формирование наплавленного валика.

Из осциллограмм выведен также коэффициент нестабильности процесса дуговой наплавки, т.е. наличие коротких замыканий и обрывов дуги при различном напряжении. Коэффициент позволяет количественно оценить стабильность процесса горения дуги.

Из наплавленных валиков были изготовлены макрошлифы и подсчитана доля основного металла в наплавленном при наплавке различными типами порошковой проволоки ПП-Нп-16ХГС на напряжениях 24, 26 и 28 В. Полученные данные показывают, что наименьшее проплавление при одинаковом напряжении обеспечивает наплавка под флюсом, а наибольшее — наплавка в защитном газе.

After processing the oscillograms, recorded during experiments, the data were obtained about the arc conductivity for all the investigated surfacing conditions for all the types of flux-cored wires PP-Np-16KhGS. Analysis of obtained data allowed establishing the relation between the arc conductivity and fraction of base metal in the deposited metal. The increase in arc conductivity leads to the increase in fraction of base metal in the deposited metal. In the diagrams of conductivity the abrupt jumps of conductivity at definite conditions are also noted. This fact proves probably the change in metal transfer (transition from globular to fine drop or spray transfer), thus influencing the penetration of base metal and formation of deposited bead.

Coefficient of instability of arc surfacing process, i.e. presence of short-circuits and arc extinctions at different voltages, was also derived from the oscillogram. The coefficient makes it possible to assess quantitatively the stability of the arc burning process.

Macrosections were manufactured from the deposited beads and fraction of base metal in deposited one was calculated in surfacing with different types of flux-cored wire PP-Np-16KhGS at voltages of 24, 26 and 28 V. The obtained data show that the least penetration at similar voltage is produced by the submerged arc surfacing, while the highest one — by the shielded-gas surfacing.

РАЗРАБОТКА ШЛАКОВОЙ СИСТЕМЫ ПОРОШКОВОЙ ПЛЮЩЕНКИ ДЛЯ ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. *Н.А. Макаренко (Донбас. гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Большинство литейных алюминиевых сплавов представляют собой силумины, содержание кремния в которых может доходить до 19 %. Наплавку силуминов обычно проводят стандартными проволоками. В данном случае стойкость наплавленных деталей оказывается меньшей, чем стойкость новых деталей, что приводит к снижению ресурса их работы и увеличению затрат на ремонт. Для получения (при наплавке) силумина с высоким содержанием кремния в промышленности существуют как порошковые проволоки, так и проволоки с ячеистой структурой. Однако производство порошковых проволок, имеющих мягкую пластичную алюминиевую оболочку малой прочности, затруднено, так как при волочении проволоки происходят ее частые обрывы. Данные проволоки имеют недостаточную механическую прочность, что затрудняет их стабильную подачу подающим механизмом в зону наплавки. Производство проволоки ячеистой структуры трудоемко и малопроизводительно. Для наплавки деталей из высококремнистых сплавов на основе алюминия целесообразно применять процесс плазма-МИГ наплавки с использованием в качестве плавящегося электрода порошковой плющенки. С введением в состав шихты порошковой плющенки эвтектического сплава CuCl–KCl позволяет снизить в наплавленном металле количество неметаллических включений оксидного характера и увеличить жесткость порошковой плющенки, что предотвращает ее смятие роликами подающего механизма и увеличивает стабильность процесса наплавки. Введение в состав шихты порошковой плющенки сплава LiF–KF эвтектического состава позволяет при плазма-МИГ наплавке алюминиевых сплавов снизить в наплавленном металле количество пор водородного характера и уменьшить количество неметаллических включений в нем. Установлено, что оптимальное со-

DEVELOPMENT OF SLAG SYSTEM OF FLUX-CORED FLATTENED WIRE FOR PLASMA-MIG SURFACING OF ALUMINIUM ALLOYS. *N.A. Makarenko (Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* The majority of foundry aluminium alloys represent silumins, whose content of silicon can reach up to 19 %. The surfacing of silumins is usually performed by standard wires. In this case the life of surfaced parts is occurred to be lower that that of new parts, thus leading to the reduction in their service life and increase in expenses for repair. To produce (in surfacing) the silumin with high content of silicon in industry, there are flux-cored wires and also wires with a cell structure. However, the production of flux-cored wires, having a soft plastic aluminium sheath of a low strength, is difficult, because during the wire drawing its frequent breaks are occurred. These wires possess insufficient mechanical strength that hinders their stable feeding by the feed mechanism into the surfacing zone. The production of wire of a cell structure is labor-intensive and low-efficient. To perform surfacing of parts of high-silicon alloys on aluminium base, it is rational to apply the process of plasma-MIG surfacing with use of a flattened flux-cored wire as a consumable electrode. With adding of eutectic alloy CuCl–KCl into the composition of charge of the flux-cored flattened wire allows reducing the number of non-metallic inclusions of oxide nature and increasing the rigidity of the flux-cored flattened wire, that prevents its collapse by feed mechanism rollers and increases the stability of the surfacing process. Adding of alloy LiF–KF of eutectic composition into the composition of charge of the flux-cored flattened wire allows reducing the number of pores of hydrogen nature and decreasing the number of non-metallic inclusions in the deposited metal in plasma-MIG surfacing of aluminium alloys. It was found that the optimum content of eutectic alloy CuCl–KCl is 0.8–1.3 % and eutectic alloy LiF-KF is 1.1–1.8 % in the flux-cored flattened wire charge.

держание в шихте порошковой плющенки эвтектического сплава CuCl–KCl составляет 0,8–1,3 %, а эвтектического сплава LiF–KF 1,1–1,8 %.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ВЧ80 ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ. *Л.И. Маркашова, Ю.Н. Тюрин, О.В. Колисниченко, М.Л. Валевич, Д.Г. Богачёв (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Перспективным способом повышения свойств изделий является их модификация концентрированными потоками энергии (КПЭ). Один из таких методов – разработанная в ИЭС им. Е.О. Патона технология импульсно-плазменной обработки (ИПО), которая основывается на воздействии концентрированной высокоэнергетической плазмы на изделия и приводит к формированию в обработанных поверхностях особого структурно-фазового состояния.

Исследования влияния интенсивности теплового потока при различных режимах ИПО (расстояние от электрода до обрабатываемого высокопрочного чугуна ВЧ-80: режим I – 50 мм, II – 60 мм, III – 65 мм) на структурно-фазовый состав и свойства закаленного слоя (после предварительной т/о: выдержка 2ч 900 °С → закалка в масло → → отпуск 2 ч 200 °С) проводились с применением комплексного подхода, включающего световую металлографию, растровую и просвечивающую электронную микроскопию, а также рентгеноструктурный фазовый анализ.

Показано, что для всех режимов наблюдается равномерное распределение легирующих элементов по глубине закаленного слоя, в то же время изменение расстояния от электрода до образца (режимы I → II → III) существенно влияет на структуру обработанной поверхности. Исследованиями установлено, что ИПО на режиме III (по сравнению с I и II) приводит к увеличению объемной доли мартенсита (до 70–80 %), измельчению в 2–2,5 раза аустенитно-мартенситной структуры (D_3M – 0,2–1,5 мкм; D_3A – 2,0–10 мкм) и графитных включений ($D_3Г$ – 5–20 мкм), увеличению интегральной микротвердости в 1,8 раза (до 8710 МПа). Тонкая структура образцов после ИПО на режиме III характеризуется общим повышением плотности дислокаций, отсутствием значительных градиентов распределения дислокаций как в закаленном слое, так и на границе «закаленный слой–основной металл».

Таким образом, применение режима III приводит к формированию на поверхности изделий из ВЧ-80 закаленных слоев глубиной до 60 мкм с наиболее оптимальным структурно-фазовым состоянием, существенно повышающим износо- и теплостойкость, а также характеристики прочности, пластичности и трещиностойкости изделий из высокопрочного чугуна ВЧ 80.

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ В ООО «ТМ.ВЕЛТЕК». *Л.Н. Орлов, А.А. Голякевич (ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина).* Электродуговая наплавка порошковой проволокой занимает прочные позиции в реновации деталей машин и механизмов металлургического оборудования.

Для восстановительной наплавки роликов МНЛЗ предприятие ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» изготавливает порошковую проволоку ВЕЛТЕК-Н470 диаметром 2,0–4,0 мм в сочетании с флюсами АН-20 и АН-26 и самозащитную ВЕЛТЕК-Н470С диаметром 2,0–2,4 мм. Эти порошковые про-

STRUCTURAL-PHASE STATE OF WORKING SURFACES OF PARTS FROM HIGH-STRENGTH CAST IRON AFTER PULSE-PLASMA TREATMENT. *L.I. Markashova, Yu.N. Tyurin, O.V. Kolisnichenko, M.L. Valevich, D.G. Bogachev (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Perspective method of increase of properties of parts is their modifying using concentrated energy flows (CEF). One of such method is technology of pulse-plasma treatment (PPT) developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute which is based on effect of concentrated high-energy plasma on parts and results in formation of specific structure-phase state in treated surfaces.

Study of effect of intensity of heat flow at different modes of PPT (distance from electrode to high-strength cast iron VCh-80 being treated, namely, mode I – 50 mm, II – 60 mm, III – 65 mm) on structure-phase content and properties of hardened layer (after preliminary heat treatment, i.e. holding 2 h 900 °C → hardening in oil → tempering 2 h 200 °C) was carried out using complex approach including light metallography, scanning and transmission electron microscopy as well as X-ray phase analysis.

It is shown that uniform distribution of alloying elements on depth of hardened layer is observed for all modes, while change f distance from electrode to specimen (modes I → → II → III) has significant effect on structure of treated surface. Investigation stated that PPT in mode III (in comparison with I and II) results in increase of volume fraction of martensite (up to 70–80 %), 2–2.5 time refining of austenite-martensite structure (D_3M – 0.2–1.5 m; D_3A – 2.0–10 μm) and graphite inclusions (D_3G – 5–20 μm), 1.8 time (up to 8710 MPa) increase of integral microhardness. Thin structure of specimens after PPT on mode III is characterized by increase of dislocation dencity, absence of significant gradients of dislocation distribution in hardened layer as well as on «hardened layer-base metal» interface.

Thus, application of mode II results in formation on surface of part from VCh-80 of hardened layers of up to 60 μm depth with the most optimum structural-pahse state significantly increasing wear- and heat resistance as well as characteristics of strength, plasticity and crack resistance of parts from high-strength cast iron VCh-80.

RESTORATION SURFACING OF METALLURGICAL EQUIPMENT COMPONENTS WITH FLUX-CORED WIRES IN «TM. VELTEK LTD.». *L.N. Orlov, A.A. Golyakevich («TM. VELTEK LTD.», Kiev, Ukraine).* The electric arc surfacing with flux-cored wire occupies the strong positions in renovation of parts of machine and mechanisms of metallurgical equipment.

For restoration surfacing of rollers of machines for continuous casting of billets the enterprise «TM. VELTEK LTD.» is manufacturing the flux-cored wire VELTEK-N470 of 2.0–4.0 mm diameter in combination with fluxes AN-20 and AN-26 and self-shielding wire VELTEK-N470S of 2.0–

волоки обеспечивают самопроизвольное отделение шлаковой корки, отсутствие пор и трещин в наплавленном металле при соблюдении технологических рекомендаций. Сопоставительные испытания порошковых проволок ВЕЛТЕК-Н470 и ВЕЛТЕК-Н470С показали, что они находятся на уровне проволок ведущих зарубежных компаний ОК15.73 (ЭСАБ), 4142MM-S LC, 414MM-S (Weldclad), WLDC-3N (Welding Alloys). Наплавленные ролики имеют ресурс не менее 1,5 млн. т.

Прокатные валки — основной технологический инструмент в прокатном переделе металлургических заводов. От их надежности, износостойкости рабочей поверхности, межремонтного срока службы в основном зависят технико-экономические показатели работы прокатных цехов и в первую очередь производительность прокатных станов, качество готового проката и затраты на его производство. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» совместно с металлургическими заводами КГМК «Криворожсталь», ДМК им. Дзержинского и МК «Запорожсталь» выполнен комплекс работ, направленных на совершенствование наплавочных материалов, технологии и оборудования для наплавки прокатных валков. На базе стандартных порошковых проволок марок ПП-Нп-35В9Х3СФ и ПП-Нп-25Х5ФМС были отработаны системы легирования и разработаны новые порошковые проволоки с учетом условий эксплуатации прокатных валков: ВЕЛТЕК-Н370-РМ, ВЕЛТЕК-Н460, ВЕЛТЕК-Н500-РМ, ВЕЛТЕК-Н500-РМ, ВЕЛТЕК-Н505-РМ, ВЕЛТЕК-Н550-РМ. Наплавка этими проволоками выполняется под флюсами АН-20, АН-26, АН-348А. Использование предлагаемых проволок повысило эффективность работы прокатных валков.

Актуальна задача повышения эффективности использования трубопрокатных станов, в том числе путем увеличения срока межремонтной службы валков.

Совместно с Никопольским заводом бесшовных труб ЗАО «Нико Тьюб» выполнены работы по внедрению в процесс упрочняющей наплавки валков непрерывного стана порошковой проволоки ВЕЛТЕК-Н480НТ с системой легирования C–Si–Mn–Cr–V–Mo–W. Проволока обеспечивает устойчивый процесс наплавки под флюсами АН-20С, АН-26П на постоянном токе обратной полярности, легкую отделимость шлаковой корки, отсутствие трещин и пор в наплавленном металле. Твердость наплавленного металла *HRC* 50–56. Повышение качества прокатываемых труб и увеличение срока службы прокатных валков стало итогом применения проволоки на ЗАО «Нико Тьюб».

Для ремонта деталей металлургического оборудования в арсенале ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» имеется целая гамма порошковых проволок.

Самозащитная порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н250-РМ диаметром 1,6–3,0 мм успешно применяется при восстановлении подушек прокатных клетей и ножниц, шпинделей и муфт приводов прокатных валков, звездочек, втулок, валов, ступиц и др. По своим характеристикам ВЕЛТЕК-Н250-РМ на уровне лучших зарубежных образцов проволок, например DUR 250-FD (Böhler).

Реализована наплавка кернов клещевых кранов и губок стрипперного крана, которые в процессе эксплуатации испытывают ударные и сжимающие нагрузки в условиях высоких температур. Керны контактируют с металлом, разогретым до 800–1250 °С и подвержены термоциклированию (периодическое охлаждение в баках с водой). Для этой цели применена самозащитная порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н480С диаметром 2 мм с системой легирования (C–Cr–W–Mo–V–Ti), которая обеспечивает твердость наплавленного металла после наплавки *HRC* 50-54, горячую твердость *HRC* 40–44 при 600 °С.

2.4 mm diameter. These flux-cored wires provide a spontaneous removal of slag crust, absence of pores and cracks in deposited metal if the technological recommendations are kept. The comparative tests of flux-cored wires VELTEK-N470 and VELTEK-N470S showed that they are at the level of wires of leading foreign companies, such as OK15.73 (ESAB), 4142MM-S LC, 414MM-S (Weldclad), WLDC-3N (Welding Alloys). The as-surfaced rollers have a service life of not less than 1.5 million tons.

Mill rolls are the main technological tool in rolling process of metallurgical plants. The technical-economical characteristics of operation of milling shops and, first of all, the efficiency of rolling mills, quality of ready rolled metal and expenses for its production depend mainly on their reliability, wear resistance of working surface, inter-repair period of service life.

«TM. VELTEK LTD.» together with metallurgical plants «Krivorozhstal», Dneprovsky Metallurgical Works after name of Dzerzhinsky, «Zaporozhstal» has carried out a complex of works, directed to the improvement of surfacing materials, technologies and equipment for surfacing the mill rolls. On the base of standard flux-cored wires of grades PP-Np-35V9Kh3SF and PP-Np-25Kh5FMS the alloying systems were optimized and new flux-cored wires were developed with account of conditions of service of mill rolls: VELTEK-N370-RM, VELTEK-N460, VELTEK-N500-RM, VELTEK-N500-RM, VELTEK-N505-RM, VELTEK-N550-RM Surfacing with these wires is performed under fluxes AN-20, AN-26, AN-348A. The application of offered wires increased the efficiency of mill rolls operation.

The task of increasing the effectiveness in use of pipe-rolling mills is urgent, including the increase of period of inter-repair service life of rolls.

Together with Nikopol plant of seamless pipes (CJSC «Niko Tube») the works were made on implementation of continuous mill of flux-cored wire VELTEK-N480NN with alloying system C–Si–Mn–Cr–V–Mo–W into the process of strengthening surfacing of rolls. The wire provides a stable process of surfacing under fluxes AN-20S, AN-26P at direct current of reversed polarity, easy removal of slag crust, absence of cracks and pores in the deposited metal. Hardness of deposited metal is 50–56 *HRC*. The improvement of quality of pipes being rolled and increase in period of servile life of mill rolls became the premises of application of the wire at the CJSC «Niko Tube».

There is a whole series of flux-cored wires at the «TM. VELTEK LTD.» for the repair of the metallurgical equipment components.

The self-shielding flux-cored wire VELTEK-N250-RM of 1.6–3.0 mm diameter is used successfully at restoration of pads of rolling stands and shears, spindles and couplings of drives of mill rolls, sprockets, bushings, shafts, hubs, etc. As to their characteristics the VELTEK-N250-RM is at the level of the best foreign samples of wires, for example DUR 250-FD (Böhler).

The surfacing of center-punches of tong-type cranes and bites of stripping crane, which during service undergo the shock and compressive loads under high-temperature conditions, was realized. Center-punches contact the metal heated up to 800–1250 °C and subjected to thermal cycling (periodic cooling in water tanks). For this purpose the self-shielding flux-cored wire of grade VELTEK-N480S of 2.0 mm diameter with alloying system (C–Cr–W–Mo–V–Ti) was used, providing the hardness *HRC* 50–54 of deposited metal after surfacing, hot hardness *HRC* 40–44 at 600 °C. The application of mechanized surfacing with wire VELTEK — N480S instead of electrodes T-590, T-620 allowed increasing the

Применение механизированной наплавки проволокой ВЕЛТЕК-Н480С взамен электродов Т-590, Т-620 позволило повысить срок службы кернов в 4–5 раз. Задача восстановления кернов решена в комплексе (оборудование–материал–технология).

Для наплавки крановых колес предлагаются порошковые проволоки марок ВЕЛТЕК-Н300-РМ, ВЕЛТЕК-Н350-РМ диаметром 1,6–4,0 мм. Наплавка осуществляется под флюсами АН-348, АН-60 или в углекислом газе. В последние годы успешно применяется ВЕЛТЕК-Н300-РМ взамен сплошной проволоки Нп-30ХГСА. Для наплавки колес тяжело нагруженных кранов разработана технология наплавки под флюсом АН-348 порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н285 диаметром 3,6 мм. Хромомарганцовистый наплавленный металл со структурой метастабильного аустенита обеспечивает высокую износостойкость колес вследствие развития процесса самоупрочнения под воздействием наклепа.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. *А.В. Паустовский, Ю.Г. Ткаченко, Р.А. Алфинцева, С.Н. Кириленко, Д.З. Юрченко (Ин-т проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, Украина).* В ИПМ НАН проведен цикл работ по совершенствованию состава и оптимизации технологии изготовления электродных материалов на основе сплавов системы Ni–Cr–Al за счет введения в них легирующих элементов (кремния, титана, марганца, кобальта), разработке электродных материалов для электроискрового восстановления деталей на основе сплава РЕ8418 (Ni–Ni_3B–Cu–Si) и карбидов титана, хрома и вольфрама. а также электродных материалов системы B_4C–TiB_2 для упрочнения металлических поверхностей.

Исследования фазового состава и структуры электродных материалов на основе никеля показали, что легирование базового сплава Ni–Cr–Al добавками кремния, титана, марганца, кобальта не меняют эвтектического характера структуры. Кремний и титан повышают микротвердость сплава на 10–12 %, а марганец и кобальт не влияют на нее. Получены покрытия из стали РЕ8418-WC толщиной до 5 мм, твердость которых, в зависимости от содержания карбида, изменялась в пределах 2,7–8,7 ГПа.

Установлено, что при упрочнении металлических поверхностей с использованием электродов из сплава B_4C–TiB_2 получены покрытия толщиной до 100 мкм, твердостью 32–40 ГПа и высокой износостойкостью.

Установлены кинетические зависимости электроэрозии и массопереноса разработанных материалов, на базе которых проведена оптимизация технологии электроискрового легирования металлических поверхностей.

Исследована структура, фазовый состав и функциональные свойства электроискровых покрытий на сталях и сплаве титана. Установлено, что износостойкость электроискровых покрытий на стали 30ХГСА, полученных с использованием разработанных металлических сплавов, в 3–4 раза выше, чем стали 30ХГСА без покрытия. Электроискровое легирование этими сплавами стали 45 повышает ее жаростойкость в 3–5 раз, а титанового сплава ВТ6 — в 4 раза.

Изготовлены партии электродов для реализации упрочнения и восстановления изношенных деталей технологического оборудования. Стоимость восстановления деталей электроискровым методом в зависимости от размера составляет 2–5 % стоимости самой детали.

period of service life of punches by 4–5 times. The task of restoration of punches was integrally solved (equipment-material-technology).

For surfacing the crane wheels the flux-cored wires of grades VELTEK-N300-RM, VELTEK-N350-RM of 1.6–4.0 mm diameter were offered. The surfacing is realized under fluxes AN-348, AN-60 or in CO_2. During recent years, VELTEK-N300-RM is successfully applied instead of solid wire Np-30KhGSA. For surfacing of wheels of heavy loaded cranes the technology of surfacing under flux AN-348 with flux-cored wire of VELTEK-N285 grade of 3.6 mm diameter was developed. Chrome-manganese deposited metal with a structure of metastable austenite provides the high wear resistance of wheels due to the development of the self-strengthening process under the effect of cold working.

DEVELOPMENT OF ELECTRODE MATERIALS FOR ELECTRIC SPARK STRENGTHENING AND RESTORATION OF WORN-OUT SURFACES. *A.V. Paustovsky, Yu.G. Tkachenko, R.A. Alfintseva, S.N. Kirilenko, D.Z. Yurchenko (I.N. Frantsevich Institute of Problems of Materials Science, NASU, Kiev, Ukraine).* In IPM of NASU a cycle of works was carried out on the improvement of composition and optimization of technology for manufacture of electrode materials on the base of alloys of Ni–Cr–Al system by adding of alloying elements (silicon, titanium, manganese, cobalt) into them, development of electrode materials for electric spark restoration of parts on the base of alloy RE8418 (Ni–Ni_3B–Cu–Si) and carbides of titanium, chromium and tungsten, and also electrode materials of system B_4C–NiB_2 for strengthening of metallic surfaces.

Investigation of phase composition and structure of electrode materials on nickel base showed that alloying of basic alloy Bi–Cr–Al with additions of silicon, titanium, manganese, cobalt does not change the eutectic nature of the structure. Silicon and titanium increase the microhardness of alloy by 10–12 %, while manganese and cobalt do not have effect on it. Coatings of steel RE8418-WC of thickness of up to 5 mm were produced, the hardness of which varied within 2.7–8.7 GPa ranges depending on carbide content.

It was found that in strengthening of metal surfaces by using electrodes of B_4C–TiB_2 alloy the coatings of up to 100 μm thickness, 32–40 GPa hardness and high wear resistance were produced.

Kinetic relationships of electric erosion and mass transfer of developed materials were established, on the basis of which the technology of electric spark alloying of metal surfaces was optimized. Structure, phase composition and functional properties of electric spark coatings on steels and titanium alloy were investigated. It was found that the wear resistance of electric spark coatings on steel 30KhGSA, produced by applying the developed metallic alloys, is 3–4 times higher than that of steel 30KhGSA without coating. The electric spark alloying of steel 45 by these alloys increases its heat resistance by 3–5 times, and titanium alloy VT6 — by 4 times.

The batches of electrodes were manufactured for realization of strengthening and restoration of worn-out parts of the technological equipment. The cost of restoration of parts by the electric spark method is 2–5 % of cost of the part depending on its size.

ЗБІЛЬШЕННЯ РОБОЧОГО РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ДОРОЖНІХ МАШИН. *В.В. Перемітько (Державний техн. ун-т, Дніпродзержинськ, Україна).* Зі збільшенням потужності дорожніх машин на гусеничному ходу підвищення їх швидкодії та продуктивності супроводжуються ускладненням умов роботи окремих вузлів, деталей та інструмента. До таких елементів відносяться деталі ходової частини бульдозерів і екскаваторів. Враховуючи високу вартість виготовлення та ремонту, різні вимоги до окремих їх елементів (опорні та підтримувальні котки, ланцюги, натяжні колеса, ведучі зірочки, втулки, траки) для збільшення терміну служби та забезпечення високих експлуатаційних характеристик робочі поверхні зношуваних елементів підлягають зміцненню електродуговим наплавленням. Досягти відчутного збільшення терміну експлуатації у такій ситуації вдається за рахунок додаткового впливу на зварювальну ванну, кристалізацію металу наплавок або наступною термомеханічною їх обробкою.

В даній роботі розглядалась можливість додаткового керування властивостями наплавлених шарів за рахунок подавання порошкових матеріалів у зварювальну ванну. Для цього використовувалися порошки Al_2O_3, Cu, SiC, карбіду бору B_4C, карбонітриду титану TiCN, чистої міді та карбіду кремнію з розміром часток не більше 200 мкм. Зразки виготовлялись зі сталі 35Х. Дугове наплавлення проводили дротами Св-08А, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА та Нп-65 під шаром флюсу АН-348А. Для створення можливості окремого подавання порошкового присадкового матеріалу на зварювальну дугу накладалися керуючі магнітні поля — аксіальне та радіальне. Під час накладання зовнішніх магнітних дій у межах 90 мТл досягалося збільшення розмірів зварювальної ванни на 15–20 мм. Це дало змогу подавати порошковий матеріал у хвостову частину ванни або зі зміщенням місця подачі вбік від осі дуги. В результаті металографічних досліджень наплавок спостерігається подрібнення зерна, що може розцінюватися як результат сумісної дії зовнішнього магнітного поля та часток порошку, що виступали у ролі додаткових осередків кристалізації.

Додавання порошкових матеріалів при наплавленні дає змогу зафіксувати мартенситну фазу, яка становить від 20 до 50 %, і збільшити частку хрому до 7–9 % та бору до 0,4 %, максимально наближуючись до складу наплавок, рекомендованих стандартом EN 14700:2008.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ В АРМАТУРО- И ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ. *Е.Ф. Переплетчиков (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Практика показала, что плазменно-порошковая наплавка (ППН) обеспечивает высокую работоспособность деталей за счет отличного качества, высокой однородности и благоприятной структуры наплавленного металла, обусловленного специфическими условиями кристаллизации сварочной ванны. ППН успешно конкурирует с ручной наплавкой и во многих случаях с механизированной дуговой наплавкой проволокой или лентой под флюсом. Присадочные порошки для плазменной наплавки во многих случаях дешевле соответствующих проволок и лент. Порошки могут быть получены практически из любого пригодного для наплавки сплава независимо от его твердости, пластичности, степени легирования и других свойств, и с этой точки зрения они являются универсальным присадочным материалом.

ППН особенно эффективна в условиях серийного производства арматуры различного назначения с уплотнитель-

IMPROVEMENT OF SERVICE LIFE OF RUNNING GEAR PARTS OF ROAD MACHINES. *V.V. Peremitko (State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine).* With growth of capacity of road machines of caterpillar type the increase of their speed and efficiency is accompanied by complication of conditions of operation of separate units, parts and tools. Such elements include the parts of running gears of bulldozers and excavators. Taking into account the high cost of manufacture and repair, different requirements to separate their elements (support rollers, chains, jockey wheels, driving gears, bushings, tracks) the working surfaces of worn-out elements are subjected to strengthening by electric arc surfacing to increase the period of service and providing the high service characteristics. It is possible to attain the significant increase in period of service in this situation by additional effect on weld pool, crystallization of metal of deposits or by subsequent thermo-mechanical their treatment.

The present work considered the possibility of auxiliary control of properties of deposited layers by feeding the powdered materials into the weld pool. For this purpose, the powders Al_2O_3, Cu, SiC, boron carbide B_4C, titanium carbonitride TiCN, pure copper and silicon carbide with size of particles of not larger than 200 μm were used. Samples were manufactured of steel 35X. Arc surfacing was performed with wires Sv-08A, Sv-08G2S, Np-30KhGSA and Np-65 under the layer of flux AN-248A. To provide the possibility of separate supply of the powdered filler material to the welding arc, the controlled magnetic fields, axial and radial ones, were superposed. During the superposition of external magnetic effects within the ranges of 90 mT the weld pool was increased by 15–20 mm. This gave a possibility to supply the powdered material into the tail pat of the pool or with shifting the place of supply aside the arc axis. As a result of metallographic examinations of deposits the grain refining is observed, that can be regarded as a result of combined effect of external magnetic field and powder particles, which played a role of additional centers of crystallization.

Adding of powdered materials during surfacing gives an opportunity to observe a martensitic phase, which is from 20 to 50 %, and to increase the fraction of chromium up to 7–9 % and boron up to 0.4 %, maximum approaching the composition of deposits recommended by standard EN 14700:2008.

EXPERIENCE OF APPLICATION OF PLASMA-POWDER SURFACING IN VALVES AND ENGINE MANUFACTURE. *E.F. Pereplyotchikov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The practice showed that the plasma-powder surfacing (PPS) provides high serviceability of parts due to excellent quality, high homogeneity and favorable structure of deposited metal, stipulated by specific conditions of the weld pool crystallization. PPS competes successfully with manual surfacing and in many cases with the mechanized submerged arc surfacing with wire or strip. The filler powders for the plasma surfacing are cheaper in many cases as compared with appropriate wires and strips. The powders can be produced almost of any alloy suitable for surfacing independently of its hardness, ductility, degree of alloying and other properties and they, from this point of view, are the universal filler material.

PPS is especially effective under the conditions of serial manufacture of different-purpose valves with sealing surfaces deposited by alloys on the base of cobalt, nickel, iron, copper. At the E.O. Paton Electric Welding Institute (PWI) a large

ными поверхностями, наплавленными сплавами на основе кобальта, никеля, железа, меди. В ИЭС накоплен большой опыт при наплавке деталей как мелких задвижек, вентилей (DN50), так и крупных (DN1000 и выше) для стационарных и транспортных энергетических установок, химических предприятий, нефте- и газопроводов. Низкое содержание железа в наплавленном слое при ППН кобальтовыми или никелевыми сплавами обеспечивается за счет малого проплавления основного металла. Наряду с небольшим угаром легирующих элементов это позволяет получать металл требуемого состава уже в первом слое.

ППН применяется в промышленности для наплавки выпускных клапанов ДВС различных типоразмеров, начиная с клапанов легковых автомобилей диаметром 20–35 мм и заканчивая клапанами судовых дизелей диаметром 300–450 мм. При наплавке клапанов в полной мере проявляется важнейшее преимущество ППН — возможность нанесения тонких слоев с малым термическим воздействием на основной металл. Это выгодно отличает ее от индукционной наплавки, при которой основной металл неизбежно подвергается сильному перегреву с образованием зоны крупного зерна, что зачастую является причиной усталостного разрушения клапанов в процессе эксплуатации.

Опыт промышленного применения показывает, что ППН позволяет повысить качество, надежность и долговечность наплавляемых деталей, улучшить условия труда. По сравнению с ручной наплавкой на 30–50 % повышается производительность труда, на 50–70 % сокращается расход наплавочных материалов и примерно на 50 % расход электроэнергии.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАПЛАВКИ И ДИАМЕТРА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЕ ПЛАВЛЕНИЯ. *С.Г. Плис (Донбас. гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Основными характеристиками плавления при наплавке являются: коэффициент расплавления проволоки $\alpha_р$, коэффициент наплавки $\alpha_н$ и коэффициенты общих потерь ψ и потерь на разбрызгивание $\psi_{рб}$ электродного металла, численные значения которых определяются прежде всего значениями сварочного тока и напряжения. Влияние этих параметров нами и исследовалось.

Для исследования применялась порошковая проволока диаметром 3,0–3,8 мм при скорости наплавки 22 м/ч. Наплавляли одиночные валики длиной 100 мм на пластины размером 200×120×10 мм, изготовленные из стали ВСт3сп.

По результатам экспериментальных данных были построены графические зависимости $\alpha_р = f(I_{св})$, $\alpha_н = f(I_{св})$, $\psi_{рб} = f(U_д)$. С увеличением сварочного тока коэффициенты $\alpha_р$ и $\alpha_н$ растут, а коэффициенты ψ, $\psi_{рб}$ уменьшаются. Увеличение длины вылета проволоки до 20–50 мм приводит к росту $\alpha_р$, а коэффициент наплавки $\alpha_н$ растет до определенного предела, коэффициенты потерь ψ и $\psi_{рб}$ минимальны. При вылете проволоки более 70 мм $\alpha_н$ будет уменьшаться в связи со значительным ростом коэффициентов потерь ψ и $\psi_{рб}$. Изменение напряжения на дуге не влияет на значение $\alpha_р$, а $\alpha_н$ изменяется по кривой с экстремумом, достигая максимального значения при $U_д$ = = 26–30 В, коэффициенты ψ и $\psi_{рб}$ при этом минимальны. Исследовали зависимость коэффициентов $\alpha_р$ и $\alpha_н$ от силы тока и диаметра проволоки. Методами математической статистики установлено отсутствие корреляционной связи между коэффициентами $\alpha_р$, $\alpha_н$ и диаметром проволоки. Изменение диаметра проволоки в интервале 3,0–3,8 мм при одинаковом токе не влияет на показатели плавления

experience has been gained in surfacing parts such as small gates, valves (DN50), and also large ones (DN1000 and higher) for stationary and transport power equipment, chemical enterprises, oil- and gas pipelines. The low content of iron in deposited layer at PPS with cobalt or nickel alloys is guaranteed due to a small dilution of the base metal. Together with a low burn-out of alloying elements, this allows producing metal of the required composition even in the first layer.

PPS is used in industry for surfacing of exhaust valves of internal combustion engines of different types and sizes starting from motor cars valves of 20–35 mm diameter and finishing by ship diesel valves of 300–450 mm diameter. In surfacing of valves the most important advantage of PPS is manifested, i.e. the possibility of deposition of thin layers with a low thermal effect on base metal. This differs it beneficially from induction surfacing, where the base metal is inevitably subjected to a strong overheating with the formation of a coarse grain zone, that is frequently the cause of fatigue fracture of valves during service.

Experience of industrial application shows that PPS allows increasing quality, reliability and service life of parts being surfaced, improving the labor conditions. As compared with the manual surfacing the labor productivity is increased by 50 %, consumption of surfacing materials is reduced by 50–70 % and consumption of electric power — approximately by 50 %.

EFFECT OF SURFACING CONDITIONS AND DIAMETER OF FLUX-CORED WIRE ON CHARACTERISTICS OF ITS MELTING. *S.G. Plis (Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* The main characteristics of melting in surfacing are as follows: coefficient of wire melting α_m, coefficient of surfacing α_s, and coefficients of total losses ψ and losses for spattering ψ_{sp} of electrode metal, numerical values of which are determined, first of all, by the value of welding current and voltage. It was the effect of these parameters that was investigated by us.

For investigations, the flux-cored wire of 3–3.8 mm diameter at 22 mm/h speed of surfacing was used. The single beads of 100 mm length were deposited on 200×120×10 mm size plates manufactured of steel VSt3 (killed).

From the results of experimental data the graphical relations $\alpha_m = f(I_w)$, $\alpha_s = f(I_w)$, $\psi_{sp} = f(U_a)$ were plotted. With increase in welding current the coefficients α_m and α_s are growing, and the coefficients ψ and ψ_{sp} are decreased. The increase in wire stickout length up to 20–50 mm leads to the growth in α_m, and that of surfacing α_s is growing to a definite limit, the coefficients of losses ψ and ψ_{sp} are minimum. At wire stickout of more than 70 mm, α_m will decrease due to a significant growth in coefficients ψ and ψ_{sp}. Change in arc voltage does not influence the value α_m, and α_s is changed along the curve with extremum, reaching the maximum value at U_a = 26–30 V, coefficients ψ and ψ_{sp} are minimum here. The dependence of coefficients α_m and α_s on current value and wire diameter was investigated. Using methods of mathematical statistics the absence of correlation between the coefficients α_m, α_s and wire diameter was found. The change in wire diameter within the range of 3.0–3.8 mm at similar current does not influence the characteristics of melting of flux-cored wire at 30 mm wire stickout. With decrease in wire diameter from 3.8 to 3.0 mm the increase in current density occurs, but the specific resistance of charge

порошковой проволоки при вылете проволоки 30 мм. При уменьшении диаметра проволоки от 3,8 до 3 мм происходит увеличение плотности тока, но уменьшается удельное сопротивление шихты в связи с повышением ее плотности, что приводит к отсутствию зависимости $\alpha_р$ и $\alpha_н$ от диаметра самозащитной порошковой проволоки. Оптимальный режим наплавки: $I_{св}$ = 280–350 А, $U_д$ = 25–29 В, H = 30–50 мм, производительность наплавки составляет от 5,5 до 6,5 кг/ч.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ И ЛЕНТОЙ. *В.А. Пресняков (Донбас. гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* В последнее время все большее применение при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивного изнашивания, находит способ электроконтактной наплавки порошковых материалов. Возможность вести процесс в режиме спекания и припекания порошков позволяет с помощью относительно недорогих, общедоступных наплавочных материалов получить высокие эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

Целью работы является усовершенствование способа электроконтактной наплавки деталей сельскохозяйственных машин порошковой проволокой и лентой.

Сущность способа заключается в нагреве порошкового сердечника и приконтактного объема металла оболочки порошковой проволоки или ленты, а также восстанавливаемой детали импульсами электрического тока и их совместном пластическом деформировании, обеспечивающих образование физического контакта, активацию контактных поверхностей и объемное взаимодействие частиц порошка друг с другом и с материалом оболочки. Оболочка и деталь в зоне контакта нагреваются до температуры плавления соединяемых материалов. Таким образом, износостойкий слой образуется в результате компактирования порошкового сердечника присадочного материала в режиме спекания, а образование прочного соединения оболочки с поверхностью упрочняемой детали происходит в режиме наплавки.

Разработанный процесс электроконтактной наплавки имеет следующие основные преимущества: высокую производительность и низкую энергоемкость нанесения покрытия, минимальную зону термического влияния тока на деталь, отсутствие необходимости в использовании защитной атмосферы и отсутствие светового излучения и газовыделения, высокую износостойкость и прочность соединения наплавленного и основного металла.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ИЗНОШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ САМОЛЕТОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ22 АРГОНОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ. *В.П. Прилуцкий[1], С.Л. Шваб[1], И.А. Радкевич[1], С.В. Ахонин[1], С.Л. Антонюк[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ГП «АНТК им. О.К. Антонова», Киев, Украина).* Одним из существенных недостатков большинства титановых сплавов, в частности, сплава ВТ22, является малое сопротивление износу. Поэтому в процессе эксплуатации узлов и деталей возникают дефекты поверхности, вызванные ее износом. Такие дефекты наблюдаются в некоторых деталях современных пассажирских и транспортных самолетов, например, в рельсах механизации крыла. В связи с этим возникает необходимость замены изношенной детали, что связано со значительными затратами на ее изготовление.

is decreased due to increase in its density, thus leading to the absence of dependence of α_m and α_s on diameter of the self-shielding flux-cored wire. The optimum surfacing condition: I_w = 280–350 A, U_a = 25–29 V, H = 30–50 mm, surfacing efficiency is from 5.5 up to 6.5 kg/h.

IMPROVEMENT OF METHOD OF ELECTRIC CONTACT SURFACING BY FLUX-CORED WIRE AND STRIP. *V.A. Presnyakov (Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* Over the recent years the method of electric contact surfacing of powdered materials finds the more and more wide application in restoration and strengthening of parts of agricultural machines, operating under conditions of abrasive wear. The feasibility of process performance under the condition of sintering and sintering-on of powders using relatively not expensive, generally-used surfacing materials allows producing high service characteristics of the deposited layer.

The aim of the work is to improve the method of electric contact surfacing of parts of agricultural machines by flux-cored wire and strip.

The principle of the method consists in heating of powder core and near-contact volume of metal of sheath of flux-cored wire or strip, as well as of part being restored by pulses of electric current and their combined plastic deforming, providing the formation of a physical contact, activation of contact surfaces and volumetric interaction of powder particles with each other and the sheath material. The sheath and part are heated in the zone of contact up to the temperature of melting of materials being joined. Thus, the wear-resistant layer is formed as a result of compacting the powder core of filler material under the condition of sintering, and the formation of strong joint of sheath with the surface of part being strengthened occurs under the condition of surfacing.

The developed process of electric contact surfacing has the following main advantages: high efficiency and low energy intensity of coating deposition, minimum zone of thermal effect of current on the part, absence of need in applying the shielding atmosphere and absence of light radiation and gas evolution, high wear resistance and strength of joint of deposited and base metal.

RESTORATION OF PROPERTIES OF WORN-OUT SURFACE OF AIRPLANE ELEMENTS OF TITANIUM ALLOY VT22 BY USING THE ARGON-ARC SURFACING. *V.P. Prilutsky[1], S.L. Shvab[1], I.A. Radkevich[1], S.V. Akhonin[1], S.L. Antonyuk[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]SE «O.K. Antonov ANTK», Kiev, Ukraine).* One of the significant drawbacks of majority of titanium alloys, in particular alloy VT22, is a low wear resistance. Therefore, the surface defects, caused by its wear, are occurred in the process of service of units and parts. These defects are observed in some parts of modern passenger and transport airplanes, for example in rails of the wing mechanization. In this connection the need appears in replacement of a worn-out part, thus causing the great expenses for its manufacture.

Для восстановления зон выработки применяются различные технологии газотермического нанесения покрытий, существенными недостатками которых является ограничение толщины и низкая адгезия покрытий.

Предложено использовать для восстановления изношенных (поврежденных) участков деталей технологический процесс наплавки. Представлены результаты исследований, на основании которых разработан технологический процесс наплавки магнитоуправляемой дугой, горящей в аргоне на вольфрамовом электроде. Для получения наплавленного слоя необходимых размеров используется дуга, пространственное положение которой управляется с помощью внешнего поперечного переменного магнитного поля. При этом глубина проплавления составляет 1–2 мм, ширина слоя находится в пределах 15–22 мм, а высота — 2–3 мм.

Полученные результаты исследований использованы при восстановлении плоских и торцевых участков рельса с глубиной выработки до 2 мм и длиной до 100 мм. В качестве присадочного материала использовали проволоку марки СП15. Показано, что разработанный процесс выполнения наплавочных работ позволил наплавить за один проход необходимое количество металла, которое после последующей механической обработки наплавленных участков обеспечило полное восстановление функциональных свойств рельса.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. *В.Г. Радченко, М.В. Радченко, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко (Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия).* Для решения проблем износа рабочих поверхностей актуальным является развитие уже существующих и разработка новых способов поверхностного упрочнения и восстановления рабочих поверхностей. Как известно, в таких случаях предпочтение отдается аппаратуре и технологиям, использующим концентрированные потоки энергии, как например, электронные пучки в вакууме, лазерные лучи, плазменные струи. При этом последние 10–12 лет все активнее начинают развиваться процессы нанесения защитных покрытий напылением с использованием сверхзвуковых газовых струй. Все процессы напыления без исключения имеют один существенный недостаток, ограничивающий промышленное использование — отслоение покрытий ввиду относительно низкой прочности сцепления с основой.

Для решения этой проблемы в ООО «НИИ Высоких Технологий» (г. Барнаул, Россия) в рамках Федеральной программы России «СТАРТ» был выполнен комплекс исследований, включающий расчеты сопел Лаваля с различными числами Маха, изготовление серии сопел и их экспериментальную апробацию в процессе наплавки износостойких порошковых сплавов на изношенные поверхности деталей. В результате разработан и запатентован способ и аппаратура для СГП-наплавки. Отличительной технологической чертой аппаратуры является повышение концентрации энергии газопламенного источника нагрева и уменьшение зоны термического влияния при увеличении скорости истечения газовых потоков на срезе сопла газопламенной установки.

Установлены рациональные технологические режимы процесса СГП-наплавки, при соблюдении которых создаются условия, позволяющие получать покрытия с износостойкостью в 8–10 раз выше износостойкости незащищенных поверхностей труб из стали 20К и в 3,6–4,0 раза выше

To restore the worn-out places, different technologies of thermal spraying are applied, the significant drawback of which is the limit of thickness and low adhesion of coatings. The technological process of surfacing was offered to restore the worn-out (damaged) areas of parts. The results of investigations are given, on the basis of which the technological process of surfacing with a magnetically-controlled arc, burning in argon at tungsten electrode, was developed. To produce the deposited layer of required sizes, the arc is used, the spatial position of which is controlled by using the external transverse alternating magnetic field. Here, the depth of penetration is 1–2 mm, width of layer is within the ranges of 15–22 mm, and the height is 2–3 mm.

The obtained results of investigations were used in restoration of flat and edge areas of the rail at a depth of groove of up to 2 mm and length of up to 100 mm. As a filler material the wire of grade SP15 was used. It was shown that the developed process allowed surfacing the required amount of metal per one pass, which provided the full restoration of functional properties of the rail after subsequent mechanical treatment of deposited areas.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF SUPERSONIC GAS-POWDER SURFACING FOR SOLUTION OF PROBLEM OF WEAR OF PARTS OF MACHINES AND MECHANISMS. *V.G. Radchenko, M.V. Radchenko, Yu.O. Shevtsov, T.B. Radchenko (I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia).* To solve the problem of wear of operating surfaces is actual by the improvement of existing and development of new methods of surface strengthening and restoration of the operating surfaces. As is known, in these cases the equipment and technologies are preferable, which are applying the concentrated flows of energy, for example, electron beams in vacuum, laser beams, plasma jets. Moreover, during recent 10–12 years the processes of deposition of protective coatings by spraying using supersonic gas jets began to be more actively developed. All the processes of spraying without an exception have one significant drawback, limiting the industrial application, such as delaminating of coatings due to a relatively low adhesion strength with a base.

To solve this problem in LLC «NII of High Technologies», (Barnaul, Russia) a complex of investigations was carried out within the scope of «START» Federal Program of Russia, including the calculations of Laval nozzles with different Mach numbers, manufacture of series of nozzles and their experimental testing in the process of surfacing of wear-resistant powdered alloys on worn-out surfaces of parts. As a result, the method and equipment for supersonic gas powder (SGP) surfacing was developed and patented. The peculiar feature of the equipment is the increase in concentration of energy in gas-flame heat source and decrease in heat-affected zone at increase of rate of outflow of gas flows at the nozzle section of the gas-flame installation.

The rational technological conditions of process of SGP-surfacing were established, at keeping of which the conditions are created, which make it possible to produce the coatings with wear resistance of 8–10 times higher than that of unprotected surfaces of pipes of steel 20K and 3.6–4.0 times higher as compared with wear resistance of coatings deposited by subsonic gas-powder surfacing.

по сравнению с износостойкостью покрытий, наплавленных дозвуковой газопорошковой наплавкой.
Полученные результаты позволяют рекомендовать использование процесса сверхзвуковой газопорошковой наплавки для решения проблемы износа деталей машин и механизмов в различных отраслях промышленности.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕРМИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК. *И.К. Сенченков[1], И.А. Рябцев[2], О.П. Червинко[1], И.И. Рябцев[2], А.А. Бабинец[2] ([1]Ин-т механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Оценка долговечности наплавленных инструментов и оснастки для горячего деформирования металлов и сплавов включает решение двух основных задач: расчет остаточного технологического и эксплуатационного напряженно-деформированного и микроструктурного состояния деталей после наплавки и расчет их долговечности и ресурса на основе критериев термической и механической усталостной прочности.
В принятой схеме расчета процессы наплавки и последующего эксплуатационного циклического термического и механического нагружения прокатного валка рассматриваются как единый процесс. Предполагается, что валок подпирается опорным валком и не испытывает деформации изгиба.
Расчеты проводили для валка горячей прокатки из стали 50ХФА с гладкой рабочей бочкой диаметром 1435 мм и длиной 1565 мм. На валок наплавляется подслой проволокой Св-08 и износостойкий слой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС. Стадия наплавки моделируется в рамках осесимметричной постановки задачи, стадия эксплуатации описывается в рамках задачи о плоской деформации для осевого сечения цилиндра. При этом на второй стадии учитывают остаточные деформации, напряжения, упрочнение и микроструктуру, сформированные на стадии наплавки.
После наплавки наружный слой имеет мартенситную, подслой — ферритную, а в металле ЗТВ формируется бейнитно-перлитная структура. Пластические деформации в наплавленных слоях не превышают 6 % и практически отсутствуют в основном металле. В наплавленных слоях интенсивность напряжений значительно ниже упрочненного предела текучести сталей, т. е. они находятся в упругом состоянии.
В процессе эксплуатации существенно циклически нагруженным может оказаться подслой, поскольку сталь, наплавленная проволокой Св-08, имеет низкий предел циклической выносливости. Экспериментальным признаком разрушения может быть появление трещины заданной малой длины l_o, обычно $l_o \approx 0{,}1–1{,}0$ мм. Между тем ресурс многих элементов конструкций не исчерпывается появлением таких трещин. Поэтому вторая стадия ресурса может реализоваться при наличии трещины и исчерпывается при достижении ее длиной l_o критического значения $l_{кр}$.
Количество циклов N_2, отвечающее за достижение трещин некоторого критического значения длины $l_{кр}$, после суммирования со значением N_1, отвечающим стадии инициирования трещины, определяет ресурс эксплуатации наплавленной детали.

The obtained results allow recommending the process of supersonic gas-powder surfacing for the solution of problem of wear of parts of machines and mechanisms in various branches of industry.

CALCULATED-EXPERIMENTAL METHOD OF ASSESSMENT OF LIFE OF SURFACED PARTS OPERATING UNDER CONDITIONS OF CYCLIC THERMAL AND MECHANICAL LOADS. *I.K. Senchenkov[1], I.A. Ryabtsev[2], O.P. Chervinko[1], I.I. Ryabtsev[2], A.A. Babinets[2] ([1]S.P. Timoshenko Institute of Mechanics; [2]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Assessment of life of as-surfaced tools and equipment for hot deforming of metals and alloys includes the solution of two main problems: calculation of residual technological and service stress-strain and microstructure state of parts after surfacing and calculation of their service life on the basis of criteria of thermal and mechanical fatigue strength.
In the accepted scheme of calculation the processes of surfacing and subsequent service cyclic thermal and mechanical loading of mill roll are considered as a single process. It is assumed that the roll is supported by a support roll and does not undergo the bend deformations.
Calculations were performed for hot rolling mill roll of steel 50KhFA with a smooth operating barrel of 1435 mm diameter and 1565 mm length. Sublayer on the roll is deposited by wire Sv-08 and wear-resistant layer — by wire PP-Np-25Kh5FMS. Stage of surfacing is modeled within the frames of axisymmetric statement of the problem, the stage of service is described within the frames of problems about plane deformation for axial section of the cylinder. Here, at the second stage the residual deformations, stresses, strengthening and microstructure, formed at the stage of surfacing are taken into consideration.
After surfacing the external layer has a martensitic structure, sublayer has ferrite one and bainite-pearlite structure is formed in HAZ metal. Plastic deformations in the deposited layers do not exceed 6 % and almost absent in the base metal. In the deposited layers the intensity of stresses is much lower than the strengthened yield strength of steels, i.e. they are in elastic state.
In the in-service process the sublayer can occur to be greatly cyclically loaded, as the steel deposited by wire Sv-08 has a low limit of cyclic fatigue strength. Experimental feature of failure can be the appearance of a crack of a preset small length l_0, usually $l_0 \approx 0.1–1.0$ mm. Meanwhile the service life of many elements of structures is not exhausted by the appearance of such cracks. Therefore, the second stage of service life can be realized at the presence of crack and exhausted at reaching the critical value l_{cr} by its length l_0.
Number of cycles N_2, responsible for crack reaching some critical value of length l_{cr}, after summing with value N_1, meeting the stage of crack initiation, determines the service life of the surfaced part.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ ПЕЧНЫМ СПОСОБОМ. *Е.В. Суховая (Днепропетровский нац. ун-т им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина).* Применение композиционных материалов в виде защитных покрытий на быстроизнашивающихся деталях оборудования позволяет существенно продлить срок их службы. Требования к металлической связке и твердосплавному наполнителю композиционных материалов зависят от конкретных условий эксплуатации деталей. Поэтому в данной работе изучали влияние структуры сплавов-наполнителей на стойкость композиционных покрытий в условиях сухого трения, абразивного, газоабразивного и коррозионного износов.

В качестве наполнителей использовали сплавы W–C, Ti–Cr–C, Fe–B–C, Al–Cu–Fe, Al–Cu–Co, Al–Co–Ni, которые имели кристаллическое, микрокристаллическое и квазикристаллическое строение. Связками служили сплавы на медной основе следующих марок: МНМц 20-20, МНЖ 5-1, Л62, Бр ОЦ 10-1 и др. Печную пропитку проводили при температуре, на 50 К превышающей температуру плавления сплава-связки, в течение 30–40 мин.

После пропитки в структуре композиционных материалов наблюдаются гранулы наполнителей размерами 0,5–2,5 мм, равномерно распределенные в матрице на основе меди. Их содержание составляет 60–65 % объема наплавленного слоя. На границах раздела между наполнителем и матрицей образуются зоны контактного взаимодействия растворно-диффузионного типа. Их ширина в зависимости от структуры фаз наполнителя уменьшается в следующей последовательности: кристаллическая→микрокристаллическая→квазикристаллическая структура. Это позволяет управлять процессами структурообразования и свойствами композиционных материалов путем варьирования содержания фаз различной стабильности в составе наполнителя.

Использование сплавов-наполнителей W–C, Ti–Cr–C и Fe–B–C, имеющих кристаллическое строение ($v_{охл}$ = 10–100 К/с), обеспечивает повышенную стойкость композиционных материалов на их основе в условиях абразивного износа. Микрокристаллическое строение гранул наполнителей того же состава ($v_{охл}$ = 10^3–10^4 К/с) позволяет повысить газоабразивную износостойкость. Это достигается, в том числе, за счет образования в структуре микрокристаллических сплавов Fe–B–C метастабильных фаз. Сплавы-наполнители на основе алюминия, содержащие в структуре не менее 85 % квазикристаллической *D*-фазы ($v_{охл}$ = 10 К/с), обеспечивают высокие антифрикционные и антикоррозионные характеристики композиционных материалов. Разработанные составы наплавочных композиционных материалов могут быть эффективно использованы для восстановления и упрочнения деталей металлургии, машиностроения, энергетики, автомобильного и железнодорожного транспорта.

НОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТОНКИХ ФАСОННИХ ДИСКІВ. *О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, В.Я. Гаврилюк, В.С. Сенчишин, В.Я. Груша (Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, Тернопіль, Україна).* Процес індукційного наплавлення широко використовується для зміцнення робочих органів деталей машин, які застосовуються в різних галузях народного господарства, в тому числі і в сільськогосподарському виробництві. До них відносяться диски лущильників, ножі-гичкорізи, леміші плугів, лапи культиваторів та ін., які працюють в умовах абразивного зношування і значних статичних та динамічних навантажень. Для забезпечення різальних властивостей в процесі екс-

COMPOSITE MATERIALS FOR FURNACE METHOD OF SURFACING. *E.V. Sukhovaya (O. Gonchar Dnepropetrovsk National University, Dnepropetrovsk, Ukraine).* Application of composite materials in the form of protective coatings on quick-worn parts of equipment allows extending greatly the period of their service. Requirements to metallic binder and hard-alloy filler of composite materials depend on concrete conditions of parts service. Therefore, in the preset work the effect of structure of alloys-fillers on resistance of composite coatings under conditions of dry friction, abrasive, gas-abrasive and corrosion wear was studied.

As fillers, the alloys W–C, Ti–Cr–C, Fe–B–C, Al–Cu–Fe, Al–Cu–Co, Al–Co–Ni, which had crystalline, microcrystalline and quasi-crystalline structure, were used. As binders, the alloys on copper base of the following grades were used: MNMts 20-20, MNZh 5-1, L62, Br OTs 10-1, etc. Furnace impregnation was made at temperature, exceeding by 50 K the temperature of melting of alloy-binder, during 30–40 min.

After impregnation the granules of fillers of 0.5–2.5 mm sizes, uniformly distributed in matrix on copper base, are observed in the structure of composite materials. Their content is 60–65 % of volume of deposited layer. At the interface between the filler and matrix the zones of contact interaction of solution-diffusion type are formed. Their width is decreased in the following sequence depending on the structure of filler phases: crystalline→microcrystalline→quasi-crystalline. This allows control of processes of structure formation and properties of composite materials by varying the content of phases of different stability in the filler composition.

The application of alloys-fillers W–C, Ti–Cr–C and Fe–B–C, having the crystalline structure (v_{cool} = 10–100 K/s), provides the increased resistance of composite materials on their base under conditions of abrasive wear. Microcrystalline structure of granules of fillers of the same composition (v_{cool} = 10^3–10^4 K/s) allows increasing the gas-abrasive wear resistance. This is attained also due to formation of metastable phases in the structure of microcrystalline Fe–B–C alloys. Alloys-fillers on aluminium base, containing not less than 85 % of quasi-crystalline *D*-phase in structure (v_{cool} = 10 K/s), guarantee high anti-friction and anti-corrosion characteristics of composite materials. The developed compositions of surfacing composite materials can be applied effectively for restoration and strengthening of parts of metallurgy, machine building, power engineering, automobile and railway transport.

NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES OF INDUCTION SURFACING OF THIN SHAPED DISCS. *O.M. Shabliy, Ch.V. Pulka, V.Ya. Gavrilyuk, V.S. Senchishin, V.Ya. Grusha (I. Pulyuj Ternopol National Technical University, Ternopol, Ukraine).* The process of induction surfacing is widely used for strengthening of working parts of machine components, which are applied in different branches of national economy, including also in agricultural manufacturing. They include discs of hulling mills, topper cutters, plough shares, cultivator teeth, etc., which are operating under conditions of abrasive wear and high static and dynamic loads. To provide the in-service cutting properties they should undergone a self-sharpening. A special difficulty is

плуатації вони повинні піддаватись самозагострюванню. Особливу складність являє собою наплавлення тонких фасонних дисків зубчатої форми з шириною наплавлення більшою за висоту зуба.

Даний процес постійно вдосконалюється в напрямку підвищення продуктивності, зносостійкості, а також стабільності товщини шару наплавленого металу; оптимізації режимів нагрівання з метою економії електроенергії, конструктивних параметрів індукторів та нагрівальних систем для наплавлення дисків довільних діаметрів і розмірів зони наплавлення, виходячи з потреб технології з урахуванням екранування електромагнітних і теплових полів; проводиться математичне моделювання процесів наплавлення для визначення залишкових напружень, деформацій і переміщень деталей, а також автоматизації і механізації процесів наплавлення.

Авторами розроблені нові технологічні процеси індукційного наплавлення, які дозволяють підвищити зносостійкість в 1,5 рази з урахуванням додаткових технологічних операцій — горизонтальна і вертикальна вібрація під час наплавлення з одночасним екрануванням теплових та електромагнітних полів, а також обертання деталі в процесі наплавлення з необхідною швидкістю. При цьому стабільність товщини шару наплавленого металу підвищується з 84 до 90 %, а додаткова економія електроенергії досягає 10 % на один виріб.

Для проведення досліджень були використані фасонні диски із сталі Ст 3 діаметром 210 мм, товщиною основного і наплавленого металу відповідно 3 і 0,8–1,5 мм, а також порошкоподібний твердий сплав ПГ-С1 та високочастотний генератор ВЧИ-63/0,44.

encountered in surfacing of thin shaped discs of a gear shape with a width of surfacing being larger than a tooth height. This process is continuously improved to increase the efficiency, wear resistance and also the stability of thickness for the deposited metal layer, optimization of conditions of heating to save the electric energy, design parameters of inductors and heating systems for surfacing of discs of optional diameters and sizes of surfacing zone, coming from the needs of technology with account for screening the electromagnetic and heat fields. The mathematical modeling of processes of surfacing is carried out for determination of residual stresses, strains and displacement of parts, as well as automation and mechanization of the surfacing processes.

The authors developed the new technological processes of induction surfacing, which will make it possible to increase the wear resistance by 1.5 times with account for auxiliary technological operations, such as horizontal and vertical vibration during surfacing with simultaneous screening of heat and electromagnetic fields, as well as rotation of part in the process of surfacing at a required speed. Here, the stability of thickness of deposited metal layer is increased from 84 % up to 90 %, and the additional saving of electric energy reaches 10 % per one product. For investigations the shaped discs of steel St.3 of 210 mm diameter and 3 and 0.8–1.5 mm thickness of base and deposited metal, respectively, and also powder-like hard alloy PG-S1 and high-frequency generator VChI-63/0.44 were used.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ

SPECIAL ELECTROMETALLURGY

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ. *С.В. Анахов[1], Ю.А. Пыкин[2], А.В. Матушкин[3] ([1]РГППУ, Екатеринбург, Россия; [2]ООО «НПО Полигон», Екатеринбург, Россия; [3]Уральский федеральн. ун-т, Екатеринбург, Россия).* Задача проектирования плазмотронов и технологий их применения должна решаться с учетом целого ряда принципов. В первую очередь это принцип функциональности, означающий ориентацию на показатели производительности, надежности и качества. Кроме этого, следует опираться на принципы системности и оптимальности, требующие рассмотрения функциональных характеристик плазмотронов вместе с работой соответствующих технологических подсистем, учета социально-экономических и экологических последствий, а также оптимизации по критериям эффективности, стоимости и безопасности. Плазмотрон, являющийся основным элементом любой электроплазменной технологии (ЭПТ), имеет, с одной стороны, возможность высокотемпературного и кинетического воздействия плазменной дуги (струи) на материалы в процессах экологических производств, но требует, по той же причине, соблюдения норм безопасности по широкому спектру сопутствующих вредных и опасных факторов. В первом случае ЭПТ выступают в качестве инструмента обеспечения экологической безопасности, занимая важное место в широком ряду высокотемпературных технологий переработки отходов. Второй аспект комплексного изучения отношения ЭПТ и проблемы безопасности — это рассмотрение в процессе проектирования таких технологий плазмотрона в качестве фактора, существенно влияющего на безопасность труда.

В соответствии с рассмотренными принципами были разработаны дуговые плазмотроны и технологии их применения для утилизации жидко- и твердофазных (нефтесодержащих и органических) отходов, а также для обезвреживания дисперсных отходов алюминиевых производств. Для утилизации металлолома и разделки металла были сконструированы плазмотроны с профилированными газовоздушными трактами, что обеспечило снижение шумовой нагрузки в рабочей зоне на 8–12 дБ. Спроектирован «узкоструйный» плазмотрон, обеспечивающий при относительно невысокой потребляемой мощности высокую скорость и качество реза, а также снижающий риск электрического поражения и эффект воздействия на рабочий персонал шумовых, электромагнитных и ряда других вредных факторов.

ENVIRONMENTAL PRINCIPLES OF DESIGNING OF ELECTROPLASMA EQUIPMENT. *S.V. Anakhov[1], Yu.A. Pykin[2], A.V. Matushkin[3] ([1]RSPPU, Yekaterinburg, Russia; [2]«RPO Poligon» Ldt., Yekaterinburg, Russia; [3]Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia).* Problem of designing of plasmatrons and technologies of their application should be solved considering series of principles. First of all, this is a functionality principle representing orientation to indices of efficiency, safety and quality. Besides, a basis are to be made on system and optimality principles requiring studying of functional characteristics of the plasmatrons together with operation of corresponding technological subsystems, accounting of socio-economic and environmental consequences as well as optimizing on efficiency, cost and safety criteria. Plasmatron being the basic element of any electroplasma technology (EPT), has, from one side, capability of high-temperature and kinetic influence of plasma arc (jet) on materials in processes of environmental productions, but, at the same reason, requires compliance to safety norms in wide spectrum of accompanying hazard and dangerous factors. In the first case, EPT stands as a tool for providing of environmental safety, taking an important place in a wide range of high-temperature technologies of waste processing. The second aspect of complex study of relation of EPT and safety problem is a consideration during designing of such plasmatron technologies as a factor having significant influence on industrial safety.

According to considered principles, arc plasmatrons and technologies of their application for recycling of liquid- and solid phase (oil-containing and organic) wastes as well as for neutralization of dispersed wastes of aluminum productions were developed. Plasmatrons with shaped gas-air flow ducts were designed for recycling of metal scrap and metal cutting that resulted in 8–12 dB reduction of noise load in working zone. «Narrow-jet» plasmatron providing high speed and quality cutting at relatively small power consumtion as well as reducing the risk of electric injury and effect of noise, electromagnetic and series of other hazardous factors on staff was designed.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА. *С.В. Ахонин, В.А. Березос, В.Д. Корнийчук, А.Н. Пикулин, А.Ю. Северин (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ разработана технология элкетронно-лучевой плавки (ЭЛП) сплавов на основе титана ПТЗВ, ПТ7М, ВТ6, ВТЗ-1, ВТ8, ВТ9, ВТ20, ВТ22, ВТ25У, которые имеют более высокую технологическую пластичность, чем аналогичные сплавы, полученные традиционными методами плавки.

Комплекс теоретических и экспериментальных исследований процесса ЭЛП слитков диаметром 200–500 мм позволил разработать технологию получения высококачественных крупногабаритных слитков сплавов титана диаметром до 1100 мм.

Проведены комплексные исследовательские работы по изготовлению полуфабрикатов в виде прутков и труб из слитков титана и сплавов на его основе, полученных методом ЭЛП. Выполненные исследования показали, что

ELECTRON-BEAM TECHNOLOGIES OF OBTAINING OF INGOTS OF TITANIUM-BASED ALLOYS. *S.V. Akhonin, V.A. Berezos, V.D. Korniychuk, A.N. Pikulin, A.Yu. Severin (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU developed a technology of electron-beam melting (EBM) of titanium-based alloys PTZV, PT7M, VT6, VTZ-1, VT8, VT9, VT 20, VT22, VT25U which have higher technological ductility than similar alloys obtained by traditional melting methods.

Complex of theoretical and experimental investigations of process of EBM of 200–500 mm diameter ingots allowed developing a technology for obtaining of big ingots of titanium alloys up to 1100 mm diameter.

Comprehensive research works were carried out on manufacture of half-finished products in form of bars and pipes from titanium ingots and titanium-based alloys obtained by EBM method. Performed investigations showed that properties of half-finished products manufactured from ingots melted on developed EBM technology meet all industrial requirements

свойства полуфабрикатов, изготовленных из слитков, выплавленных по разработанной технологии ЭЛП, отвечают всем требованиям, предъявляемым промышленностью к качеству титановых сплавов. При этом полуфабрикаты изотропны по механическим свойствам. Впервые в мировой практике из крупногабаритного слитка диаметром 840 мм титанового сплава ВТ3-1, выплавленного методом ЭЛП с промежуточной емкостью, была получена поковка диаметром 1950×160 мм для крупногабаритного диска газотурбинной установки.

Технологические процессы ЭЛП, разработанные в ИЭС им. Е.О. Патона, позволяют получать высококачественные слитки титана и его сплавов с однородной бездефектной структурой, а также, за счет использования более дешевого исходного сырья и увеличения сквозного выхода годного металла, снизить себестоимость титановых полуфабрикатов, а следовательно, повысить конкурентоспособность и расширить области применения титана в различных отраслях промышленности.

to quality of titanium alloys. At that, the half-finished products are isotropic on mechanical properties. 1950×160 mm diameter forging for large-dimension disk of gas-turbine unit was made for the first time in world practice from big 840 mm diameter ingot of VT3-1 titanium alloy melted by EBM methods with intermediate reservoir.

Technological processes of EBM, developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute, allow obtaining high-quality ingots of titanium and its alloys with homogeneous defect-free structure as well as reducing prime cost of titanium half-products, and, therefore, increasing competitiveness and expanding areas of titanium application in different branches of industry due to application of cheaper raw material and increasing through metal yield.

ЛЕГИРОВАНИЕ АЗОТОМ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ БЕСТИГЕЛЬНОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ. *Е.А. Аснис[1], Н.В. Пискун[1], И.И. Статкевич[1], П.И. Баранский[2], В.М. Бабич[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева, Киев, Украина).* Для изготовления полупроводниковых приборов, которые применяются в микроэлектронике, необходим кремний с высоким совершенством структуры. Легирование кремния азотом приводит к его упрочнению, повышению твердости, снижению генерации дислокаций и уменьшению скорости их движения. Упрочняющее действие азота связано с распадом пересыщенного твердого раствора и образованием мелкодисперсных выделений при температуре ниже 800 °С. Эти выделения являются эффективными стопорами для движения дислокаций. Кроме того, введение азота способствует выделению кислорода и его дезактивации в объеме кристалла, что также положительно влияет на улучшение электрофизических свойств кремния. Помимо этого происходит значительное повышение его твердости. Это облегчает механическую обработку (резку, шлифовку и полировку) пластин при создании сверхбольших интегральных схем, а также упрощает изготовление миниатюрных транзисторов, диодов и других деталей радиоэлектроники.

Упрочнение кремния азотом позволит также значительно снизить толщину кремниевых пластин для фотоэлектрических преобразователей при их вырезке.

Нами разработан гибридный процесс электронно-лучевой бестигельной зонной плавки монокристаллов кремния с одновременным легированием их азотом в процессе плавки.

Твердость кремния, легированного примесью азота, повысилась на 26 % по сравнению с основным материалом (с *HV* 9160 МПа до *HV* 11590 МПа), а удельное электросопротивление выплавленного монокристалла увеличилось в среднем более, чем в 8 раз (с 4 Ом·см исходного материала до 35 Ом·см при плавке с азотом).

NITROGEN ALLOYING OF SILICON CRYSTALS IN PROCESS OF THEIR GROWING BY ELECTRON BEAM CRUCIBLELESS ZONE MELTING METHOD. *E.A. Asnis[1], N.V. Piskun[1], I.I. Statkevich[1], P.I. Baranskii[2], V.M. Babich[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V.E. Lashkaryov Institute for Semiconductor Physics, Kiev, Ukraine).* Silicon with high structure perfection is necessary for manufacture of semiconductor devices which are used in microelectronics. Nitrogen alloying of silicon results in its strengthening, increasing of hardness, reduction of dislocation generation and decreasing of speed of their movement. Strengthening effect of nitrogen is related with decay of oversaturated solid solution and formation of fine-dispersed precipitations at temperature below 800 °C. These precipitations are effective stoppers of dislocation movement. Besides, introduction of nitrogen promotes emission of oxygen and its deactivation in crystal volume that also has positive effect on improvement of electro-physical properties of silicon. Apart from this, significant increase of its hardness takes place. This facilitates mechanical treatment (cutting, polishing and grinding) of plates in development of large integrated circuits as well as simplifies manufacture of mini transistors, diodes and other details of radio-electronics.

Nitrogen strengthening of silicon also allows significantly reducing thickness of silicon plates for photoelectric converters during their cutting.

We developed a hybrid process of electron beam crucibleless zone melting of silicon single-crystals with their simultaneous alloying by nitrogen in process of melting.

Hardness of silicon, alloyed by nitrogen additive, increased by 26 % in comparison with base material (from *HV* 9160 MPa up to 11590 MPa) and specific electric resistance of melted single-crystal increased on average more than 8 time (from 4 Om·cm of initial material up to 35 Om·cm in melting with nitrogen).

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ БЕСТИГЕЛЬНАЯ ЗОННАЯ ПЛАВКА КРЕМНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ЭКРАНА. *Е.А. Аснис[1], Н.В. Пискун[1], И.И. Статкевич[1], П.И. Баранский[2], В.М. Бабич[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]Ин-т физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева, Киев, Украина).* Электронно-лучевой нагрев при

ELECTRON BEAM CRUCIBLELESS ZONE MELTING OF SILICON USING HEAT SHIELD. *E.A. Asnis[1], N.V. Piskun[1], I.I. Statkevich[1], P.I. Baranskii[2], V.M. Babich[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]V.E. Lashkaryov Institute for Semiconductor Physics, Kiev, Ukraine).* Electron beam heating in crucibleless zone melting is characterized by non-uniform heat dis-

бестигельной зонной плавке характеризуется неравномерным распределением тепла в образце. Для получения более равномерного распределения температуры по сечению и вдоль образца, а также обеспечения аксиальной симметрии теплового поля вокруг слитка при плавке был разработан, изготовлен и испытан специальный теплозащитный экран.

Было показано, что при плавке в теплозащитном экране температурный градиент вдоль выплавляемого слитка значительно уменьшается по сравнению с плавкой без экрана. При этом слиток более равномерно нагревается также и по толщине. Сравнение циклограмм процесса плавки монокристалла кремния без экрана и с экраном показало, что значение анодного тока в течение плавки в установившемся режиме изменяется (при наличии экрана) меньше, чем при плавке без экрана, что способствует созданию более равномерного температурного поля в поперечном и продольном направлении образца.

Исследование структуры, напряженного состояния и электрофизических характеристик выплавленных слитков показало, что при электронно-лучевой плавке в теплозащитном экране обеспечивается хорошее формирование и монокристалличность; формируется фронт кристаллизации, близкий к плоскому; почти на порядок снижается плотность дислокаций и в 4 раза уменьшается напряженно-деформированное состояние по сравнению со слитками, полученными без экрана.

Изучение удельного электросопротивления слитка, полученного с применением теплозащитного экрана, показало, что ρ возрастает в 1,25 раза — до 75 Ом·см по сравнению с материалом, переплавляемым без экрана, удельное электросопротивление которого составляет 60 Ом·см, при этом разброс значений не превышает 1,5 %.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что применение экранирования при бестигельной зонной плавке положительно влияет на снижение плотности дислокаций и уровня напряженного состояния выращенного кристалла, а указанные изменения повышают удельное электросопротивление.

tribution in specimen. Special heat shield was developed, manufactured and tested for obtaining of more uniform distribution of temperature on section and along specimen as well as providing of axial symmetry of heat field around the ingot during melting.

It was shown that temperature gradient along ingot being melted is significantly reduced during melting in heat shield in comparison with melting without shield. At that, more uniform heating of ingot on thickness also takes place. Comparison of sequence diagram of process of silicon single-crystal melting without shield and with shield showed that value of anode current in a course of melting in steady-state mode changes less (in shield presence) than in melting without shield that promotes development of more uniform temperature field in transverse and longitudinal directions of the specimen.

Study of structure, stressed state and electro-physical characteristics of melted ingots showed that electron beam melting in heat shield provides good formation and signle-crystalline character; formation of solidification front close to flat; reduction of density of dislocation almost by order and 4 time decrease of stress-strain state in comparison with ingots obtained without shield.

Analysis of specific electric resistance of the ingot manufactured using heat shield showed 1.25 time increase of up to 75 Om·cm in comparison with material melted without shield the specific electric resistance of which makes 60 Om·cm at that spread in values does not exceed 1.5 %. Thus, preformed experiments showed that application of shielding in crucibleless zone melting have positive effect on reduction of dislocation density and level of stressed state of grown crystal, and indicated changes increase specific electric resistance.

ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ОБОГРЕВ И ПОДПИТКИ ПРИБЫЛИ КРУПНЫХ СЛИТКОВ МАССОЙ 200–400 т. *Ф.К. Биктагиров[1], Н.В.Рейда[1], В.А. Шаповалов[1], В.М. Ефимов[2], А.А. Селютин[2], В.Г. Падалка[2] ([1]Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина; [2]ПАО «Энергомашспецсталь», Краматорск, Украина).* Для увеличения выхода годного и повышения качества крупных, массой сотни тонн, стальных слитков предложено техническое решение и создан проект установки электрошлакового нагрева и подпитки прибыли. Отличительной особенностью установки является то, что все ее узлы и механизмы монтируются на одной переносной платформе, на которой размещаются источники питания, бункер для шлакообразующих и легирующих компонентов и электрошлаковый нагреватель. Нагреватель представляет собой теплоизолированную изнутри крышку с устройствами крепления и перемещения трех подключенных к источникам питания графитированных электродов и подачи переплавляемой заготовки для подпитки.

Такое исполнение установки обеспечивает ее мобильность и возможность размещения в том месте, где ее целесообразно использовать. На рабочей позиции установка подключается к цеховому источнику энергопитания напряжением 380 В, местным системам подачи и отвода воды, газоотвода и аргонопроводу. По мере формирования слитка осуществляется по заданному режиму электрошлаковый подогрев зеркала металла в прибыли и подпитка

ELECTROSLAG HEATING AND HOT TOPPING OF DISCARD OF LARGE INGOTS OF 200–400 t MASS. *F.K. Biktagirov[1], N.V. Reyda[1], V.A. Shapovalov[1], V.M. Efimov[2], A.A. Selyutin[2], V.G. Padalka[2] ([1]The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine; [2]PJSC «Energomashspetsstal», Kramatorsk, Ukraine).* Technical solution was proposed for increase of metal yield and rise of quality of large, hundred tones mass, steel ingots and project of unit was developed for electroslag heating and discard hot topping. The peculiarity of unit is that all its assembly units and mechanisms are mounted on one portable platform on which power source, hopper for slagforming and alloying components, and electroslag heater are installed. The heater is a cover heat-insulated from the inside with mechanisms of fastening and movement of three connected to power sources graphitized electrodes and feeding of remelted ingot for hot topping. Such arrangement of unit provides its mobility and possibility of positioning in a place of reasonable application. The unit in a working place is connected to shop power source of 380 V, local systems of water delivery and removal, gas outlet and argon line. Electroslag heating of metal heel in the discard and hot topping of ingot by billet remelted in slag, alloying and modifying of steel if necessary, are performed in set mode in the course of ingot formation. Mass of discard can be reduced up to 10 or even 5 % of ingot mass due to electroslag heating in combination with hot topping of discard by metallic billet being melted in over-

слитка переплавляемой в шлаке заготовкой, при необходимости легирование и модифицирование стали.
За счет электрошлакового обогрева в сочетании с подпиткой прибыли плавящейся в перегретом шлаке металлической заготовкой или подаваемым из бункера кусковым присадочным материалом (стружка, обрезь, дробь и т. д.) масса прибыли может быть снижена до 10 и даже 5 % массы слитка. Например, для слитка массой 400 т экономия металла составляет не менее 60–70 т. Получение годного слитка, имеющего на десятки тонн массу меньше по сравнению с обычным слитком, позволяет уменьшить количество выплавляемого металла, снизить нагрузку на крановое оборудование, уменьшить затраты на термообработку и ковку.
Установка может использоваться не только для обогрева прибыли, но для нагрева металла в ковше, а также переработки металлосодержащих отходов.

heated slag or lump filler material (chips, clippings, shot etc.) being fed from hopper. For example, saving of metal makes not less than 60–70 t for ingot of 400 t mass. Obtaining of yield ingot having dozen of tones less mass in comparison with standard ingot, allows reducing amount of metal being melted, decreasing load on carnage, cutting expenses on heat treatment and forging.
The unit can be used not only for discard heating, but for heating of metal in ladle as well as recycling of metal-containing wastes.

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ ПЛАВКА НЕКОМПАКТНЫХ ОТХОДОВ МЕДНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. *Ф.К. Биктагиров, В.А. Шаповалов, А.В. Гнатушенко, А.П. Игнатов (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Для переработки некомпактных металлических отходов медных и алюминиевых сплавов (стружка, высечка, обрезь и т.п.), образующихся при механической обработке полуфабрикатов и заготовок, разработана и реализована эффективная технология электрошлаковой плавки с нерасходуемым электродом. Определены технологические схемы и режимы переработки различных групп сплавов. Плавка шихты в толще шлака определенного состава без контакта с окружающей атмосферой позволяет существенно снизить потери на угар и обеспечивает сохранность в металле легирующих элементов, в том числе высокоактивных, таких как магний в алюминиевых сплавах, хром, марганец и кремний в медных. Рафинирование металла от неметаллических примесей и газов, его раскисление и долегирование, в том числе из шлака, позволяет получать из отходов высококачественные заготовки цветных металлов требуемого состава, в том числе бронз КН1-3, БрХ, алюминиевых сплавов АЛ25, Д16 и др.
Разработка может применяться на машиностроительных и металлургических предприятиях для переработки отходов медных и алюминиевых сплавов, а также других цветных металлов. Кроме того, возможно перерабатывать шлакометаллические отходы с полным отделением металлической составляющей от неметаллической и дополнительным восстановлением оксидов металлов из шлаковой составляющей шихты.

ELECTROSLAG MELTING OF NONCOMPACT WASTE OF COPPER AND ALUMINUM ALLOYS. *F.K. Biktagirov, V.A. Shapovalov, A.V. Gnatushenko, I.P. Ignatov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Efficient technology of electroslag melting with nonconsumable electrodes was developed and realized for recycling of noncompact metallic wastes of copper and aluminum alloys (chips, cutting, clippings etc.) generated in mechanical treatment of half-finished products and billets. Specifications and modes of recycling of different groups of alloys were determined. Melting of charge in thickness of slag of specified composition without contact with ambient atmosphere allows significantly reducing burn-out loss and provide good preservation of alloying elements in metal, including high-active ones such as magnesium in aluminum alloys, chromium, manganese and silicon in copper ones. Refining of metal from non-metallic additives and gases, its deoxidation and additional alloying, including from slag, allow obtaining high-quality billets of nonferrous metals of necessary composition, including bronzes KN1-3, BrKh, aluminum alloys AL25, D16 and etc. from wastes.
The development can be used on machine building and metallurgical enterprises for recycling of waste of copper and aluminum alloys as well as other nonferrous metals. Besides, it is possible to recycle slag-metallic wastes with complete separation of metallic constituent from non-metallic and additional deoxidation of metal oxides from slag constituent of charge.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ПРОЦЕССОВ. *А.Ф. Власов (Донбасская гос. машиностр. акад., Краматорск, Украина).* Одной из главных задач, стоящих перед разработчиками сварочных материалов, является изыскание новых видов сырья для их изготовления и путей интенсификации сварочных и металлургических процессов. Одним из направлений решения данной задачи является использование эффекта экзотермических реакций путем введения в состав сварочных материалов экзотермических металлофлюсовых смесей, проводящих электрический ток в твердом состоянии и представляющих собой механическую смесь окалины, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов или порошков и рабочего флюса (АНФ-6 или др.)
Существующие электрошлаковые процессы (ЭШС, ЭШП, ЭШЛ, электрошлаковое кокильное литье) осуществляются на твердом или жидком старте.

INTENSIFICATION OF ELECTROSLAG PROCESSES. *A.F. Vlasov (Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine).* One of the main tasks for developers of welding consumables is finding of new types of raw for their manufacture and ways of intensification of welding and metallurgical processes. One of the directions for given task solving is application of effect of exothermal reactions by means of entering of exothermic metal-flux mixtures conducting electric current in solid state and representing itself mechanical mixture of dross, aluminum powder and alloying elements in form of ferroalloys or powder and working flux (ANF-6 or etc.) in composition of welding consumables.
Existing electroslag processes (ESW, ESR, ESC, electroslag chill casting) are carried out with solid or liquid start.
Electroslag remelting (casting) of large billets is carried out using only liquid start. Labor-intensiveness of melting of billet considering time of flux fusion in arc furnaces is sig-

Электрошлаковый переплав (литье) крупных заготовок осуществляется только с использованием жидкого старта. Трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса в дуговых печах значительно выше по сравнению с твердым стартом.

Электрошлаковые процессы с использованием экзотермического легированного флюса (А. с. 1533346 СССР, Деклараційний патент 36618А Україна) на твердом старте позволяют получать по сравнению с существующими способами увеличение выхода годного металла до 3 %; снижение расхода рабочего флюса до 20 %; экономию на расплавлении 1 кг стандартного флюса 1,2–1,4 кВт·ч; сокращение времени стартового периода процесса ЭШП до 25 %.

Проведенные исследования позволили также разработать способы электрошлакового переплава в футерованном тигле (А. с. 1445217, А. с. 1704473 СССР) с использованием экзотермического легированного флюса, позволяющие повысить производительность процесса в 1,4 раза, стойкость тигля в 2 раза.

Свойства литых электрошлаковых сталей марок 5ХНМ, 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ, выплавленных по бифилярной схеме с использованием твердого старта и экзотермического легированного флюса, соответствуют свойствам кованого металла открытой выплавки.

nificantly higher in comparison with solid start. Electroslag processes using exothermal alloyed flux (A. s. No. 1533346 USSR, declaration patent 36618A Ukraine) with solid start allow obtaining increase of metal yield up to 3 % ; reduction of consumption of working flux up to 20 %; 1.2-1.4 kW·h saving for melting of 1 kg of standard flux; decrease of time of start period of ESR process up to 25 % in comparison with existing methods.

Performed investigations allowed also developing the methods of electroslag remelting in lined crucible (A.s. 1445217, A.s. 1704473 USSR) using exothermal alloyed flux permitting 1.4 time increase of process efficiency and 2 time crucible resistance.

Properties of cast electroslag alloys of 5KhNM, 9KhF, 9Kh2MF and 60Kh2SMF grades, melted on bifilar scheme with application of solid start and exothermal alloyed flux correspond to properties of forge metal of open melting.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ И ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ВАННЫ УСТАНОВКИ КОВШ-ПЕЧЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. *В.П. Пиптюк[1], И.В. Крикент[2], С.Е. Самохвалов[2], И.Н. Логозинский[3], В.А. Поляков[1], С.В. Греков[1] ([1]Ин-т черной металлургии НАН Украины, Днепропетровск, Украина; [2]Днепродзержинский гос. техн. ун-т, Днепродзержинск, Украина; [3]ПАО «Днепроспецсталь», Запорожье, Украина)*. Ежегодный рост вводимых в эксплуатацию установок ковш-печь (УКП) на металлургических и машиностроительных предприятиях Украины и стран СНГ, использование переменного тока в качестве основного энергоносителя такого оборудования и увеличение объемов производства стали с обработкой на УКП, с одной стороны, и отсутствие знаний о влиянии электромагнитных сил (ЭМС) на характер перемешивания расплава в ковше в условиях повышения цен на электроэнергию, с другой, обусловливают актуальность, научную и прикладную значимость исследований оценки влияния ЭМС, учет которых может способствовать повышению эффективности применяемых способов ковшевой обработки стали.

В результате совместной работы ИЧМ НАНУ и ДГТУ с использованием расчетного метода и численного моделирования оценена величина ЭМС и характер их распределения в металлической ванне емкостью 60 т в период нагрева расплава электродугой на УКП фирмы «Danieli» в условиях ДСС. Определена степень влияния ЭМС на гидродинамику и массоперенос расплава. Установлены пределы изменения параметров перемешивания расплава под воздействием ЭМС при номинальной мощности нагрева 7,7 МВт и разной интенсивности продувки ванны аргоном, величина которых не привышает 1/3 уровня соответствующих показателей для аналогичной УКП постоянного тока. Ввиду отсутствия существенных признаков воздействия ЭМС на условия перемешивания расплава в данном случае показана возможность их исключения из числа рассматриваемых.

ESTIMATION OF VALUE AND EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FORCES ON POOL STIRRING OF LADLE FURNACE UNIT OF ALTERNATING CURRENT. *V.P. Piptyuk[1], I.V. Krikent[2], S.E. Samokhvalov[2], I.N. Logozinskiy[3], V.A. Polyakov[1], S.V. Grekov[1] ([1]Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine; [2]Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine; [3]PSC «Dneprospetsstal», Zaporozhe, Ukraine)*. Annual growth of implemented ladle furnace units (LFU) at metallurgy and machine-building enterprises of Ukraine and CIS countries, application of alternating current as a main energy carrier of such equipment and increase of volumes of production of steel with processing in LFU, from one side, and absence of knowledge about effect of electromagnetic forces (EMF) on character of liquid melt stirring in the ladle under conditions of growth of electricity price, from other side, cause relevance, scientific and practical value of investigations on estimation of effect of EMF, consideration of which can promote increase of efficiency of applied methods of ladle steel processing. As a result of joint work of Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute and Dneprodzerzhinsk State Technical University the value of EMF and character of their distributions in metal pool of 60 t volume in a period of heating of liquid melt by electric arc were estimated using calculation method and numerical modelling in LFU of Danieli company on the basis of «Dneprospetsstal». Effect of EMF on hydrodynamics and mass transfer of melt was determined. Ranges of change of melt stirring parameters under effect of EMF at rated heating capacity 7.7 MW and different intensity of pool blowing by argon, value of which does not exceed 1/3 of level of corresponding indices for similar LFU of constant current were determined. As no significant indices of effect of EMF on melt stirring conditions are present the possibility of their removal from consideration is proposed in given case.

ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕНИЯ ЖИДКИМ МЕТАЛЛОМ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ AISI ТИПА 316 (10Х17Н14М2). *А.А. Полишко, В.Я. Саенко, С.Н. Степанюк, А.Ю. Туник, И.Н. Клочков (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Целью настоящей работы является исследование трансформации неметаллических включений (НВ) из исходного металла (электрода, жидкого металла) в процессе получения готового слитка, сравнение химического состава, морфологии и характера распределения НВ при электрошлаковом переплаве расходуемого электрода (ЭШП) и электрошлаковом наплавлении жидким металлом (ЭШН ЖМ), а также оценка влияния термических циклов ЭШП и ЭШН ЖМ на НВ с применением современных методик и международных стандартов. В качестве расходуемого электрода ЭШП использовали пакет прутков сортового проката из высоколегированной стали AISI типа 316 (10Х17Н14М2). Исследование трансформации НВ при ЭШП проводили на капле жидкого метала, которая сформировалась на торце расходуемого электрода и застыла («замороженная» капля) в шлаке. Для получения жидкого металла при ЭШН ЖМ использовали тигель-ковш ЭШП. Исследование трансформации НВ при ЭШН ЖМ проводили на пробах типа «чашечка» — металлический гарнисаж, который образовался после зачерпывания и заливки холодным ковшиком ∅75 мм порции жидкого металла высоколегированной стали AISI типа 316 в токоподводящий кристаллизатор. Исследования проводили на литом металле слитков сразу после выплавки без какой-либо термической обработки. Слитки были выплавлены способом ЭШН ЖМ диаметром 180 мм и ЭШП диаметром 350 мм. Оценивали НВ согласно методу А международного стандарта ASTM E45. Кроме того, определили уровень физико-механических свойств металла слитков, поскольку НВ оказывают существенное влияние на уровень служебных свойств эксплуатируемых изделий, а также на химическую и структурную однородность литого металла. Установлена связь между НВ и характером разрушения на фрактограммах поверхностей разрушений образцов после статической и динамической нагрузки.

При ЭШП и ЭШН ЖМ слитков диаметром 350 и 180 мм, соответственно, из высоколегированной стали AISI типа 316 имеет место трансформация НВ как в зоне предплавления и «замороженной» капли расходуемого электрода при ЭШП, так и в жидком металле, зафиксированном пробой типа «чашечка», при его накоплении в тигле-ковше перед заливкой при ЭШН ЖМ. Показано, что в литом электрошлаковом металле слитков из высоколегированной стали AISI типа 316, полученных с применением способов ЭШП и ЭШН ЖМ, включения дисперсны и равномерно распределены в поперечном сечении слитков. Размер НВ достигает до 6 мкм в слитке ЭШП и до 3 мкм в слитке ЭШН ЖМ. При этом установлено, что НВ в слитках ЭШП и ЭШН ЖМ идентичны по своему химическому составу. В результате фрактографических исследований на всех исследуемых образцах установлен вязкий характер разрушений, что свидетельствует о высоком качестве литого металла слитков ЭШП и ЭШН ЖМ из высоколегированной стали AISI типа 316.

TRANSFORMATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN THE PROCESS OF ELECTROSLAG REMELTING AND ELECTROSLAG SURFACING WITH LIQUID METAL OF HIGH-ALLOY STEEL OF AISI OF TYPE 316 (10Kh17N14M2). *A.A. Polishko, V.Ya. Saenko, S.N. Stepanyuk, A.Yu. Tunik, I.N. Klochkov (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* The aim of this paper is to study the transformation of non-metallic inclusions (NI) from the initial metal (electrode, liquid metal) in the process of producing a ready ingot, comparison of chemical composition, morphology and nature of distribution of NI in Electroslag Consumable Electrode Remelting (ESR) and Electroslag Surfacing with Liquid Metal (ESS LM process), as well as the evaluation of effect of thermal cycles of ESR and ESS LM on NI by using modern methods and international standards. As a ESR consumable electrode a package of section rolled rods of high-alloy steel AISI of type 316 (10Kh17N14M2) was used. Study of transformation of NI in ESR was carried out on liquid metal drop, which was formed on the end of consumable electrode and frozen in slag. To produce the liquid metal for ESS LM ESR the crucible-ladle was applied. Study of transformation of NI in ESS LM was carried out on samples of «cup» type, i.e. a metal skull, which was formed after scooping and pouring of a portion of the liquid metal of high-alloy steel AISI of type 316 into the current-carrying mould using the cold scoop of 75 mm diameter. Studies were carried out on the cast metal of ingots immediately after melting without any heat treatment. Ingots of 180 mm and 350 mm diameter were melted by the ESS LM and by ESR respectively. NI were evaluated according to Method A of the International standard ASTM E45. Moreover, the level of physico-mechanical properties of ingots metal was determined, because NI have a significant impact on service properties of in-service products, as well as on chemical and structural homogeneity of the cast metal. The relations between NI and nature of fracture on fractogramms of fracture surface of specimens after the static and dynamic loads were established.

In ESR and ESS LM of ingots of 350 mm and 180 mm diameter, respectively, from high-alloy steel AISI of type 316 the transformation of NI takes place both in the zone of premelting and «frozen» drop of consumable electrode in ESR and also in liquid metal, observed using sample of «cup» type, at its accumulation in crucible-ladle before pouring in ESS LM. It is shown that in the cast electroslag metal of ingots from high-alloy steel AISI of type 316, produced using the methods ESR and ESS LM, the inclusions are dispersed and uniformly distributed in the cross section of ingots. Size of NI reaches 6 μm in the ESR ingot and up to 3 μm in the ESS LM ingot. It was found that inclusions in ESR and ESS LM ingots are identical in their chemical composition. As a result of fractographic studies on all the samples the tough nature of fracture, which indicates the high quality of cast metal ESR and ESS LM ingots of high-alloy steel AISI of type 316, was found.

МАГНИТОУПРАВЛЯЕМАЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ ПЛАВКА НИКЕЛИДА ТИТАНА. *И.В. Протоковилов, Д.А. Петров, А.Т. Назарчук, Л.М. Бабич (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Сплавы на основе никелида титана, характеризующиеся эффектом памяти формы, это современные прецизионные функциональные материалы, которые находят все более широкое применение в медицине, приборостроении, электротехнике, авиакосмической промышленности и др. При производстве таких сплавов остро стоит проблема обеспечения строго заданного состава металла, с высокой химической и структурной однородностью.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработана технология магнитоуправляемой электрошлаковой плавки (МЭП) сплавов на основе никелида титана. Технология предусматривает переплав расходуемого электрода, сформированного из исходных шихтовых компонентов (губчатого титана и гранулированного никеля), в камерной электрошлаковой печи, в атмосфере инертного газа. Использование в процессе плавки электромагнитного воздействия на металлургическую ванну обеспечивает интенсивное перемешивание жидкого металла и позволяет получать слитки никелида титана с высокой химической и структурной однородностью. Отсутствие угара легирующих компонентов обеспечивает получение сплавов со строго заданным химическим составом.

Методом МЭП получали слитки состава 50Ti–50Ni (ат. %) диаметром 60–100 мм. Слитки отличаются качественным формированием боковой поверхности, плотной макроструктурой, без трещин, пор, включений и прочих дефектов. Химический состав металла соответствует заданному при шихтовании электродов. Отклонение содержания компонентов сплава в объеме слитка не превышает 0,2–0,3 %.

Отработаны режимы деформации литого металла. Методами прокатки и волочения получены полуфабрикаты в виде пластин толщиной 0,8–16 мм и проволоки диаметром 0,2–1,2 мм.

Исследовано влияние термомеханической обработки металла на изменение его химического состава и температуры фазовых превращений. Получены зависимости, позволяющие корректировать химический состав литого металла с целью достижения требуемых характеристик восстановления формы у полуфабрикатов и готовых изделий.

MAGNETICALLY CONTROLLED ELECTROSLAG MELTING OF TITANIUM NICKELIDE. *I.V. Protokovilov, D.A. Petrov, A.T. Nazarchuk, L.M. Babich (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Titanium nickelide based alloys, having shape memory effect, are current precision functional materials finding more and more application in medicine, instrument-making, electrical engineering, air-space industry and etc. Problems of providing of strictly specified metal composition with high chemical and structural homogeneity is set in production such alloys.

E.O. Paton Electric Welding Institute developed a technology of magnetically controlled electroslag melting (MEM) of titanium nickelide based alloys. The technology provides for remelting of consumed electrode, formed from initial charge components (spongy titanium and granulated nickel) in a chamber electroslag furnace in inert gas atmosphere. Application of electromagnetic effect on metal pool provides intensive stirring of liquid metal and allows obtaining of ingots of titanium nickelide with high chemical and structural homogeneity. Absence of loss of alloying component ensures obtaining of alloys with strictly specified chemical composition.

Ingots of 50Ti–50Ni (at.%) and 60–100 mm diameter were obtained by MEM method. The ingots are distinguished by formation of quality side surface, dense macrostructure without pores, cracks, inclusions and other defects. Chemical composition of metal corresponds to specified in electrode laminating. Deviation of content of alloy components in ingot volume does not exceed 0.2–0.3 %.

Modes of deformation of cast metal were trained. Half-finished products in a form of plates of 0.8–16 mm thickness and wire of 0.2–1.2 mm diameter were produced by rolling and drawing methods.

Influence of thermo-mechanical treatment of metal on change of its chemical composition and temperature of phase transformation was investigated. Dependences were obtained allowing correcting chemical composition of cast metal with the purpose of achievement of required characteristics of recovery of shape in half-finished and finished products.

ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛУРГИИ И ТЕХНОЛОГИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. *Ю.В. Цветков, А.В. Николаев, А.В. Самохин (Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия).* В результате систематических исследований термодинамики, кинетики и механизма восстановления оксидных систем создана теория процессов восстановления металлов в различных агрегатных состояниях, в том числе при воздействии потоков термической плазмы.

Разработана методология исследования плазменных процессов, основанная на высокотемпературном термодинамическом анализе, математическом моделировании и экспериментальных кинетических исследованиях на специально разработанной аппаратуре.

Для струйно-плазменных процессов выявлена определяющая роль процессов тепломассообмена для распределенного в плазменном потоке диспергированного обрабатываемого вещества и его перехода в газовую фазу.

Впервые в мировой практике реализованы промышленные процессы плазменно-водородного восстановления оксидов тугоплавких металлов и плазменной восстановительной плавки оксидов группы железа. Процессы отличаются энерго- и ресурсосбережением, получением продуктов с

PLASMA PROCESSES IN METALLURGY AND TECHNOLOGY OF INORGANIC MATERIALS. *Yu.V. Tsvetkov, A.V. Nikolaev, A.V. Samokhin (Baykov Institute of Metallurgy and Materials Science of the RAS, Moscow, Russia).* Theory of processes of metal reduction in different aggregative states, including under effect of thermal plasma flows, was developed as a result of systematic investigations of thermal dynamics, kinetics and mechanism of reduction of oxide systems.

Procedure of investigation of plasma processes was developed based on high-temperature thermodynamic analysis, mathematical modelling and experimental kinetic investigations using specially developed equipment.

Determining role of processes of heat mass exchange in jet-plasma processes was detected for distributed in plasma flow dispersed processed substance and its transfer in gas state.

Industrial processes of plasma-hydrogen reduction of oxides of refractory metals and plasma reducing fusion of oxides of iron group were realized for the first time in the world practice. The processes are charicterized by energy and resource saving, obtaining of products with special service properties and environment compatibility.

особыми эксплуатационными свойствами и совместимостью с окружающей средой.
Для ультрадисперсных продуктов плазменного восстановления оксидов вольфрама продемонстрирован ряд практических применений, основанных на особенностях ультрадисперсного состояния — снижение температуры и энергоемкости компактирования, интенсификация процессов спекания и сварки, получение на их основе твердых сплавов повышенной твердости и износостойкости.
Исследован ряд плазмохимических процессов получения нанодисперсных порошков металлов и соединений (оксидов, нитридов, карбидов, карбонитридов). Установлены термодинамические и кинетические закономерности и управляющие параметры, обеспечивающие получение порошков заданного химического и дисперсного состава. Разработаны методы управления средним размером частиц получаемых порошков при изменении энтальпии плазменной струи, расхода сырья, конструктивных особенностей реактора, а также при использовании газовой закалки продуктов плазмохимического взаимодействия.
Развивается концепция энерготехнологии будущего, основанной на создании по модульному принципу экологически чистого энерготехнологического комплекса, объединяющего на базе плазменной техники производство энергии и химико-металлургическое производство металлов, сплавов и соединений из природного и техногенного сырья. При этом прогнозируется значительное снижение энергозатрат по сравнению с традиционными и альтернативными способами.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВОВ С АМОРФНОЙ И МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ. *В.А. Шаповалов, И.В. Шейко, Ю.А. Никитенко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Быстрозакаленные материалы, ввиду их специфической структуры, значительно превосходят по своим характеристикам (физико-механическим, электрофизическим, магнитным и пр.) обычный литой или деформированный металл. Кроме того, благодаря сверхбыстрой закалке металлов и сплавов из жидкого состояния можно фиксировать в твердом продукте состав, соответствующий жидкому состоянию, и, таким образом, получать сплавы из компонентов, образующих растворы только в жидком состоянии. При этом в металлическом продукте происходит формирование специфической структуры — от аморфной до мелкокристаллической (в зависимости от скорости охлаждения).
В ИЭС им. Е.О. Патона разработаны технологии и оборудование для получения аморфных и нанокристаллических материалов с использованием индукционного и плазменного источников нагрева.
Процесс индукционной плавки в секционном кристаллизаторе (ИПСК) совмещен со сверхбыстрой кристаллизацией металла путем диспергирования полученного расплава. Совмещение ИПСК и сверхбыстрой закалки расплава позволяет исключить контакт металлического расплава с огнеупорным материалом тигля и тем самым решить вопрос получения быстрозакаленных металлических материалов (чешуек) из высокореакционных металлов и сплавов. Процесс диспергирования осуществляется, как правило, в атмосфере инертного газа.
В основу технологической схемы с плазменным источником нагрева заложен принцип плазменно-дуговой гарнисажной плавки металла в медном водоохлаждаемом тигле с последующим спиннингованием расплава и его охлаждением на поверхности барабана-холодильника. В результате

Series of practical applications based on peculiarities of superdispersed state, i.e. reduction of temperature and energy intensity of compacting, intensification of processes of sintering and welding, obtaining on their basis of solid alloys of increased hardness and wear-resistance were demonstrated for superdispersed products of plasma reduction of tungsten oxides.
Number of plasma-chemical processes of obtaining of nanodispersed powders of metals and compounds (oxides, nitrides, carbides, carbonitrides) was investigated. Thermodynamic and kinetics laws and control parameters providing obtaining of powders of defined chemical and dispersed state were determined. Methods of control of average size of particles of obtained powders in changing of enthalpy of plasma jet, raw material consumption, structural peculiarities of reactor as well as using gas hardening of products of plasma chemical interaction were developed.
Concept of energy technology of future is developing based on creation by modulus principle of environmentally appropriate energy technological complex joining power production and chemical-metallurgical production of metals , alloys and joints from natural and technogenic raw stock in terms of plasma technique. At that, significant reduction of power inputs in comparisons with traditional and alternative methods is predicted.

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MANUFACTURE OF ALLOYS WITH LIQUID-LIKE AND MICROCRYSTALLINE STRUCTURE. *V.A. Shapovalov, I.V. Sheyko, Yu.A. Nikitenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Fast-quenched materials, due to their specific structure, significantly exceed simple cast and deformed metal on their characteristics (physico-mechanical, electrophysical, magnetic and etc.). Besides, a composition, correspondent to liquid state, can be registered, due to ultrafast-quenching of metals and alloys from liquid state, and, thus, alloys from components forming the solutions only in liquid state can be obtained. At that, formation of specific structure, i.e. from liquid state to fine-grained (depending on cooling rate) takes place at that in metallic product.
The E.O. Paton Electric Welding Institute developed technologies and equipment for obtaining of liquid-state and nanocrystalline materials using induction and plasma power sources.
Process of induction melting in sectional crystallizer (IMSC) is combined with ultra-fast solidification of metal by means of dispersion of obtained alloy. Joining of IMSC with ultrafast quenching of melt allows eliminating contact of metal melt with refractory material of crucible and, thus, solving the problem of obtaining of fast-quenched metallic material (scales) from high-reactivity metals and alloys. Process of dispersion is carried out, as a rule, in inert gas atmosphere.
Principle of plasma-arc skull melting of metal in copper water-cooled crucible with further flow turning of melt and its cooling on surface of drum-cooler makes the basis of technological scheme with plasma heat source. As a result, obtaining of fast-quenched materials in from of strips and scales is possible.
Developed technologies allow performing refinement of melt as a result of holding, overheating, intensive mixing, application of discharged atmosphere, using of active gases and

тате возможно получение быстрозакаленных материалов в виде лент и чешуек.

Разработанные технологии позволяют осуществлять рафинирование расплава в результате выдержки, перегрева, интенсивного перемешивания, использования разряженной атмосферы, применения активных газов и шлаков. Достигается высокая однородность состава, а скорость кристаллизации расплава составляет 10^5–10^7 °/с.

СУПЕРБОЛЬШИЕ ПРОФИЛИРОВАННЫЕ МОНОКРИСТАЛЛЫ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА (ПЛАЗМЕННО-ИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД). *В.А. Шаповалов, В.В. Якуша, А.Н. Гниздыло (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Научный и практический интерес к монокристаллам вольфрама и молибдена как к конструкционным материалам, которые могут работать в особых условиях, остается актуальным на протяжении многих лет. Возникают задачи, решение которых с применением небольших монокристаллов практически невозможно. Это мишени диаметром не менее 60 мм для напыления, аноды мощных рентгеновских трубок, зеркала промышленных лазеров, тигли для выращивания крупных монокристаллов оксидов и других химических соединений, а также широкоформатный монокристаллический прокат.

Высокие температуры плавления тугоплавких металлов обусловливают технологическую сложность создания требуемого температурного поля в теле монокристалла в процессе выращивания. Поэтому выращивание крупных монокристаллов является большой научной и технической проблемой.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины эта проблема успешно решена. Создано новое оборудование и технологии плазменно-индукционного выращивания крупных профилированных монокристаллов тугоплавких металлов. Производятся плоские ориентированные монокристаллы вольфрама и молибдена размерами 20×160×170 мм.

Рентгеноструктурные и металлографические исследования показывают, что выращенные плоские слитки вольфрама и молибдена являются сплошными монокристаллическими телами и имеют вытянутую в направлении роста ячеистую структуру. Максимальный угол дезориентации фрагментов структуры не превышает 5°, максимальный угол поворота кристаллографических плоскостей не более 3°. Таким образом, нами впервые решена проблема выращивания больших ориентированных монокристаллов вольфрама и молибдена с достаточно совершенной структурой. Выращенные крупные профилированные монокристаллы в виде пластин позволяют решить многие научные и технические проблемы.

slags. High homogeneity of composition is achieved and rate of solidification of melt makes 10^5–10^7 °/s .

SUPER LARGE PROFILED SINGLE-CRYSTALS OF TUNGSTEN AND MOLYBDENUM (PLASMA-INDUCTION METHOD). *V.A. Shapovalov, V.V. Yakusha, A.N. Gnizdylo (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Scientific and practical interest to single-crystals of tungsten and molybdenum as to structural materials which can operate under special conditions remains relevant in a course of many years. There are tasks solving of which using small single-crystals is virtually impossible. These are targets for spraying of not less than 60 mm diameter, anodes of powerful X-ray tubes, mirrors of industrial lasers, crucibles for growing of large single-crystals of oxides and other chemical combinations as well as large single-crystal rolled metal.

High temperatures of melting of refractory metals provide for technological difficulty of development of necessary temperature field in single-crystal body in the process of growth. Therefore, growing of coarse single-crystals is large scientific and technical problem.

This problem is successfully solved at the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. New equipment and technology were developed for plasma-induction growing of coarse profiled single-crystals of refractory metals. Flat-shaped oriented single-crystals of tungsten and molybdenum of 20×160×170 mm size are manufactured. X-ray structure and metallographic investigations showed that grown flat-shaped ingots of tungsten and molybdenum are solid single-crystal bodies and have extended cellular structure in growth direction. Maximum angle of disorientation of structure fragments does not exceed 5° and maximum angle of rotation of crystallographic planes makes not more than 3°. Thus, the problem of growing of coarse oriented single-crystals of tungsten and molybdenum with sufficiently perfect structure is solved for the first time. Grown coarse profiled single-crystals in form of plates allow solving many scientific and technical problems.

ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ В МЕДИЦИНЕ. ЭКОЛОГИЯ, АТТЕСТАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

PROBLEMS OF WELDING IN MEDICINE. ECOLOGY, CERTIFICATION AND STANDARDIZATION OF WELDING MANUFACTURING

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛУГ ПРИ МОНТАЖЕ И ДИАГНОСТИКЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ОБЗОР). *Ю.К. Бондаренко, Ю.В. Логинова, К.О. Артюх (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Один из эффективных путей решения проблемы — внедрение системы управления качеством продукции по стандарту ISO 9001–2008. Разработка стратегии конкуренции в значительной мере связана с определением того, какими должны быть цели и политика качества, необходимая для их достижения.

Исследования показали, что персональные ценности организации — это мотивационные установки, требования руководителей и других сотрудников, которые должны внедрять выбранную стратегию и систему управления качеством (ДСТУ ISO 9001, ДСТУ ISO 3834). Сильные и слабые места в соединении с ценностными ориентирами системы управления качеством определяют (для фирмы) внутренние границы стратегии конкуренции, которые она может успешно взять на вооружение при выполнении технических услуг в области НК и ТД, а также сварки конструкций (при ремонте и монтаже). Анализ указывает на то, что эти нормы обеспечивают систему управления производством критериями опенки средств достижения установленного качества фирмами и организациями, выполняющими сварочно-монтажные, ремонтные работы (услуги), НК и ТД.

Принципы координации сварочных работ могут устанавливаться изготовителем, по контракту или стандартом на продукцию при изготовлении или сборке ответственных конструкций и «Руководством по качеству» (ISO 9001–2008) предприятия (фирмы).

Отмечено три подхода к определению конкуренции. Первый определяет конкуренцию как состязательность на рынке технических услуг. Второй рассматривает конкуренцию как элемент рыночного механизма, который позволяет уравновесить спрос и предложение. Третий подход определяет конкуренцию как критерий, по которому определяют тип отраслевого рынка.

Нельзя рассчитывать на стабильное обеспечение качества технических услуг без внедрения системы менеджмента качества и обучения руководителей высшего звена мировому опыту совершенствования.

PROBLEMS OF INCREASE OF QUALITY OF TECHNICAL SERVICES DURING ASSEMBLY AND DIAGNOSTICS IN POWER ENGINEERING WITH THE PURPOSE OF PROVIDING OF SAFETY OF WELDED STRUCTURES (REVIEW). *Yu.K. Bondarenko, Yu.V. Loginova, K.O. Artyukh (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* One of the efficient ways of problem solving is implementation of product quality management system on standard ISO 9001–2008. Development of competition strategy is related to significant extent with determination of what should be the aims and policy of quality necessary for their achievement. Investigations showed that the individual values of organization are motivation line sand requirements of managers and other staff which should implement chosen strategy and system of quality management (DSTU ISO 9001, DSTU ISO 3834). Strong and weak places in combination with value marks of quality management system determine (for company) internal boundaries of competition strategy which it can successfully use in performance of technical services in area of NDT and TD as well as in welding of structures (in repair and assembly). Analysis indicates that these norms provide a system of production management with criteria for evaluation of means of achievement of specified quality of companies and organizations carrying out welding-assembly works, repair works (services), NDT and TD.

Principles of coordination of welding works can be set by manufacturer on contract basis or by standard on production during manufacture or assembly of critical structures and by «Quality manual» (ISO 9001–2008) of enterprise (company).

Three approaches to determination of competitiveness are marked. The first one determines competition as competitveness on market of technical services. The second one considers competition as an element of market mechanism which allows demand and proposal balancing. The third approach determines competition as a criterion on which type of market branch is determined.

It is impossible to expect stable of quality of technical services without implementation of quality management system and teaching of world enhancement experience to top executive managers.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В ГИНЕКОЛОГИЧЕСКОМ ОТДЕЛЕНИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КЛИНИЧЕСКОГО ГОСПИТАЛЯ СБ УКРАИНЫ. *Е.Н. Кудлай, Д.Ю. Якимов, Н.А. Шкабой (Центральный госпиталь Военно-медицинского управления СБ Украины, Киев, Украина).* Широкое применение ВЧ-электросварочная технология нашла при выполнении лапароскопических вмешательств при бесплодии трубно-перитонеального, эндокринного генеза, внематочной беременности, пиосальпинксах, кистомах яичников, а также при выполнении экстирпации матки, надвлагалищной ампутации матки. Для этой цели применяли ВЧ-электросварочный коагулятор ЭКВЗ-300 с автоматической системой управления.

Целью исследования было упростить технику выполнения операций, сократить среднее время, потраченное на операцию, сократить кровопотерю, исключить инфильтраты, которые образуются при легировании сохраненных коллатералей.

Было проведено 149 операционных вмешательств в гинекологическом отделении, а именно гистерэктомия с двусторонней тубовариоктомией — 59, надвлагалищная ампутация матки с придатками — 34, лапароскопические

HIGH-FREQUENCY ELECTRIC WELDING TECHNOLOGY IN GYNECOLOGICAL WARD OF CENTRAL CLINICAL HOSPITAL OF SS OF UKRAINE. *E.N.Kudlaj, D.Yu. Yakimov, N.A. Shkaboj (Central Hospital of Military-Medical Administration of Security Service of Ukraine, Kiev, Ukraine).* HF-electric welding technology became widely accepted during performance of laparoscopic interventions at infertility of tubo-peritoneal, endocrinal genesis, extrauterine pregnancy, piosalpynxes, ovarian cystomas, as well as performance of uterectomy, and supravaginal uterectomy. HF-electric welding coagulator EKVZ-300 with automatic control system was used for this purpose.

The objective of investigations was simplification of surgical technique, reducing average surgery time, and blood loss, elimination of infiltrates, which form at alloying of preserved collaterals.

149 surgical interventions were performed in the gynecological ward, namely hysterectomy with two-sided tubovariectomy — 59, supravaginal amputation of the uterus with appendages — 34, laparoscopic operations — 56, of them: uterine tube sterilization — 8; surgeries at extrauterine pregnancy (salpingotomy, salpingectomy) — 14, operations on

операции — 56, из них: стерилизация маточных труб — 8, операции при внематочной беременности (сальпинготомия, сальпингэктомия) — 14, операции на яичниках (резекция яичника, цистэктомия, овариэктомия) — 21, удаление параовариальной кисты — 4, аднексэктомия — 9. Результаты проведенных исследований свидетельствуют об уменьшении интраоперационной кровопотери при надвлагалищной ампутации матки — в 1,7 раза, при простой гистерэктомии — на 22 %, при радикальной гистерэктомии — на 19 %. Сокращалась продолжительность оперативного вмешательства при надвлагалищной ампутации матки в 1,8 раза, простой гистерэктомии на 24 %, радикальной гистерэктомии — на 24 %.

the ovaries (ovariotomy, cystectomy, ovariectomy) — 21, paroopharitic cyst excision — 4, adnexectomy — 9.
Results of the conducted investigations are indicative of reduction of postoperative blood loss at supravaginal amputation of the uterus — 1.7 times; at simple hysterectomy - by 22 %, at radical hysterectomy — by 19 %. Duration of surgical intervention at supravaginal amputation of the uterus was reduced 1.8 times, of simple hysterectomy — by 24 %, and of radical hysterectomy — by 24 %.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ. *Ю.Н. Ланкин, Е.Н. Байштрук, Д.Д. Кункин, П.П. Осечков, И.Ю. Романова, В.Ф. Семикин, В.Г. Соловьев, Л.Ф. Суший (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Разработка и совершенствование систем автоматического регулирования процесса контактной сварки биологических тканей была и остается актуальной. Необходимо исследование процесса сварки как объекта автоматического регулирования. С целью получения экспериментальных данных о процессе разработано специализированное оборудование:

- сварочный источник, обеспечивающий регулирование и стабилизацию по выбору сварочного напряжения, тока или мощности, выделяемой в сварном соединении;
- контроллер задания произвольной программы изменения выходных параметров сварочного источника;
- машина для контактной сварки, обеспечивающая регулирование усилия сжатия электродов и измерение перемещения электродов вследствие изменения толщины тканей при сварке;
- информационно-измерительная система для регистрации и обработки контролируемых параметров сварки;
- машина для испытания на прочность сварных соединений биологических тканей.

С помощью этого оборудования получены экспериментальные данные о динамике изменения тока и напряжения сварки, импеданса и активного сопротивления, толщины и температуры различных биологических тканей в процессе сварки при различных режимах и регулировании/стабилизации различных параметров сварки.
Получены зависимости прочности сварных соединений от режимов сварки.
Исследовано влияние автоматического регулирования/стабилизации параметров процесса сварки на прочностные характеристики сварных соединений.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROCESS OF RESISTANCE WELDING OF BIOLOGICAL TISSUES AS AN OBJECT OF AUTOMATIC REGULATION. *Yu.N. Lankin, E.N. Bajshtruk, D.D. Kunkin, P. Osechkov, I.Yu. Romanova, V.F. Semikin, V.G. Solovjev, L.F. Sushy (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Development and improvement of systems of automatic regulation of the process of resistance welding of biological tissues was and still remains to be urgent. It is necessary to conduct investigation of the welding process as an object of automatic regulation. Specialized equipment was developed in order to obtain experimental data on the process, namely:

- welding source providing regulation and stabilization by selection of welding voltage, current or power evolved in the welded joint;
- controller for setting an arbitrary program of variation of output parameters of the welding source;
- resistance welding machine, ensuring regulation of the electrode compression force and measurement of electrode displacement as a result of the change of tissue thickness in welding;
- information measurement system for recording and processing of controlled welding parameters;
- machine for strength testing of welded joints of biological tissues.

This equipment was used to derive experimental data on the dynamics of variation of welding current and voltage, impedance and reactance, thickness and temperature of various biological tissues during welding in different modes and regulation/stabilization of various welding parameters.
Dependencies of welded joint strength on welding modes were derived.
Influence of automatic regulation/stabilization of welding process parameters on strength properties of welded joints was studied.

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БЕЗПЕКИ ОПЕРАТОРІВ МАШИН КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ. *О.Г. Левченко, В.К. Левчук, О.М. Гончарова (Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна).* Дослідження, виконані в ІЕЗ ім. Е.О. Патона, показали, що при різних способах контактного зварювання в залежності від фізичних особливостей та параметрів процесів, конструктивних особливостей і принципу дії джерел зварювального струму в робочій зоні можуть створюватися магнітні поля (МП) широкого частотного складу, які за певних умов можуть перевищувати гранично допустимі рівні (ГДР). Дані дослідження дали можливість встановити графічні

METHODS OF PROVIDING OF ELECTROMAGNETIC SAFETY FOR OPERATORS OF RESISTANCE SPOT WELDING MACHINES. *O.G. Levchenko, V.K. Levchuk, O.M. Goncharova (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Investigations performed at the E.O. Paton Electric Welding Institute showed the possibility of appearance of wide frequency spectrum magnetic fields (MF) in working zone which under certain conditions can exceed threshold allowable levels (TAL) in different methods of resistance welding depending on physical features and parameters of the processes, structural peculiarities and principle of operation of welding sources. Research data provide the possibility to determine the graphical

залежності узагальненого показника перевищення рівня (ППР) МП в робочій зоні від відстані та режимів контактного точкового зварювання типовою машиною МТ-2202 з урахуванням спектрального складу МП.

Встановлено, що будь-які зміни режиму контактного точкового зварювання, в порівнянні з режимом зварювання однією пачкою повнофазних імпульсів зварювального струму, призводять до збільшення ППР МП, який перевищує ГДР на відстані до 0,8–1,0 м від електродів зварювальної машини. Найменш безпечним режимом зварювання є режим, спектр МП якого містить найменшу кількість основних гармонічних складових, що визначають енергетичне навантаження МП, тобто режим зварювання однією пачкою синусоїдальних повнофазних імпульсів зварювального струму якомога більшої тривалості та найменшої величини струму («м'який» режим). Отримано графічні залежності напруженості МП з урахуванням його спектрального складу від кута фазового регулювання зварювального струму, величини і часу імпульсу струму, а також відстані (перед машиною) до електродів машини зварювання. Показано, що зміни кута фазового регулювання від 0 до 90° збільшує енергетичне навантаження МП на робочому місці зварника приблизно в 2 рази, а подальше збільшення кута від 90 до 120° — ще в 2 рази.

Разом с тим показано, що для повного захисту зварників від МП (нижче ГДР) необхідно додатково застосовувати екранування джерел випромінювань або працюючих. Для цього було розроблено екрануючий фартух зварника з захисним шаром з аморфних стрічок на основі CoFeCrSiB, з'єднаних полотняним переплетенням по дві стрічки в шарі, що забезпечує необхідну ефективність захисту зварника (Патент України № 50293 від 25.05.2010).

НОРМАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ. *О.Г. Левченко, А.О. Лук'яненко (Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна).* В ІЕЗ ім. Е. О. Патона виконано науково-дослідну роботу щодо мінімізації концентрації шкідливих речовин на робочих місцях ручного дугового зварювання покритими електродами. В результаті цього було розроблено заходи з нормалізації вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони під час зварювання покритими електродами з рутил-целюлозним покриттям шляхом врахування встановлених залежностей концентрацій шкідливих речовин в повітрі робочої зони від умов зварювання (відстані від зварювальної дуги, режимів зварювання) при використанні різних видів вентиляції.

З використанням регресійно-кореляційного аналізу було встановлено залежності концентрації зварювальних аерозолів, марганцю, оксиду вуглецю та діоксиду азоту від відстані до зварювальної дуги без застосування вентиляції, при застосуванні місцевої та загальнообмінної вентиляції. Встановлено, що концентрація марганцю в зоні зварювальної дуги має обернено пропорційну залежність від продуктивності місцевої вентиляції. Показано, що при застосуванні зварювальних електродів з рутиловим та рутил-целюлозним покриттям підвищення продуктивності місцевої вентиляції з 1750 до 2500 м^3/год зона ефективного уловлювання шкідливих речовин збільшується з 0,30 до 0,38 м.

На основі отриманих даних було розроблено інформаційно-розрахункову систему гігієнічних характеристик зварювальних електродів «Гігієна зварювання», що дозволяє виконувати вибір зварювальних електродів з кращими гігієнічними характеристиками та рекомендації щодо вибору засобів захисту зварників.

dependences of overall index of exceeding of MF level (IEL) in working zone on distance and modes of resistance spot welding using standard machine MT-2202 considering MF spectrum.

It was determined that any changes of mode of resistance spot welding in comparison with welding mode by one full-phase pulse burst of welding current resulted in increase of IEL of MF which exceeds TAL in up to 0.8–1.0 m distance from electrodes of welding machine. The least safe mode of welding is a mode MF spectrum of which contains the smallest number of basic harmonic constituents that determine power loading of MF, i.e. mode of welding by one burst of sinusoidal full-phase pulses of welding current of maximum duration and minimum value of current («soft mode»). Graphic dependences of MF intensity considering its spectrum content on angle of phase adjustment of welding current, value and time of current pulse as well as distance (before machine) to electrodes of welding machine were obtained. It is shown that change of angle of phase adjustment from 0 up to 90° increases power loading of MF in welder's working place approximately 2 time and further increase of angel from 90 up to 120° provides 2 time more rise.

Moreover, it is shown that for complete protection of welders from MF (below TAL) additional application of shielding of irradiation sources or working persons is necessary. Welder's shielding apron with protective layer from amorphous CoFeCrSiB based strips, connected using linen weave by two strips in layer, was developed for this purpose that provides necessary efficiency of welder's protection. (Ukrainian Patent No. 50293 from 25.05.2010).

NORMALIZATION OF CONCENTRATION OF HAZARDOUS SUBSTANCES ON WORKING STATIONS FOR MANUAL ARC WELDING. *O.G. Levchenko, A.O. Lukyanenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Scientific-and-research work on minimizing of concentration of hazardous substances on working stations for manual arc welding using coated electrodes was carried out at the E.O. Paton Electric Welding Institute. As a result the measures on normalization of content of hazardous substances in air of working zone in welding by rutile-cellulose coated electrodes were developed by means of consideration of determined dependences of concentration of hazardous substances in air of working zone on welding conditions (distance from welding arc, welding modes) using different types of ventilation. Dependences of concentration of welding fumes, manganese, carbon oxide and nitrogen dioxide on distance to welding arc without ventilation, with local and general ventilation were determined using regression- correlation analysis. It was determined that manganese concentration in zone of welding arc has reciprocal dependence on efficiency of local ventilation. It was shown that zone of effective trapping of hazardous substances increases from 0.30 up to 0.38 m at rise of efficiency of local ventilation from 170 up to 2500 m^3/h in application of welding electrodes with rutile and rutile-cellulose coating.

Information-calculation system of hygienic characteristics of welding electrodes «Welding hygiene» was developed based on obtained data that allow selecting welding electrodes with better hygiene characteristics and providing recommendations on selection of means of welders' protection. For more effective protection of workers from welding fumes new models of filter-ventilation devices of increased productivity were additionally developed, except for mentioned

Для більш ефективного захисту працівників від зварювальних аерозолів, крім зазначених технологічних заходів, додатково було розроблено нові моделі фільтровентиляційних агрегатів підвищеної продуктивності для робочих місць ручного дугового зварювання ТЕМП-1750, ТЕМП-2000 та ТЕМП-2500.

technological measures, for working stations of manual arc welding TEMP-1750, TEMP-2000 and TEMP-2500.

ЖУРНАЛ «АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА» НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ. *В.Н. Липодаев, А.Т. Зельниченко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Международный научно-технический и производственный журнал «Автоматическая сварка» издается ежемесячно Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины с 1948 г.

За прошедшие годы в журнале было опубликовано около 8000 статей по широкому спектру проблем сварочного производства. В нем впервые были освещены многие выдающиеся разработки в области сварки и родственных технологий и прослежено их развитие. Авторами журнала являются известные специалисты как из академической, так и производственной среды. Среди них инженеры, ведущие специалисты, аспиранты, кандидаты и доктора наук, академики из Украины, России, Беларуси, Германии и других стран. Благодаря этому журнал «Автоматическая сварка» завоевал широкую читательскую аудиторию.

По ширине охвата и глубине освещения опубликованных материалов в журнале его часто называют сварочной энциклопедией. Он помог становлению не одного поколения сварщиков СССР и СНГ, для которых многие годы служит настольным пособием. Журнал «Автоматическая сварка» популярен в среде ученых, преподавателей, руководителей и специалистов многих организаций и предприятий различных отраслей промышленности.

В последние годы журнал в соответствии с новыми приоритетами в сварочном производстве и мировыми тенденциями расширил спектр публикуемой информации, включающей сведения о разработках лазерных, плазменных и гибридных технологий сварки и наплавки, роботизации и автоматизации сварочных процессов, совершенствовании техники и технологии контактной, электронно-лучевой сварки, процессов пайки; регулярно освещает достижения в сварочной отрасли по следам авторитетных специализированных выставок в Эссене, Киеве, Москве, С.-Петербурге; информирует о важнейших научно-технических конференциях и семинарах в области сварки и родственных технологий, проводимых в СНГ и дальнем зарубежье.

По-прежнему главной задачей редколлегии журнала и его Международного редакционного совета остается удовлетворение информационных потребностей читательской аудитории, укрепление авторитета журнала путем представления его в известных международных наукометрических, реферативних и информационных базах.

«AVTOMATICHESKAYA SVARKA» (AUTOMATIC WELDING) AT CURRENT STAGE. *V.N. Lipodaev, A.T. Zelnichenko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* International scientific-technical and production journal «Avtomaticheskaya Svarka» is monthly published by the E.O. Paton Electric Welding Institute since 1948.

Around 8000 papers of wide spectrum on problems of welding engineering were published in the journal in a course of past years. Number of outstanding developments in area of welding and related technologies was for the first time mentioned in it and their development was traced. Authors of the journal are well-known specialists from scientific as well as industrial media. Among them are engineers, leading specialists, professors from Ukraine, Russia, Belarus, Germany and other countries. Due to that «Avtomaticheskaya Svarka» journal gained wide readers' auditory.

It is often called a welding encyclopedia thanks to wideness and deepness of covered materials published in the journal. It helped the formation of many generations of welders of USSR and CIS for whom the journal was a manual for many years.

«Avtomaticheskaya Svarka» journal is popular among the scientists, lecturers, executives and specialists of many organizations and enterprises from different branches of industry.

The Journal in recent years expended the spectrum of published information in accordance with new priorities in welding engineering and world tendencies, including data on developments of laser, plasma and hybrid welding and surfacing technologies, robotization and automation of welding processes, improvement of technique and technology of resistance, electron beam welding and brazing processes. It covers on regular basis the achievements in welding branch following the information from authoritative specialized exhibitions in Essen, Kiev, Moscow, St. Petersburg and provides information on the most important scientific-and-technical conferences and seminars in area of welding and related technologies carried out in CIS countries and far abroad.

Still the main task of journal editorial board and International editorial council is fulfillment of information demands of readers' auditory, consolidation of authority of the journal by means of its representation in known international scientometric, reference and information bases.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЧ ЭЛЕКТРОСВАРКИ В ОТОЛАРИНГОЛОГИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГОСПИТАЛЯ ВОЕННО-МЕДИЦИНСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СБ УКРАИНЫ. *И.А. Лурин, А.И. Вильчинский, Л.М. Мельниченко, Д.Ю. Якимов, О.В. Охонько (Центральный госпиталь ВМУ СБУ, Киев, Украина).* Во время проведения хирургических вмешательств на лимфо-глоточном кольце и в полости носа, а также в раннем послеоперационном периоде одним из основных осложнений является кровотечение, которое может удлинять время операции, требовать дополнительных вмешательств или увеличивать сроки пребывания больного в условиях стационара.

OUR EXPERIENCE OF APPLICATION AND PROSPECTS OF HF ELECTRIC WELDING IN OTOLARYNGOLOGY UNDER THE CONDITIONS OF CENTRAL HOSPITAL OF MILITARY MEDICAL ADMINISTRATION OF SECURITY SERVICE OF UKRAINE. *I.A. Lurin, A.I. Vilchinsky, L.M. Melnichenko, D.Yu. Yakimov, O.V. Okhonko (Central Hospital of MMA SS of Ukraine, Kiev, Ukraine).* During performance of surgeries on lymph-larynx ring and in the nasal cavity, as well as in the early post-operative period one of the main complications is haemorrhage, which can prolong the operation time, require additional interventions or extend the term of the patient's stay in the in-patient department.

Совместно с НМАПО и НИИ электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины нами разработаны и успешно апробированы в условиях спецотделения госпиталя биполярные электроинструменты к высокочастотному ЕК-300М1: пинцет для электросварки слизистой носовой перегородки, конхотом для свариания тканей в области миндаликовой ниши, устройство для удаления синнехий в полости носа (патент на изобретение № 93621 «Электроустройство для удаления синнехий носа», изобретатели: А.Л. Косаковский, И.А. Косаковская, Р.Г. Семенов, В.Р. Семенов, А.И. Вильчинский).

За последний год в отделении прооперировано 38 пациентов в возрасте от 17 до 63 лет с хроническим тонзилитом, искривлением носовой перегородки, вазомоторным ринитом, синнехиями полости носа.

Использование ВЧ биполярной сварки биологических тканей при операциях на ЛОР органах снижает кровопотерю, уменьшает длительность операции и пребывние больного на койке. Удаление синнехий полости носа проводилось амбулаторно (быстро и бескровно), не требовало длительной передней тампонады носа как при традиционной методике.

В последнее время ведется работа по испытанию и внедрению в практику новых методик бесконтактной термоструйной обработки живых тканей, которая позволит значительно расширить сферу применения сварочных технологий и, в частности, эндоскопической щадящей ринохирургиии.

In cooperation with NMAPE and E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, we developed and successfully tried out under the conditions of the hospital special ward bipolar electric instruments to be used together with high-frequency EK-300M1: pincers for electric welding of nasal septum mucus, conchotome for welding tissues in the vicinity of tonsilla fossa, device for removal of synechia in the nasal cavity (Patent for Invention # 93621 «Electric device for removal of nasal synechia», inventors: A.L. Kosakovsky, I.A. Kosakovskaya, R.G. Semenov, V.R. Semenov, A.I. Vilchinsky).

During the last year, 38 patients aged between 17 and 63 with chronic tonsillitis, nasal septum deviation, vasomotor rhinitis, and synechias of nasal cavity have been operated on in our department.

Application of HF bipolar welding of biological tissues at operations on ENT organs lowers the blood loss, and reduces the patient's hospital stay. Removal of nasal cavity synechias was conducted on outpatient basis (quickly and without blood loss), and did not require prolonged anterial nasal packing as with the traditional procedure.

Work on testing and putting into practice new procedures of contactless thermojet treatment of live tissues has been conducted recently, which allows a considerable widening of the sphere of welding technology application, in particular in endoscopic sparing rhinosurgery.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЗВАРЮВАННЯ М'ЯКИХ ТКАНИН ПРИ ЛАПАРОСКОПІЧНІЙ АПЕНДЕКТОМІЇ. *І.А. Лурін, О.В. Охонько, Г.Г. Макаров, І.А. Тітомір, О.І. Гладишенко (Центральний госпіталь ВМУ СБУ, Київ, Україна).* Гострий апендицит залишається найбільш частим захворюванням органів черевної порожнини, що потребує невідкладного оперативного втручання. Сучасні лапароскопічні технології все ширше втілюються в хірургічне лікування гострого апендициту. Однак, не дивлячись на незаперечні переваги, лапароскопічна апендектомія (ЛАЕ) має і суттєві недоліки. По-перше, труднощі при накладанні кисетного шва для занурення культі апендикса за умови недостатнього володіння хірургом інтракорпоральним швом; по-друге, всі маніпуляції з червеподібним відростком відбуваються в черевній порожнині, що призводить до її інфікування і зумовлює високий ризик розвитку післяопераційних інфекційних ускладнень. За період 2011–2012 років в хірургічній клініці ЦГ ВМУ СБУ було виконано 87 ЛАЕ. У 42 хворих виконувалась ЛАЕ з застосуванням біполярної коагуляції. У 45 хворих ЛАЕ виконувалась за допомогою генератора автоматичної зварки м'яких тканин «ПАТОНМЕД ЕКВЗ-300». За віком, статтю, супутньою патологією та характером запалення червеподібного відростку обидві групи були репрезентативними. В обох групах нами виконувалась ЛАЕ, методика якої дещо відрізнялась в залежності від використання біполярного коагулятора чи генератора автоматичної зварки тканин. При використанні біполярної коагуляції після обробки брижі на основу апендикса накладались дві петлі Редера, між якими відросток пересікався і видалявся з черевної порожнини. Культя відростка оброблялась за допомогою електрокоагуляції. Середня тривалість операції склала 45±18 хв. При застосуванні електрозварювання після зварювання та пересічення брижі апендикса на основу останнього накладалась одна петля Редера. Дистальніше накладеної петлі тканини відростка зварювались і пересікались. Апендикс видалявся з черевної порожнини. Таким чином, не було потреби в накла-

APPLICATION OF THE METHOD OF LIVE TISSUE WELDING IN LAPAROSCOPIC APENDECTOMY. *I.A. Lurin, O.V. Okhonko, G.G. Makarov, I.A. Titomir, O.I. Gladishenko (Central Hospital of MMA SS of Ukraine, Kyiv, Ukraine).* Acute appendicitis remains to be the most frequent disease of abdominal cavity organs that requires urgent operative intervention. Modern laparoscopic technologies are ever wider introduced into surgical treatment of acute appendicitis. However, despite indubitable advantages, laparoscopic appendectomy also has essential drawbacks. First, these are difficulties of application of purse-string suture for immersion of appendiceal stump, if the surgeon is not good enough at intracorporeal suturing; secondly — all the manipulations with the vermiform appendix are performed in the abdominal cavity that leads to infecting it, and creates a high risk of development of post-operative infectious complications. During the period of 2011–2012 87 laparoscopic appendectomies were performed in the surgical clinic of CH MMA SSU. In 42 patients laparoscopic appendectomy (LAE) was performed with application of bipolar coagulation. In 45 patients LAE was performed using «PATONMED EKVZ-300» generator for automatic welding of soft tissues. Both the groups were representative in terms of age, sex, concomitant pathology and nature of inflammation of vermiform appendix. In both the groups we performed LAE, the procedure of which was somewhat different, depending on application of bipolar coagulator or generator for automatic welding of tissues. At application of bipolar coagulation two Reder loops were applied onto the appendix base after treatment of the fold, between which the appendix was transected and removed from the abdominal cavity. Appendix stump was treated by electric coagulation. Average operation duration was 45±18 min. At application of electric welding, one Reder loop was applied onto the appendix base after welding and appendix fold transection. More distally from the applied loop appendix tissues were welded and transected. Appendix was removed from the abdominal cavity. Thus, there was no need to apply the second loop on

данні другої петлі на червеподібний відросток. Культя апендикса надійно зварювалась, внаслідок чого не потребувала додаткової коагуляції. Середній час операції склав 32±10 хв. Суттєвих ускладнень в обох групах не було. Таким чином, застосування біологічної зварки тканин при виконанні ЛАЕ дозволяє досягти спрощення та зменшення тривалості операції без втрати її надійності.

the vermiform appendix. Appendix stump was reliably welded, so that it did not require additional coagulation. Average operation time was equal to 32±10 min. No significant complications were found in either of the groups. Thus, application of biological welding of tissues during LAE performance allows simplification and shortening of the duration of operation without lowering its reliability.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕТРОСВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ХИРУРГИИ. *И.А. Лурин, Д.Ю. Якимов, И.А. Титомир, Г.Г. Макаров, О.В. Охонько, А.И. Гладышенко (Центральный госпиталь ВМУ СБУ, Киев, Украина).* Центральный госпиталь ВМУ СБУ является одним из первых лечебных учреждений в Украине, в котором с 1998 г. внедрен в практику и по настоящее время широко применяется метод высокочастотной сварки мягких живых тканей (ВЧ СМЖТ), разработанный в Институте электросварки им. Е.О. Патона.

За истекший многолетний период ВЧ СМЖТ использовалась при выполнении более 4,5 тыс. оперативных вмешательств в общей, абдоминальной, лапароскопической, неотложной хирургии, проктологии, травматологии. Широко этот метод применялся также в урологии и гинекологии.

При выполнении операций использовался источник питания ЕК-300 М1, а с 2008 г. — его усовершенствованный вариант. С 2012 г. нами используется многофункциональный аппарат «ПАТОНМЕД ЕКВЗ-300», позволивший значительно расширить сферу применения ВЧ электросварки тканей.

В настоящее время совместно с сотрудниками Института электросварки им. Е.О. Патона ведется активная работа по разработке и внедрению в практику новой методики бесконтактной термоструйной обработки живых тканей (БТОЖТ), позволяющей быстро и эффективно достичь стойкого гемостаза при кровотечении из сосудов диаметром до 3 мм, паренхиматозных органов, выполнить бескровное рассечение тканей, термоабляцию опухолей и метастазов. Применение методики БТОЖТ доказывает ее эффективность в профилактике гнойных осложнений при травмах с обширным повреждением тканей, что делает ее незаменимой при оказании хирургической помощи в стационарных и полевых условиях. Данная методика позволяет минимизировать отрицательные моменты контактной электросварки, связанные с нагреванием окружающих тканей и возможным, в связи с этим, термическим повреждением близлежащих органов и тканей.

Внедрение в практику БТОЖТ позволит значительно расширить показания к применению сварочных технологий, особенно в малоинвазивной хирургии. По нашему мнению наиболее перспективным направлением в дальнейшем развитии сварочных технологий в хирургии является создание так называемых гибридных систем, сочетающих ВЧ СМЖТ и БТОЖТ, а также усовершенствование уже существующих электросварочных медицинских инструментов, что позволит более широко применять эти технологии в практике хирургического лечения пациентов с различной патологией.

EXPERIENCE OF APPLICATION AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF ELECTRIC WELDING TECHNOLOGIES IN SURGERY. I.A. Lurin, D.Yu. Yakimov, I.A. Titomir, G.G. Makarov, O.V. Okhonko, A.I. Gladyshenko (Central Hospital of MMA SS of Ukraine, Kiev, Ukraine). Central Hospital of MMA SS of Ukraine is one of the first patient care institutions in Ukraine, in which the method of high-frequency live tissue welding (HF LTW) developed at the E.O. Paton Electric Welding Institute, has been put into practice starting from 1998 and is widely applied at present.

Over the past period of many years, HF LTW was applied during performance of more than 4.5 thous. operative interventions in general, abdominal, laparoscopic, emergency surgery, proctology and traumatology. This method was widely used also in urology and gynecology.

During operations performance EK-300 M1 power source was used, and since 2008 — its improved variant. Starting from 2012, we have applied multifuctional «PATONMED EKVZ-300» unit, which allowed considerably widening the field of application of HF electric welding of tissues.

At present active development and introduction into practice of the new procedure of contactless thermojet treatment of live tissues (CTTLT) has been performed together with the staff of E.O. Paton Electric Welding Institute. The procedure allows quickly and effectively reaching stable hemostasis at bleeding from up to 3 mm diameter vessels, parenchymatous organs, performing bloodless dissection of tissues, thermal ablation of tumors and metastases. Application of CTTLT procedures demonstrates its effectiveness in prophylaxis of purulent complications at traumas with extensive tissue damage that makes it irreplaceable for rendering surgical assistance under stationary and field conditions. This procedure allows minimizing the negative aspects of resistance electric welding, associated with heating of the adjacent tissues and possible resulting thermal damage of adjacent organs and tissues.

Practical introduction of CTTLT will allow a considerable widening of indications for application of welding technologies, particularly, in low-invasive surgery. In our opinion, the most promising direction for further development of welding technologies in surgery is creation of so-called hybrid systems, combining HF LTW and CTTLT, as well as improvement of the currently-available medical instruments that will allow a wider application of these technologies in practical surgical treatment of patients with different pathologies.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. *А.А. Мазур (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* В настоящее время отдел экономических исследований института, который состоит из 12 человек, в том числе двух докторов технических наук, двух кандидатов эконо-

ECONOMIC PROBLEMS OF WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES. *A.A. Mazur (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* Department of economic researches of the Institute, consisting from 12 persons, including two Doc. of Tech. Sci., two Candidates of Econ. Sci. and one Cand. of Tech. Sci., has

мических и одного — технических наук, имеет многолетний опыт работы по таким направлениям (в скобках — внедренные или рекомендуемые для широкого внедрения результаты работ):

• экономико-статистические исследования состояния и перспектив развития мирового и региональных рынков сварочной науки и техники (периодические мировые обзоры «SVESTA», ежегодники «Сварочное производство Украины»; производство и потребление, экспорт-импорт сварочного оборудования и материалов; подготовка инженерных и рабочих кадров);

• экономическая эффективность сварочной техники и технологий;

• экономические проблемы экологии и ресурсосбережения при сварке (определение затрат при дуговой сварке и вентиляции сварочных цехов; нормирование расхода сварочных материалов и электроэнергии при сварке, резке и наплавке);

• систематизация многоязычной терминологии по сварке и родственным процессам (словари русско-английский и англо-русский; украинско-русско-английский);

• организационно-экономическое совершенствование научно-технической и инновационной деятельности (оценка эффективности работы научных отделов института, организаций — членов Научно-технического комплекса ИЭС; украинская модель технопарка; создание Технопарка ИЭС; кластер «Бархатный путь» для создания бесстыковой колеи скоростного пассажирского движения в Украине; бизнес-планирование инновационных проектов Технопарка и института);

• информационные банки данных (многоязычная сварочная терминология; технологии и разработки ИЭС; производители и продавцы сварочной техники; эксперты в области сварки и родственных технологий; кафедры украинских вузов, готовящих специалистов по сварке; «Ориентир-2» — оперативная библиографическая информация об отечественных и зарубежных публикациях по тематике работ института).

РАБОТЫ ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е.О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ДЛЯ ИМПЛАНТАТОВ, ПРОТЕЗОВ И ХИРУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА. *Б.Е. Патон, Д.М. Калеко (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина).* Для практического использования в медицине сплавов с эффектом памяти формы очень важно, чтобы изделие приобрело нужную форму при температуре человеческого тела, т. е. от 30 до 35 °С, а его предварительное деформирование, например, вытягивание в линию импланта, который при нагревании должен приобрести форму спирали, можно было проводить при охлаждении до температуры проточной воды, т. е. примерно при 10 °С. Таким условиям соответствуют разработанные нами совместно с ИМФ НАН Украины новые сплавы на основе титана и никеля, в которых путем целенаправленного легирования получен указанный температурный диапазон фазового превращения.

Приведены примеры его медицинского применения для изготовления экстракторов чужеродных тел из трубчатых органов человека, скобок для соединения остеообломков как опорного аппарата, так и при черепно-мозговых и стоматологических операциях, пессария для предохранения от преждевременных родов при истмико-цервикальной недостаточности, эмбол, легко проводимых по кровеносным сосудам и закрепляемых в необходимом по роду заболевания месте.

many years' experience of work in such directions (in brackets — implemented or recommended for wide implementation results of work):

• economic-statistics researches of state and perspectives of development of world and regional markets of welding science of technology (periodical world reviews «SVESTA», annularly «Svarochnoe proizvodstvo Ukrainy» (Welding production in Ukraine); manufacture and consumption, export-import of welding equipment and consumables; training of engineer and working staff);

• economic efficiency of welding technique and technologies;

• economic problems of environment and resource saving in welding (determination of expences during arc welding and ventilation of welding shops; norm-fixing of consumption of welding consumables and electricity in welding, cutting and surfacing);

• systematization of multi-language terminology on welding and related processes (Russian-English and English-Russian vocabularies, Ukrainian-Russian-English vocabulary);

• economic-organizing enhancement of scientific-and-technical innovative activity (evaluation of working efficiency research departments of institute, organization-members of Scientific-and-Technical Complex of PWI; Ukrainian model of technological park; development of PWI technological park; cluster «Barkhatnii put» for development of continuous welded rail of high-speed passenger traffic in Ukraine; business-planning of innovation projects of Technological park and Institute);

• information data bases (multi-language welding terminology; technologies and developments of PWI; manufacturers and sellers of welding equipment; experts in area of welding and related technologies; departments of Ukrainian universities educating specialists in welding; «Orientir-2» — online reference information about domestic and foreign publications on subjects of institute works).

R&D OF THE E.O. PATON ELECTRIC WELDING INSTITUTE OF THE NAS OF UKRAINE ON APPLICATION OF SHAPE MEMORY ALLOYS FOR IMPLANTS AND SURGICAL TOOLS. *B.E. Paton, D.E. Kaleko (The E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, Kiev, Ukraine).* For practical medical application of shape memory alloys it is highly important that the item took the required shape at human body temperature, i.e. from 30 up to 35 °C, and its pre-deformation, for instance, stretching of an implant into a line, which should take the form of a spiral at heating, could be conducted at cooling down to the temperature of running water, i.e. approximately at 10 °C. These conditions are satisfied by new titanium and nickel-based alloys, developed by us together with IMF of the NAS of Ukraine. In these alloys the above-mentioned temperature range of phase transformation was obtained by targeted alloying.

Examples are given of its medical application for manufacture of extractors of foreign bodies from tubular human organs, staples for joining osteofragments of both locomotive system and at cerebral and stomatological operations, pessary for prevention of premature birth at isthmico-cervical deficiency, emboluses easily guided along the blood vessels and attached in the target location, depending on the kind of disease.

A large scope of work was performed on development of stents of a new design for coronary vessels and gall ducts. The stent has an increased rigidity in the radial direction

Выполнена большая работа по созданию стентов новой конструкции для коронарных сосудов и желчных проток. Стент имеет повышенную жесткость в радиальном направлении и достаточную осевую гибкость для прохождения по кровеносным сосудам до места установки. Особенностью стента является также пористая поверхность особого рода, позволяющая сохранять большую порцию фармакологических средств для борьбы с возможными последствиями хирургического вмешательства.
Новый сплав с эффектом памяти формы имеет ферромагнитные свойства для гипертермического воздействия на пораженные участки тела индукционным нагревом.
Новизна решений во всех перечисленных работах подтверждена патентами Украины.

and sufficient axial rigidity for passing through the blood vessels up to the target location. Another feature of the stent also is porous surface of a special kind, allowing preservation of a large portion of pharmacological means for fighting the possible consequences of surgical intervention.
The new shape-memory alloy has ferromagnetic properties for applying hyperthermal impact to the damaged areas of the body by induction heating.
The novelty of the solution for all the above-mentioned developments is confirmed by patents of Ukraine.

СИСТЕМА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СВАРЩИКОВ НА ОСНОВЕ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА. *П.П. Проценко (Межотраслевой учебно-аттестационный центр Ин-та электросварки им. Е.О. Патона, Киев, Украина).* Современное сварочное производство предъявляет специфические требования к профессиональной подготовке и квалификации сварщиков, их способности обеспечивать необходимое качество сварочных работ.
Подтверждением соответствия уровня профессиональной подготовки сварщиков производственным требованиям является их профессиональная компетентность — способность эффективного применения знаний и умений для достижения требуемых результатов работы. Компетентностный подход лежит в основе предложенной Межотраслевым учебно-аттестационным центром Института электросварки им. Е.О. Патона концепции широкопрофильной профессиональной подготовки квалифицированных рабочих в области сварки. В соответствии с концепцией разработана профессионально-квалификационная структура интегрированной профессии «Зварник», в которой показатели профессиональной компетентности и уровни квалификации определены, исходя из требований национальных и международных стандартов, регламентирующих выполнение и обеспечение качества сварки.
Перечень и описание работ, которые должен выполнять сварщик определенной специализации и уровня квалификации, а также критерии подтверждения соответствия профессиональных знаний и умений действующим в сварочном производстве требованиям, определяют содержание Межотраслевой квалификационной характеристики (стандарта профессии) и Государственного стандарта профессионального образования интегрированной профессии «Зварник» — базовых нормативных документов в системе профессиональной подготовки сварщиков на основе компетентностного подхода. Определяющими факторами этой системы являются целостность учебного процесса, направленного на формирование запланированного уровня квалификации и оценка его результатов, которая проводится в виде независимой квалификационной аттестации.

SYSTEM FOR PROFESSIONAL TRAINING OF QUALIFIED WELDERS BASED ON COMPETENCE APPROACH. *P.P. Protsenko (Inter-Industry Educational and Qualification Center of the E.O. Paton Electric Welding Institute, Kiev, Ukraine).* Current welding production makes specific requirements to professional training and qualification of welders, their capability to provide necessary quality of welding works.
Professional competence, i.e. capability of effective application of knowledges and skills for obtaining of necessary result of work, is confirmation of correspondence of level of professional training of welders to industrial requirements. Competence approach makes a basis of concept of broad special professional training of qualified workers in area of welding proposed by Inter-Industry Educational and Qualification Center of the E.O. Paton Electric Welding Institute. Professional-qualification structure of integrated profession «Zvarnyk» (Welder) was developed in accordance with this concept. In it indices of professional competence and levels of qualification are determined based on the requirement of national and international standards regulating performance and providing of welding quality.
List and description of works which should be performed by welder of certain specialization and level of qualification as well as criteria of confirmation of correspondence of professional knowledge and skills to requirements acting in welding engineering are determining the content of Inter-Industry qualification characteristic (profession standard) and State Standard of professional education of integrated profession «Zvarnyk» (Welder), i.e. the base normative documents in the system of professional training of welders based on competence approach.
Determining factors of this system are integrity of education process directed on formation of planned level of qualification and estimation of its results which is carried out in a form of independent qualification attestation.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ ПЛАЗМЕННО-АРГОНОВЫМ И ТЕРМОСТРУЙНЫМ СПОСОБАМИ. *Ю.А. Фурманов, И.М. Савицкая, О.А. Гейленко, Г.В. Терехов (Нац. ин-т хирургии и трансплантологии им. А.А. Шалимова НАМН Украины, Киев, Украина).* Использование высокой температуры в хирургической практике для рассечения тканей и гемостаза давно является привлекательным как для медиков, так и для разработчиков медицинской аппаратуры. Приборы для плазменной хирургии были разрабо-

ALTERNATIVE METHODS OF WELDING LIVE TISSUES BY PLASMA-ARGON AND THERMOJET PROCESSES. *Yu.A. Furmanov, I.M. Savitskaya, O.A. Gejlenko, G.V. Terekhov (A.A. Shalimov National Institute of Surgery and Transplantology of NAMS of Ukraine, Kiev, Ukraine).* Application of high temperature in surgical practice for tissue dissection and hemostasis has been attractive for a long time both for doctors, and for developers of medical equipment. Plasma surgery systems were developed and have been used in medical practice since mid60ties of the XXth

таны и используются в медицинской практике с середины 1960 годов, а в начале 2000 годов после разработки новых подходов успешно применены для соединения тканей. С помощью аргоново-плазменных аппаратов, благодаря разработке специального наконечника, который понижал температуру струи плазмы и создавал узкий пучок для проведения тонких манипуляций, стало возможным наложение межкишечных анастомозов, соединения краев линейных ран полостных и паренхиматозных органов.

Позже были сконструированы и испытаны термоструйные аппараты, где в качестве высокотемпературного носителя использовался атмосферный воздух. Эти приборы полностью себя оправдали как для термоструйной бесконтактной сварки мягких тканей, так и для щадящей остановки кровотечений. Кроме того, с помощью термоструйного метода успешно обеззараживались гнойные поверхности в условиях лечения инфицированных и гнойных ран, что обеспечивало их надежное заживление.

В настоящее время разработана методика обработки тонко- и толстокишечных свищей у экспериментальных животных, позволяющая без применения специальных обтюраторов лечить эти трудноподдающиеся обычным хирургическим приемам патологические состояния.

Механизм термической сварки состоит в коагуляции внутри- и межклеточных белков под влиянием температурного фактора. Разогрев биологических тканей приводит к последовательному нарушению четвертичной, третичной и вторичной структур белковых молекул как межклеточного матрикса, так и клеточных элементов. В результате образуется белковый сплав — коагулят, прочно и герметично удерживающий соединяемые ткани.

Локальность, контролируемость и направленность процесса сварки позволяет выполнять соединения тканей без их значительного повреждения.

Все бесшовные соединения, выполненные нами с помощью методов плазменно-аргоновой и термоструйной сварки, можно разделить на три категории: сварка полых органов (кишечника, желудка, желчного пузыря); краевая и клиновидная резекция паренхиматозных органов (печени, селезенки) и вспомогательные хирургические манипуляции (пересечение брыжейки и брыжеечных сосудов, аппендектомия, операционный гемостаз).

Наилучшие результаты сварки трубчатых органов как плазменно-аргоновым, так и термоструйным методом были получены при операциях на толстом кишечнике — сварка «конец в конец» и «бок в бок». Операции выполнялись без единого шва.

Гипертермическая резекция паренхиматозных органов позволяла осуществлять бескровные линейные и клиновидные резекции печени и селезенки. Положительные результаты получены при сварке желчного пузыря, что дает возможность пунктировать и удалять желчный пузырь без желчеистечения в брюшную полость.

Таким образом, экспериментальная всесторонняя разработка методов сварки живых тканей позволила подготовить их для клинического внедрения.

Методы плазменно-аргоновой и термоструйной сварки легко осваиваются хирургами, а их использование значительно облегчает ряд технических этапов операций и повышает их надежность.

century, and at the start of 2000s after development of new approaches, they have been successfully applied for tissue joining. Development of a special tip, which lowered the plasma jet temperature and generated a narrow beam for performance of fine manipulations, made it possible to use argon-plasma systems for application of interintestinal anastomoses, joining the edges of linear wounds of cavernal and parechymatous organs.

Thermojet systems where atmospheric air was used as high-temperature carrier, were designed and tested later. These systems have completely fulfilled their promise both for thermojet contactless welding of soft tissues, and for sparing hemostasis. In addition, thermojet method was successfully applied to disinfect purulent surfaces under the conditions of treatment of infected and purulent wounds that ensured their reliable healing.

At present a procedure of treatment of intenstinal and colonic fistulas in test animals has been developed, allowing treatment without application of special obturators, of these pathological conditions, which are difficult to treat by standard surgical techniques.

Thermal welding mechanism consists in coagulation of intra- and intercellular proteins under the influence of temperature factor. Heating of biological tissues leads to successive violation of quarternary, tertiary and secondary structures of protein molecules of both intercell matrix, and cell elements. This results in formation of a protein alloy - a coagulate, strongly and hermetically holding together the tissues being joined.

Locality, controllability and directionality of the welding process allows tissue joining without their considerable damage.

All the seamless joints, made by us by the methods of plasma-arc and thermojet welding, can be divided into three categories: welding of hollow organs (intestines, abdomen, gall bladder); marginal excision and wedge resection of parenchimatous organs (liver, spleen) and auxiliary surgical manipulations (mesentery and mesenteric vessel transsection, appendectomy, operational hemostasis).

The best results of welding tubular organs both by plasma-argon and thermojet method were obtained at operations on large intenstina — «end-to-end» and «side-to-side» welding. Operations were performed without a single weld.

Hyperthermic resection of parenchymatous organs allowed performance of bloodless linear and wedgelike resections of the liver and spleen. Positive results were obtained in gall bladder welding that allows puncturing and removing the gall bladder without bile outflowing into the abdominal cavity.

Thus, comprehensive experimental development of the methods of welding live tissues allowed preparing them for clinical introduction.

Methods of plasma-arc and thermojet welding are readily mastered by surgeons, and their application greatly facilitates a number of technical stages of operations and improves their reliability.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агалиди Ю.С. 35, 154
Адеева Л.И. 36, 166
Алексеенко Т.А. 33, 129
Алексиев А. 35, 147
Алешин Н.П. 25
Алфинцева Р.А. 37, 179
Анахов С.В. 38, 189
Аношин В.А. 28, 72
Антонюк С.Л. 27, 38, 59, 182
Артюх К.О. 39, 201
Аснис Е.А. 38(2), 190(2)
Астахов Е.А. 36, 162
Асташкин В.И. 32, 117
Ахонин С.В. 27, 38(2), 59, 182, 189

Бабинец А.А. 38, 184
Бабич В.М. 38(2), 190(2)
Бабич Л.М. 30, 38, 95, 195
Байштрук Е.Н. 39, 202
Балицкий А.И. 32, 115
Баранский П.И. 38(2), 190(2)
Барташ С.Н. 32, 119
Башенко В.В. 27, 59
Безбородов В.П. 30, 36, 97, 161
Белов А.А. 29, 35, 84, 151
Белоев М. 26
Белоус В.Ю. 27, 59
Белый Н.Г. 35, 152
Бердникова Е.Н. 33, 129
Бережная Е.В. 36, 161
Березин И.В. 32, 123
Березин О.В. 32, 123
Березос В.А. 38, 189
Бернацкий А.В. 33, 130
Бесшапошников Ю.П. 27, 67
Биктагиров Ф.К. 38(2), 191, 192
Бобров М.М. 37, 171
Богачёв Д.Г. 37, 177
Бойко И.А. 27, 32, 67, 115
Бондарев С.В. 27, 60
Бондаренко А.Н. 28, 72
Бондаренко Ю.К. 39, 201
Борисов Ю.С. 36(8), 37, 162, 163(2), 164, 165(2), 166(2), 174
Борисова А.Л. 36(2), 166, 167
Бородина К.В. 29, 80
Бричак В.В. 30, 99
Брукмюллер С. 31, 103
Брумм С. 27, 61
Бузорина Д.С. 31, 110
Бурлаченко А.Н. 36(2), 166, 167
Бухенский В.Н. 35, 152
Бутенко А.Ю. 37, 173
Буэркнер Г. 61
Быковский О.Г. 36, 167
Бюркнер Г. 27

Валевич М.Л. 37, 177
Васильев Д.В. 28, 79
Великоиваненко Е.А. 33, 131
Вертецкая И.В. 28, 78
Верхорубов В.С. 37, 172
Вигилянская Н.В. 36(2), 163, 166
Виларипхо Лау 26
Виларипхо Лоу 26
Вильчинский А.И. 39, 204
Винклер Р. 26
Владимиров А.В. 27, 61
Власов А.Ф. 38, 192
Войнарович С.Г. 36(2), 37, 163, 168, 174
Волков Д.А. 36, 169
Волос А.В. 36(2), 164, 165
Волошин В.А. 34, 136
Воронов В.В. 31, 105
Вус О.Б. 32, 115
Выдмыш П.А. 30б 97
Выдымыш П.А.
Вьелаж Б. 30, 95

Гаврик А.Р. 28, 31, 71, 106
Гаврилюк В.Я. 38, 185
Гавриш П.А. 27, 63
Гайворонский А.А. 27, 36, 63, 169
Галаган Р.М. 35, 156

Гальцов И.А. 32, 116
Гальчун А.Н. 29(2), 88, 89
Ганчук А.В. 28, 73
Гах И.С. 31, 111
Гачкевич О.Р. 32, 117
Гдоутос Е. 26
Гедрович А.И. 29(2), 80, 81
Гейленко О.А. 39, 208
Герасименко А.М. 30(2), 99, 100
Гладышенко А.И. 39, 205, 206
Глуховский В.Ю. 36, 168
Гнатушенко А.В. 38, 192
Гниздыло А.Н. 39, 197
Голобородько Ж.Г. 36, 170
Головко В.В. 27, 64
Голякевич А.А. 37, 177
Гончаров И.А. 27, 65
Гончаров П.В. 29, 85
Гончаров С.Н. 27, 65
Гончарова О.М. 39, 202
Горбань В.Ф. 36(2), 164, 165
Горбик В.М. 35, 153
Гордань Г.Н. 28, 70
Горынин И.В. 25
Гоцуляк А.А. 30, 100
Гредиль М.И. 34, 136
Греков С.В. 38, 193
Григорьева Е.Г. 27, 66
Гринберг Б.А. 27, 67
Гринь А.Г. 27, 28, 32, 34, 67, 68, 115, 142
Грицай В.Я. 36, 169
Грищенко А.П. 36(3), 165, 166, 167
Груша В.Я. 38, 185
Гуан Цяо 25
Губатюк Р.С. 30(2), 93, 94

Давыдов Е.А. 35, 147
Демченко В.Ф. 30, 99
Демченко Э.Л. 28, 79
Демченко Ю.В. 27, 33, 63, 127
Демченков С.А. 31, 103
Демьянов И.А. 36, 163
Демьянченко А.А. 28, 69
Денисов Л.С. 32, 117
Джексон П. 25
Дзюбик А. 32, 118
Диброй Т. 25
Димеай В. 25
Дмитрик В.В. 32(2), 119(2)
Долиненко В.В. 30, 101
Драган С.В. 36, 170
Драченко Н.П. 28, 78
Дробенко Б.Д. 33, 127
Дуб А.В. 26, 32, 120
Дубовой О.М. 37, 171
Дунаевская Н.И. 31, 106
Дурынин В.А. 32, 120
Дьяченко С.М. 29, 89

Евдокимов А.И. 37, 172
Елагин В.П. 28(2), 70, 79
Ермолаев Г.В. 29, 32, 86, 122
Есауленко Г.Б. 28, 74
Ефимов В.М. 38, 191

Жарди А. 25
Жданов В.А. 37, 175
Жданов С.Л. 34, 140
Жерносеков А.М. 30, 93

Задерий Б.А. 31, 111
Задоя В.Г. 36(2), 164, 165
Зайнулин Д.И. 28, 70
Занковец П.В. 32, 121
Запара В.И. 35, 156
Захаров Л.С. 28, 71
Звирко О.И. 34, 136
Звягинцева А.В. 31, 34, 111, 144
Зельниченко А.Т. 39, 204
Земан В. 25
Золотопупова Т.Б. 28, 68
Зуев А.В. 31, 108
Зыдзик-Бялек А. 31, 112

Иваненко В.Д. 31, 106
Иванов М.А. 27, 67
Иванов Ю.Ф. 28(2), 76, 77
Игнатенко А.В. 30, 96
Игнатов А.П. 38, 192
Изотова Е.А. 30, 98
Илюшенко В.М. 28(2), 72, 73
Ипатова З.Г. 36(2), 162, 167

Каблов Е.Н. 25
Кабыш С.В. 28, 74
Кайтель С. 26

Калеко Д.М. 39, 206
Каленская А.В. 32, 116
Калин М.А. 30, 98
Калюжный С.Н. 36, 168
Карасевская О.П. 31, 111
Карманов М.Н. 35(2), 147, 153
Карпеченко А.А. 37, 171
Касаткин О.Г. 31, 106
Кассов В.Д. 28, 75
Каховский Ю.Н. 30, 97
Квасницкий В.В. 28(3), 29, 32, 75, 76, 77, 86, 122
Квасницкий В.В. 28, 32, 76, 77, 122
Кильдий А.И. 36, 162
Кириленко С.Н. 37, 179
Кислица А.Н. 36(2), 37, 163, 168, 174
Киянец И.В. 35(2), 148, 149
Кладко В.П. 36(2), 164, 165
Клапатюк А.В. 36, 169
Клейман Я. 26, 32, 122
Клименко А.А. 30, 92
Климов К.А. 33, 132
Клищар Ф.С. 35, 156
Клочков И.Н. 32, 38, 123, 194
Кныш В.В. 33, 124
Коваль Н.Н. 28(2), 76, 77
Ковтун В.А. 25
Козакевич Т.В. 32, 117
Козулин С.М. 30, 92
Колесар И.А. 32, 122
Колисниченко О.В. 37, 177
Коломийцев Е.В. 33(3), 124, 125(2)
Колот О.В. 33, 126
Коляда В.А. 30, 35, 101, 155
Кондратенко В.Ю. 29, 88
Кораб Н.Г. 29, 89
Корнийчук В.Д. 38, 189
Коробов Ю.С. 37(2), 172, 173
Коросташевский П.В. 34, 141
Коротынский А.Е. 28(3), 77, 78(2)
Косак М. 26
Костин А.М. 28, 37, 75, 173
Костюк И.Ф. 32, 115
Коу С. 25
Кошевой А.Д. 36, 169
Кривцун И.В. 26, 30, 99
Крикент И.В. 38, 193
Кротенко П.Д. 35, 149
Кудлай Е.Н. 39, 201
Кудрявцев Ю. 26, 32, 122
Кузнецов М.В. 36(2), 164, 165
Кузьменко А.З. 33, 124
Кузьменко Д.Ю. 33, 127
Кузьменко О.Г. 37, 174
Кузьмич-Янчук Е.К. 36(2), 37, 163, 168, 174
Кулик В.М. 28, 79
Кункин Д.Д. 39, 202
Кусков Ю.М. 37, 172
Кучук-Яценко С.И. 26
Куш М. 27, 29, 61, 87
Кушнарева О.С. 33(2), 128, 130
Кушнарева Т.Н. 31, 34, 111, 143
Кушнир Р.М. 33, 127
Кущий А.М. 28, 75

Лабарткава А.В. 28, 32, 75, 122
Лабарткава Ал.В. 28, 75
Лабур Т.М. 29, 80
Лампке Т. 30, 95
Ланкин Ю.Н. 26, 31, 37, 39, 101, 175, 202
Лаптева А.Н. 36, 167
Лебедев В.А. 27, 28, 29(7), 35, 61, 70, 80, 81, 82(2), 83, 84, 91, 151
Левченко И.Л. 28(2), 76, 77
Левченко О.Г. 39(2), 202, 203
Левчук В.К. 39, 202
Левый С.В. 35, 154
Легчило В.В. 37, 172
Лендел И.В. 29, 82
Лентюгов И.П. 37, 174
Липодаев В.Н. 39, 204
Лобанов Л.М. 29, 32, 33, 35(3), 85, 120, 128, 148, 149(2)
Логинова Ю.В. 39, 201
Логозинский И.Н. 38, 193
Ломберг Б.С. 25
Лукашенко А.Г. 31, 109
Лукьяненко А.О. 39, 203
Лурин И.А. 39, 204, 205, 206
Лысак В.В. 33, 128
Лысак В.И. 26
Лысак В.К. 32, 115
Лысенко В.А. 28, 73
Лычко И.И. 30, 92

Лясота И.М. 34, 135

Мазур А.А. 39, 204
Мазурак В.Е. 31, 34, 111, 143
Майданчук Т.Б. 28, 72
Макаров Г.Г. 39, 205, 206
Макаренко Н.А. 37, 176
Максименко А.А. 33, 34, 129, 140
Максимов С.В. 28, 70
Максимов С.Ю. 27, 29(2), 61, 82(2)
Максимова С.В. 31(2), 104, 105
Мандров Б.И. 34, 140
Маринский Г.С. 26
Маркашова Л.И. 28(2), 33(3), 37, 76, 77, 128, 129, 130, 177
Масючок О.П. 36, 168
Матвиенко М.В. 29, 86
Матушкин А.В. 38, 189
Махненко В.И. 33, 131
Махненко О.В. 32, 33(2), 120, 127, 131
Медведев С.В. 33(2), 132(2)
Мейр П. 29, 87
Мельников А.Ю. 31, 110
Мельниченко Л.М. 39, 204
Мельниченко Т.В. 31, 102
Менжерес М.Г. 28, 74
Миддельдорф К. 26
Миленин А.С. 33, 133
Минеев Э.А. 29, 90
Мирзов И.В. 33, 131
Миронова М.В. 30, 97
Мирчев Й. 35, 147
Михайлов С.Р. 35, 152
Миховски М. 35, 147
Моравецкий С.И. 29, 31, 87, 106
Мудж П. 25
Мурашов А.П. 36(2), 165, 166
Мутас В.В. 34, 134
Мясоед В.В. 31, 105

Назарчук А.Т. 30, 38, 95, 195
Назарчук З.Т. 34(2), 134, 135
Накашиба С. 26
Невежин С.В. 37, 173
Недосека А.Я. 35, 150
Недосека С.А. 35, 150
Нестеренко Н.П. 29(4), 88, 89(2), 90
Нетребский М.А. 34, 134
Нехотящий В.А. 34, 35, 136, 149
Никитенко Ю.А. 39, 196
Никифорчин Г.М. 34, 136
Николаев А.В. 26, 39, 195
Новацкий Э. 32, 115
Новомлинец О.О. 31, 103

Овсиенко М.А. 35, 150
Окада А. 26
Окамото Я. 26
Орлов Л.Н. 37, 177
Осечков П.П. 37, 39, 175, 202
Оспенников О.Г. 25
Охапкин К.А. 27, 59
Охонько О.В. 39, 204, 205, 206

Падалка В.Г. 38, 191
Палаш В. 32, 118
Палиенко А.Л. 34, 136
Пальцевич А.П. 30, 96
Пантелеенко Ф.И. 34, 137
Панфилов А.И. 27, 34, 63, 138
Патон Б.Е. 25, 26, 29, 30, 39, 91, 92, 205
Паустовский А.В. 37, 179
Пацелов А.М. 27, 67
Пентегов И.В. 30, 93
Перемитько В.В. 37, 180
Перепичай А.А. 34, 136
Переплетчиков Е.Ф. 37, 180
Петриченко В.Н. 28, 73
Петров Д.А. 30, 38, 95, 195
Петрушинец Л.В. 31, 102
Пивторак В.А. 33, 35(3), 128, 148, 149(2)
Пивторак Н.И. 33, 131
Пикулин А.Н. 38, 189
Пилярчик Я. 25
Пиптюк В.П. 38, 193
Пискун Н.В. 38(2), 190(2)
Письменный А.А. 30, 93
Письменный А.С. 30(2), 93, 94
Пичак В.Г. 28, 70
Плескачевский Ю.М. 25
Плис С.Г. 37, 181
Плющ Д.В. 29, 83
Подгурский И.М. 34, 139
Подгурский М.И. 34, 139
Подлесак Ф. 29, 87

Позняков В.Д. 33, 34, 129, 140
Полишко А.А. 38, 194
Полухин В.В. 30, 94
Полухин Вл.В. 30, 94
Поляков В.А. 38, 193
Порохонько В.Б. 30, 95
Посыпайко Ю.Н. 35(4), 150, 153, 154, 157
Похмурская Г. 30, 95
Походня И.К. 27, 30, 64, 96
Пресняков В.А. 37, 182
Прилуцкий В.П. 38, 182
Прокофьев А.С. 30, 93
Просницкий В.Г. 33, 127
Протоковилов И.В. 30, 38, 95, 195
Проценко П.П. 39, 208
Псахье С.Г. 30, 97
Пулька Ч.В. 38, 185
Пыкин Ю.А. 38, 189

Рабкина М.Д. 34(2), 134, 136
Равська-Скотнични А. 32, 117
Радкевич И.А. 38, 182
Радченко В.Г. 38, 183
Радченко М.В. 34, 38, 140, 183
Радченко Т.Б. 38, 183
Размышляев А.Д. 30, 97
Разыграев А.Н. 32, 120
Разыграев Н.П. 32, 120
Райсген У. 25
Резниченко М.К. 30, 98
Рейда Н.В. 38, 191
Ример Г.А. 37, 173
Розынка Г.Ф. 33, 131
Романова И.Ю. 39, 202
Роянов В.А. 34, 141
Руденко М.Н. 31, 103
Рупрехт К. 30, 95
Рупчев В.Л. 36, 166
Рыбин В.В. 27, 67
Рымар С.В. 30, 93
Рябоконь В.Д. 30(2), 99, 100
Рябцев И.А. 37, 38, 175, 184
Рябцев И.И. 38, 184
Рябцев К.В. 30(2), 99, 100

Савицкая Е.М. 35(2), 148, 149
Савицкая И.М. 39, 208
Савицкий В.В. 33, 35, 128, 148
Савченко В.С. 34, 144
Саенко В.Я. 38, 194
Сакагава Т. 26
Самохвалов С.Е. 38, 193
Самохин А.В. 26, 39, 195
Сараев Ю.Н. 29, 30, 91, 97
Свиридов А.В. 34, 142
Северин А.Ю. 38, 189
Селин Р.В. 27, 59
Селютин А.А. 38, 191
Семёнов А.П. 30, 99
Семикин В.Ф. 37, 39, 175, 202
Сенченков И.К. 29, 38, 89, 184
Сенчишин В.С. 38, 185
Серенко А.Н. 33, 125
Сидорец В.Н. 30, 93
Симутенков И.В. 36, 170
Синеок А.Г. 30(2), 99, 100
Синюк В.С. 30, 96
Сиренко Т.А. 32, 119
Скальский В.Р. 34(2), 134, 135
Скок А.Г. 29, 88
Сколоздра О.С. 32, 115
Скорина Н.В. 28, 72
Скуба Т.Г. 30, 101
Скульский В.Ю. 29, 31, 87, 106
Снарский А.С. 34, 137
Соловей С.А. 33, 124
Соловьев В.Г. 37, 39, 175, 202
Соммитч К. 25
Сорокин М.С. 29, 35, 84, 151
Станкевич О.М. 34, 135
Статкевич И.И. 38(2), 190(2)
Степанюк С.Н. 38, 194
Степченко Д.Н. 28, 73
Стрельчук В.В. 36(2), 164, 165
Супрун С.А. 30, 92
Суховая Е.В. 38, 185
Суший Л.Ф. 39, 202
Сысоев В.Н. 29, 81

Тат Хин Ган 25
Татарин Б.П. 34, 139
Теличко В.А. 31, 103
Терехов Г.В. 39, 208
Терновой Е.Г. 31, 39, 101, 208

Тимошенко О.М. 29, 85
Титомир И.А. 39, 205, 206
Ткач В.Н. 34, 144
Ткаченко А.Н. 32, 33, 116, 126
Ткаченко С.А. 32, 33, 116, 126
Ткаченко Ю.Г. 37, 179
Ткачук Г.И. 33, 128
Толстый С.Н. 30, 99
Троицкая Н.В. 35, 157
Троицкий В.А. 35(4), 152, 153(2), 154
Тулупов В.И. 27, 63
Туник А.Ю. 36, 37, 38, 166, 174, 194
Турык Е. 31, 112
Тюрин Ю.Н. 37, 177

Углов В.В. 28(2), 76, 77
Устинов А.И. 31(2), 102, 103
Учанин В.М. 35, 155
Уяма Т. 25

Фальченко Ю.В. 31, 102
Фивейский А.М. 31(2), 110(2)
Филиппов М.А. 37(2), 172, 173
Фурманов Ю.А. 39, 208

Хабузов В.А. 27, 61
Хансис А. 31, 103
Харченко Г.К. 31, 103
Харченко Л.Ф. 35, 150
Хаскин В.Ю. 31, 33, 109, 130
Хома М.С. 34, 142
Хоменко В.И. 26
Хоменко М.О. 31, 103
Хорунов В.Ф. 31(2), 104, 105
Худецкий И.Ю. 26
Худорожкова Ю.В. 37, 172

Царюк А.К. 29, 31(2), 87 106(2)
Цветков Ю.В. 26, 39, 195
Цирульник О.Т. 34, 136
Цымбалистая Т.В. 36, 167

Чворног Б. 31, 112
Червинко О.П. 38, 184
Червяков Н.О. 34, 144
Черенда Н.Н. 28(2), 76, 77
Чернец А.В. 26
Черняк Я.П. 37, 175
Чиж О.П. 33, 132
Чинахов Д.А. 27, 31(2), 66, 107, 108

Шаблий О.М. 38, 185
Шалаев В.А. 35, 147
Шалимов М.П. 27, 65
Шапка В.А. 28(2), 31, 78(2), 108
Шаповалов В.А. 38(2), 39(2), 191, 192, 196, 197
Шаповалов Е.В. 30, 35(2), 101, 155, 156
Шваб С.Л. 38, 182
Шевцов Ю.О. 38, 183
Шейко И.В. 39, 196
Шекеро А.Л. 35(2), 147, 157
Шелег В.К. 32, 121
Шелягин В.Д. 31, 33, 109, 130
Шишкевич А.С. 36, 169
Шиян К.В. 35, 149
Шкабой Н.А. 39, 201
Шлезер М. 25
Шолохов М.А. 31(2), 110(2)
Шулым В.Ф. 31, 101

Щупак С.А. 35, 157

Эберт Л. 29, 87
Эпзингер Н. 25

Юрченко Д.З. 37, 179
Юхимец П.С. 35, 147
Ющенко К.А. 30(2), 31(2), 34(2), 92, 97, 111(2), 143, 144

Якимов Д.Ю. 39, 201, 204, 206
Якуша В.В. 39, 197
Янцевич К.В. 36(2), 162, 167
Яременко М.А. 35, 150
Ярмонов С.В. 30, 97
Ярос Ю.А. 29, 82

NAME INDEX

Adeeva L.I. 53, 166
Agalidi Yu.S. 52, 154
Akhonin S.V. 44, 54(2), 59, 182, 189
Alekseenko T.A. 50, 129
Alexsiev A. 51, 147
Alfintseva R.A. 54, 179
Alyoshin N.P. 43
Anakhov S.V. 54, 189
Anoshin V.A. 45, 72
Antonyuk S.L. 44, 54, 59, 182
Artyukh K.O. 55, 201
Asnis E.A. 55(2), 190(2)
Astakhov E.A. 52, 162
Astashkin V.I. 49, 117

Babich L.M. 47, 55, 95, 195
Babich V.M. 55(2), 190(2)
Babinets A.A. 54, 184
Bajshtruk E.N. 55, 202
Balytsky O.I. 49, 115
Baranskii P.I. 55(2), 190(2)
Bartash S.N. 49, 119
Bashenko V.V. 44, 59
Beloev M. 44
Belous V.Yu. 44, 59
Belov A.A. 46, 52, 84, 151
Belyi N.G. 52, 152
Berdnikova E.N. 50, 129
Berezhnaya E.V. 52, 161
Berezin I.V. 49, 123
Berezin O.V. 49, 123
Berezos V.A. 54, 189
Bernatsky A.V. 50, 130
Besshaposhnikov Yu.P. 45, 67
Bezborodov V.P. 47, 52, 97, 161
Biktagirov F.K. 55(2), 191, 192
Bobrov M.M. 53, 171
Bogachev D.G. 54, 177
Bondarenko A.N. 45, 72
Bondarenko Yu.K. 55, 201
Bondarev S.V. 44, 60
Borisov Yu.S. 52(5), 53(4), 162, 163(2), 164, 165(2), 166(2), 174
Borisova A.L. 53(2), 166, 167
Borodina K.V. 46, 80
Boyko I.A. 45, 49, 67, 115
Brichak V.V. 48, 99
Bruckmueller C. 48, 103
Brumm S. 44, 61
Buerkner G. 44, 61
Bukhenskiy V.N. 52, 152
Burlachenko A.N. 53(2), 166, 167
Butenko A.Yu. 53, 173
Buzorina D.S. 49, 110
Bykovsky O.G. 53, 167

Cherenda N.N. 46(2), 76, 77
Chernets A.V. 44
Chernyak Ya.P. 54, 175
Chervinko O.P. 54, 184
Chervyakov N.O. 51, 144
Chinakhov D.A. 45, 48(2), 66, 107, 108
Chizh O.P. 50, 132
Czwornog B. 49, 112

Davydov E.A. 51, 147
Debroy T. 43
Demchenko E.L. 46, 79
Demchenko V.F. 48, 99
Demchenko Yu.V. 45, 50, 63, 127
Demchenkov S.A. 48, 103
Demyanchenko A.A. 45, 69
Demyanov I.A. 52, 163
Denisov L.S. 49, 117
Dimlaye V. 43
Dmitrik V.V. 49(2), 119(2)
Dolinenko V.V. 48, 101
Drachenko N.P. 46, 78
Dragan S.V. 53, 170
Drobenko B.D. 50, 127
Dub A.V. 44, 49, 120
Dubovoy O.M. 53, 171
Dunaevskaya N.I. 48, 106

Durynin V.A. 49, 120
Dyachenko S.M. 47, 89
Dzyubik A. 49, 118

Ebert L. 46, 87
Efimov V.M. 55, 191
Elagin V.P. 45, 46, 70, 79
Enzinger N. 43
Ermolaev G.V. 46, 49, 86, 122
Esaulenko G.B. 45, 74
Evdokimov A.I. 53, 172

Falchenko Yu.V. 48, 102
Filippov M.A. 53(2), 172, 173
Fiveiskii A.M. 49(2), 110(2)
Furmanov Yu.A. 56, 208

Gachkevich O.R. 49, 117
Gaivoronsky A.A. 45, 53, 63, 169
Gakh I.S. 49, 111
Galagan R.M. 52, 156
Galchun A.N. 47(2), 88, 89
Galtsov I.A. 49, 116
Ganchuk A.V. 45, 73
Gavrik A.R. 45, 48, 71, 106
Gavrilyuk V.Ya. 54, 185
Gavrish P.A. 45, 63
Gdoutos E. 43
Gedrovich A.I. 46(2), 80, 81
Gejlenko O.A. 56, 208
Gerasimenko A.M. 48(2), 99, 100
Gladyshenko A.I. 205, 206
Glukhovsky V.Yu. 53, 168
Gnatushenko A.V. 55, 192
Gnizdylo A.N. 55, 197
Goloborodko Zh.G. 53, 170
Golovko V.V. 45, 64
Golyakevich A.A. 54, 177
Goncharov I.A. 45, 65
Goncharov P.V. 46, 85
Goncharov S.N. 45, 65
Goncharova O.M. 55, 202
Gorban V.F. 52(2), 164, 165
Gorbik V.M. 52, 153
Gordan G.N. 45, 70
Gorynin I.V. 43
Gotsulyak A.A. 48, 100
Gredil M.I. 51, 136
Grekov S.V. 55, 193
Grigorieva E.G. 45, 66
Grin A.G. 45(2), 49, 51, 67, 68, 115, 142
Grinberg B.A. 45, 67
Grishchenko A.P. 53(3), 165, 166, 167
Gritsaj V.Ya. 53, 169
Grusha V.Ya. 54, 185
Gubatyuk R.S. 47(2), 93, 94

Hancic A. 48, 103

Ignatenko A.V. 47, 96
Ignatov I.P. 55, 192
Ilyushenko V.M. 45(2), 72, 73
Ipatova Z.G. 52, 53, 162, 167
Ivanenko V.D. 48, 106
Ivanov M.A. 45, 67
Ivanov Yu.F. 46(2), 76, 77
Izotova K.O. 47, 98

Jackson P. 43
Jardy A. 43

Kablov E.N. 43
Kabysh S.V. 45, 74
Kakhovsky Yu.N. 47, 97
Kaleko D.E. 56, 207
Kalenskaya A.V. 49, 116
Kalin M.K. 47, 98
Kalyuzhnyi S.N. 53, 168
Karasevskaya O.P. 49, 111
Karmanov M.N. 51, 52, 147, 153
Karpechenko A.A. 53, 171
Kasatkin O.G. 48, 106
Kassov V.D. 45, 75
Keitel S. 43
Khabuzov V.A. 45, 61
Kharchenko G.K. 48, 103
Kharchenko L.F. 52, 150
Khaskin V.Yu. 48, 50, 109, 130
Khoma M.S. 51, 142
Khomenko M.O. 48, 103
Khomenko V.I. 44
Khorunov V.F. 48(2), 104, 105
Khudetsky I.Yu. 44
Khudorozhkova Yu.V. 53, 172
Kildiy A.I. 52, 162
Kirilenko S.N. 54, 179

Kislitsa A.N. 52, 53(2), 163, 168, 174
Kiyanets I.V. 51, 52, 148, 149
Kladko V.P. 52(2), 164, 165
Klapatyuk A.V. 53, 169
Kleiman J. 44, 49, 122
Klimenko A.A. 47, 92
Klimov K.A. 50, 132
Klishchar F.S. 52, 156
Klochkov I.N. 49, 55, 123, 194
Knysh V.V. 50, 124
Kocak M. 44
Kolesar I.A. 49, 122
Kolisnichenko O.V. 54, 177
Kolomiytsev E.V. 50(3), 124, 125(2)
Kolot O.V. 50, 126
Kolyada V.A. 48, 52, 101, 155
Kondratenko V.Yu. 47, 88
Korniychuk V.D. 54, 189
Korab N.G. 47, 89
Korobov Yu.S. 53(2), 172, 173
Korostashevsky P.V. 51, 141
Krotenko P.D. 51, 149
Korotynsky A.E. 46(3), 77, 78(2)
Koshevoy A.D. 53, 169
Kostin A.M. 46, 53, 75, 173
Kostyuk I.F. 49, 115
Koval N.N. 46(2), 76, 77
Kovtun V.A. 43
Kozakevich T.V. 49, 117
Kozulin S.M. 47, 92
Krikent I.V. 55, 193
Krivtsun I.V. 44, 48, 99
Kuchuk-Yatsenko S.I. 44
Kudlaj E.N. 55, 201
Kudryavtsev Yu. 44, 49, 122
Kulik V.M. 46, 79
Kunkin D.D. 55, 202
Kusch M. 44, 46, 61, 87
Kushchij A.M. 45, 75
Kushnareva O.S. 50(2), 128, 130
Kushnareva T.N. 49, 51, 111, 143
Kushnir R.M. 50, 127
Kuskov Yu.M. 53, 172
Kuzmenko A.Z. 50, 124
Kuzmenko D.Yu. 50, 127
Kuzmenko O.G. 53, 174
Kuzmich-Yanchuk E.K. 52, 53(2), 163, 168, 174
Kuznetsov M.V. 52(2), 164, 165
Kvasnitsky V.F. 46(2), 49, 76, 77, 122
Kvasnitsky V.V. 46(4), 49, 75, 76, 77, 86, 122

Labartkava A.V. 46, 49, 75, 122
Labartkava Al.V. 46, 75
Labur T.M. 46, 80
Lampke T. 47, 95
Lankin Yu.N. 44, 48, 54, 55, 101, 175, 202
Lapteva A.N. 53, 167
Lebedev V.A. 45(2), 46(6), 47, 52, 61, 70, 80, 81, 82(2), 83, 84, 91, 151
Legchilo V.V. 53, 172
Lendel I.V. 46, 82
Lentyugov I.P. 53, 174
Levchenko I.L. 46(2), 76, 77
Levchenko O.G. 55(2), 202, 203
Levchuk V.K. 55, 202
Leviy S.V. 52, 154
Lipodaev V.N. 56, 204
Lobanov L.M. 46, 49, 50, 51(2), 52, 85, 120, 128, 148, 149(2)
Loginova Yu.V. 55, 201
Logozinskiy I.N. 55, 193
Lomberg B.S. 43
Lukashenko A.G. 48, 109
Lukyanenko A.O. 55, 203
Lurin I.A. 204, 205, 206
Lyasota I.M. 51, 135
Lychko I.I. 47, 92
Lysak V.I. 44
Lysak V.K. 49, 115
Lysak V.V. 50, 128
Lysenko V.A. 45, 73

Maidanchuk T.B. 45, 72
Makarov G.G. 205, 206
Makarenko N.A. 54, 176
Makhnenko O.V. 49, 50(2), 120, 127, 131
Makhnenko V.I. 50, 131
Maksimenko A.A. 50, 51, 129, 140
Maksimov S.Yu. 45(2), 46(2), 61, 70, 82(2)
Mandrov B.I. 51, 140
Marinsky G.S. 44
Markashova L.I. 46(2), 50(3), 54, 76, 77, 128, 129, 130, 177
Masyuchok O.P. 53, 168
Matushkin A.V. 54, 189

Matvienko M.V. 46, 86
Maximova S.V. 48(2), 104, 105
Mayr P. 46, 87
Mazur A.A. 56, 206
Mazurak V.E. 49, 51, 111, 143
Medvedev S.V. 50(2), 132(2)
Melnichenko L.M. 204
Melnichenko T.V. 48, 102
Melnikov A.Yu. 49, 110
Menzheres M.G. 45, 74
Middeldorf K. 44
Mikhaylov S.R. 52, 152
Mikhovski M. 51, 147
Milenin A.S. 50, 133
Mineev E.A. 47, 90
Mirchev G. 51, 147
Mironova M.V. 47, 97
Mirzov I.V. 50, 131
Moravetsky S.I. 47, 48, 87, 106
Mudge P. 43
Murashov A.P. 53(2), 165, 166
Mutas V.V. 50, 134
Myasoed V.V. 48, 105

Nakashiba S. 43
Nazarchuk A.T. 47, 55, 95, 195
Nazarchuk Z.T. 50, 51, 134, 135
Nedoseka A.Ya. 52, 150
Nedoseka S.A. 52, 150
Nekhotyashchiy V.A. 51(2), 136, 149
Nesterenko N.P. 47(4), 88, 89(2), 90
Netrebsky M.A. 50, 134
Nevezhin S.V. 53, 173
Nikiforchin G.M. 51, 136
Nikitenko Yu.A. 55, 196
Nikolaev A.V. 44, 55, 195
Novatsky Ye. 49, 115
Novomlinets O.O. 48, 103

Okada A. 43
Okamoto Y. 43
Okhapkin K.A. 44, 59
Okhonko O.V. 204, 205, 206
Orlov L.N. 54, 177
Osechkov P. 54, 55, 175, 202
Ospennikov O.G. 43
Ovsienko M.A. 52, 150

Padalka V.G. 55, 191
Palash V. 49, 118
Palienko A.L. 51, 136
Paltsevich A.P. 47, 96
Panfilov A.I. 45, 51, 63, 138
Panteleenko F.I. 51, 137
Paton B.E. 43, 44, 47(2), 56, 91, 92, 207
Patselov A.M. 45, 67
Paustovsky A.V. 54, 179
Pentegov I.V. 47, 93
Peremitko V.V. 54, 180
Perepichaj A.A. 51, 136
Pereplyotchikov E.F. 54, 180
Petrichenko V.N. 45, 73
Petrov D.A. 47, 55, 95, 195
Petrushinets L.V. 48, 102
Pichak V.G. 45, 70
Pikulin A.N. 54, 189
Pilarczyk J. 43
Piptyuk V.P. 55, 193
Piskun N.V. 55(2), 190(2)
Pismennii A.A. 47, 93
Pismenny A.S. 47(2), 93, 94
Pivtorak N.I. 50, 131
Pivtorak V.A. 50, 51(2), 52, 128, 148, 149(2)
Pleskachevsky Yu. 43
Plis S.G. 54, 181
Plyushch D.V. 46, 83
Podgurskiy I.M. 51, 139
Podgurskiy M.I. 51, 139
Podlesak F. 46, 87
Pokhmurska H. 47, 95
Pokhodnya I.K. 45, 47, 64, 96
Polishko A.A. 55, 194
Polukhin V.V. 47, 94
Polukhin Vl.V. 47, 94
Polyakov V.A. 55, 193
Porokhonko V.B. 47, 95
Posypayko Yu.N. 52(4), 150, 153, 154, 157
Poznyakov V.D. 50, 51, 129, 140
Presnyakov V.A. 54, 182
Prilutsky V.P. 54, 182
Prokofjev A.S. 47, 93
Prosnitsky V.G. 50, 127
Protokovilov I.V. 47, 55, 95, 195
Protsenko P.P. 56, 208

Psakhtje S.G. 47, 97
Pulka Ch.V. 54, 185
Pykin Yu.A. 54, 189

Qiao Guan 43

Rabkina M.D. 50, 51, 134, 136
Radchenko M.V. 51, 54, 140, 183
Radchenko T.B. 54, 183
Radchenko V.G. 54, 183
Radkevich I.A. 54, 182
Ravska-Skotnichni A. 49, 117
Razmyshlayev A.D. 47, 97
Razygraev A.N. 49, 120
Razygraev N.P. 49, 120
Reisgen U. 43
Reyda N.V. 55, 191
Reznichenko M.K. 47, 98
Rimer G.A. 53, 173
Romanova I.Yu. 55, 202
Royanov V.A. 51, 141
Rozynka G.F. 50, 131
Rudenko M.N. 48, 103
Rupchev V.L. 53, 166
Rupprecht Ch. 47, 95
Ryabokon V.D. 48(2), 99, 100
Ryabtsev I.A. 54(2), 175, 184
Ryabtsev I.I. 54, 184
Ryabtsev K.V. 48(2), 99, 100
Rybin V.V. 45, 67
Rymar S.V. 47, 93

Saenko V.Ya. 55, 194
Sakagawa T. 43
Samokhin A.V. 44, 55, 195
Samokhvalov S.E. 55, 193
Saraev Yu.N. 47(2), 91, 97
Savchenko V.S. 51, 144
Savitskaya E.M. 51, 52, 148, 149
Savitskaya I.M. 56, 208
Savitskiy V.V. 50, 51, 128, 148
Schleser M. 43
Selin R.V. 44, 59
Selyutin A.A. 55, 191
Semikin V.F. 54, 55, 175, 202
Semyonov A.P. 48, 99
Senchenkov I.K. 47, 54, 89, 184
Senchishin V.S. 54, 185
Serenko A.N. 50, 125
Severin A.Yu. 54, 189
Shabliy O.M. 54, 185
Shalaev V.A. 51, 147
Shalimov M.P. 45, 65
Shapka V.A. 46(2), 48, 78(2), 108
Shapovalov E.V. 48, 52(2), 101, 155, 156
Shapovalov V.A. 55(4), 191, 192, 196, 197
Shchupak S.A. 52, 157
Shekero A.L. 51, 52, 147, 157
Sheleg V.K. 49, 121
Shelyagin V.D. 48, 50, 109, 130
Shevtsov Yu.O. 54, 183
Sheyko I.V. 55, 196
Shishkevich A.S. 53, 169
Shiyan K.V. 51, 149
Shkaboj N.A. 55, 201
Sholokhov M.A. 49(2), 110(2)
Shulym V.F. 48, 101
Shvab S.L. 54, 182
Sidorets V.N. 47, 93
Simutenkov I.V. 53, 170
Sineok A.G. 48(2), 99, 100
Sinyuk V.S. 47, 96
Sirenko T.A. 49, 119
Skalsky V.P. 50, 51, 134, 135
Skok A.G. 47, 88
Skolozdra O.S. 49, 115
Skorina N.V. 45, 72
Skuba T.G. 48, 101
Skulsky V.Yu. 47, 48, 87, 106
Snarsky A.S. 51, 137
Solovey S.A. 50, 124
Solovjev V.G. 54, 55, 175, 202
Sommitsch Ch. 43
Sorokin M.S. 46, 52, 84, 151
Soua Slim 43
Stankevich O.M. 51, 135
Statkevich I.I. 55(2), 190(2)
Stepanyuk S.N. 55, 194
Stepchenko D.N. 45, 73
Strelchuk V.V. 52(2), 164, 165
Sukhovaya E.V. 54, 185
Suprun S.A. 47, 92
Sushy L.F. 55, 202
Sviridov A.V. 51, 142
Sysoev V.N. 46, 81

Tat-Hean Gan 43
Tatarin B.P. 51, 139
Telichko V.A. 48, 103
Terekhov G.V. 56, 208
Ternovoj E.G. 48, 101
Timoshenko O.M. 46, 85
Titomir I.A. 205, 206
Tkach V.N. 51, 144
Tkachenko A.N. 49, 50, 116, 126
Tkachenko S.A. 49, 50, 116, 126
Tkachenko Yu.G. 54, 179
Tkachuk G.I. 50, 128
Tolsty S.N. 48, 99
Troitskaya N.V. 52, 157
Troitskiy V.A. 52(4), 152, 153(2), 154
Tsaryuk A.K. 47, 48(2), 87, 106(2)
Tsirulnik O.T. 51, 136
Tsvetkov Yu.V. 44, 55, 195
Tsymbalistaya T.V. 53, 167
Tulupov V.I. 45, 63
Tunik A.Yu. 53(2), 55, 166, 174, 194
Turyk E. 49, 112
Tyurin Yu.N. 54, 177

Uchanin V.M. 52, 155
Ueyama T. 43
Uglov V.V. 46(2), 76, 77
Ustinov A.I. 48(2), 102, 103

Valevich M.L. 54, 177
Vasiliev D.V. 46, 79
Velikoivanenko E.A. 50, 131
Verkhorubov V.S. 53, 172
Vertetskaya I.V. 46, 78
Vigilyanskaya N.V. 52, 53, 163, 166
Vilarinho Lau 43
Vilarinho Lou 43
Vilchinsky A.I. 204
Vladimirov A.V. 45, 61
Vlasov A.F. 55, 192
Voynarovich S.G. 52, 53(2), 163, 168, 174
Volkov D.A. 53, 169
Volos A.V. 52(2), 164, 165
Voloshin V.A. 51, 136
Voronov V.V. 48, 105
Vus O.B. 49, 115
Vydymysh P.A. 47, 97

Wielage B. 47, 95
Winkler R. 44

Yakimov D.Yu. 55, 201, 204, 206
Yakusha V.V. 55, 197
Yantsevich K.V. 52, 53, 162, 167
Yaremenko M.A. 52, 150
Yarmonov S.V. 47, 97
Yaros Yu.A. 46, 82
Yukhimets P.S. 51, 147
Yurchenko D.Z. 54, 179
Yushchenko K.A. 47(2), 49(2), 51(2), 92, 97, 111(2), 143, 144

Zadery B.A. 49, 111
Zadoya V.G. 52(2), 164, 165
Zainulin D.I. 45, 70
Zakharov L.S. 45, 71
Zankovets P.V. 49, 121
Zapara V.I. 52, 156
Zelnichenko A.T. 56, 204
Zeman W. 43
Zhdanov S.L. 51, 140
Zhdanov V.A. 54, 175
Zhernosekov A.M. 47, 93
Zolotopupova T.B. 45, 68
Zuev A.V. 48, 108
Zvirko O.I. 51, 136
Zvyaginsteva A.V. 49, 51, 111, 144
Zydzik-Bialek A. 49, 112