



Учредители: Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е. О. Патона
Международная ассоциация «Сварка»
Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН
Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,
В. Ф. Грабин, В. Н. Замков,
А. Т. Зельниченко, А. Я. Ищенко,
С. И. Кучук-Яценко, Ю. Н. Ланкин,
В. К. Лебедев (зам. гл. ред.),
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, В. Ф. Мошкин,
О. К. Назаренко, И. К. Походня,
И. А. Рябцев, Ю. А. Стеренбоген,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Н. П. Алешин (Россия)
Б. Брейтвейт (Великобритания)
К. Буше (Франция)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
Т. Игар (США)
К. Иноуэ (Япония)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Д. фон Хофе (Германия)
Чжан Янмин (Китай)
В. К. Шелег (Беларусь)

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 227 6302, 269 2623
Факс: (38044) 268 0486
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, В. И. Котляр, Т. В. Юштина.
Электронная верстка:
И. С. Баташева, Л. Н. Герасименко,
И. Р. Наумова,
И. В. Петушков, Т. Ю. Снегирева.

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001
Журнал входит в перечень
утвержденных ВАК Украины изданий
для публикации трудов соискателей
ученых степеней.
При перепечатке материалов ссылка
на журнал обязательна.
За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности
не несет.
Цена договорная.

СОДЕРЖАНИЕ

Сварка в Санкт-Петербурге 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Походня И. К. Сварочные материалы: состояние и тенденции
развития 9
Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А., Гордань Г. М.
Высокованадиевые сплавы для плазменно-порошковой
наплавки инструментов 21
Лабур Т. М. Прочность и вязкость металла сварных
соединений алюминий-литиевых сплавов 26
Борисов Ю. С., Колисниченко О. В. Влияние условий
нагрева поверхности изделия на структуру упрочненных слоев
стали У8 при плазменно-детонационной обработке 31

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Барвинко А. Ю., Гоцуляк Е. А. Определение допустимых
отклонений вставок при замене монтажного соединения
стенки рулонированных резервуаров 36
Тарногородский В. П., Пономарева Е. Ю. Пути повышения
прочности сварных соединений труб из термопластов (Обзор) 41
Черных В. В. Компетентия персонала — важная состав-
ляющая системы экологической безопасности сварочного
производства 45
Лебедев В. А. Особенности конструирования механизмов
импульсной подачи электродной проволоки в сварочном
оборудовании 48

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Шлепаков В. Н., Билинец А. В. Порошковые проволоки с
металлическим сердечником для сварки в защитных газах 53
Жадкевич М. Л., Трофимьяк В. Н. Установка магнетронного
нанесения покрытий на листовое стекло 54
Разработано в ИЭС: Способ сварки плавящимся электродом с
программируемым изменением газовой защиты и модулирующей
сварочного тока 55
Диссертации на соискание ученой степени 56
Патенты в области сварочного производства 56
По зарубежным журналам 58

ХРОНИКА

Сварка на рубеже веков 61

РЕКЛАМА

Фильтровентиляционный агрегат «ШМЕЛЬ-1500» 62
Сварочные материалы производства фирмы «Арксэл» 64

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

Каховский завод электросварочного оборудования
Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е.О. Патона
Ново-Краматорский машиностроительный завод
Технопарк «ИЭС им. Е.О. Патона»
Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е.О. Патона

Founders: The National Academy of Sciences of Ukraine
The E. O. Paton Electric Welding Institute
International Association «Welding»

Publisher: International Association «Welding»

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

Yu. S. Borisov, N. M. Voropai,
V. F. Grabin, V. N. Zamkov,
A. T. Zelnichenko, A. Ya. Ishchenko,
S. I. Kuchuk-Yatsenko, Yu. N. Lankin,
V. K. Lebedev (vice-chief ed.),
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
V. I. Makhnenko, V. F. Moshkin,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
I. A. Ryabtsev, Yu. A. Sterenbogen,
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

**THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:**

N. P. Alyoshin (Russia)
B. Braithwaite (UK)
C. Boucher (France)
Guan Qiao (China)
U. Diltey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
T. Eagar (USA)
K. Inoue (Japan)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
D. von Hofe (Germany)
Zhang Yanmin (China)
V. K. Sheleg (Belarus)

Address:

The E. O. Paton Electric Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 227 63 02, 269 26 23
Fax: (38044) 268 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, V. I. Kotiyar,
T. V. Yushtina.
Electron galley:
I. S. Batasheva, L. N. Gerasimenko,
I. R. Naumova,
I. V. Petushkov, T. Yu. Snegiryova.

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

This publication and each of the articles
contained here in are protected
by copyright.

Permission to reproduce material
contained in this journal must be obtained
in writing from the Publisher.

CONTENTS

Welding in St.-Petersburg 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Pokhodnya I.K. Welding consumables: status and tendencies of
development 9
Perepletchikov E.F., Ryabtsev I.A., Gordan G.M. High-vana-
dium alloys for plasma-powder cladding of tools 21
Labur T.M. Strength and toughness of metal of welded joint in
aluminium-lithium alloys 26
Borisov Yu.S., Kolisnichenko O.V. Influence of the conditions
of item surface heating on the structure of strengthened layers of
U8 steel in plasma-detonation treatment 31

INDUSTRIAL

Barvinko A.Yu., Gotsulyak E.A. Determination of admissible de-
viations of inserts in replacement of a field joint in a wall of coiled
tanks 36
Tarnogradsky V.P., Ponomareva E.Yu. Methods to improve the
strength of welded joints of thermoplastic pipes (Review) 41
Chernykh V.V. Personnel competence — an important compo-
nent of the system of ecological safety of welding fabrication 45
Lebedev V.A. Features of designing mechanisms of pulsed feed
of welding wire in welding equipment 48

BRIEF INFORMATION

Shlepakov V.N., Bilinets A.V. Flux-cored wires with a metal core
in gas-shielded welding 53
Zhadkevich M.L., Trofimyak V.N. A unit for magnetron sputter-
ing of coatings on glass panels 54
PWI developments: Consumable electrode welding process with
programmable change of gas shielding and welding current modu-
lation 55
Theses for a scientific degree 56
Patents in the field of welding fabrication 56
Review of foreign journals 58

NEWS

Welding at the threshold of centuries 61

ADVERTISING

Filtering-ventilation unit «SHMEL-1500» 62
Welding consumables of «Arcsel» company manufacture 64

*Journal «Avtomaticheskaya Svarka» is published in English under the title «The Paton Welding Journal».
Concerning publication of articles, subscription and advertising, please, contact the editorial board.*

СВАРКА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В 1703 г. в устье р. Невы на берегу Балтийского моря была заложена новая столица России — Санкт-Петербург. Петр I сразу же определил промышленную ориентацию города на судостроение (Кронверкская и Адмиралтейская верфи), производство вооружения (Литейный и Пушечный дворы), транспорта и строительство зданий и мостов. С созданием Академии наук было положено начало развитию науки в России. К концу 18 в. Санкт-Петербург стал крупнейшим городом с высоким уровнем развития многих отраслей промышленности и научных исследований. В 1802 г. впервые в мире профессор физики Медико-хирургической академии В. В. Петров (с 1815 г. академик Санкт-Петербургской академии наук) открыл явление дугового разряда в газах, наметил возможность использования его в технических целях, в том числе и плавления металлов.

Во второй половине 19 в. в Санкт-Петербурге сформировалась одна из крупнейших в мире научно-инженерных школ электротехников. В феврале 1880 г. Н. Н. Бенардос поступил на службу в Петербургское товарищество «Яблочков-изобретатель и К^о», где получил возможность довести до практического применения первый способ дуговой сварки. Монтируя экспозицию П. Н. Яблочкова на международной выставке в Париже в апреле 1881 г., он впервые в мире использовал дугу для сварки железных и медных изделий. Первая в мире сварочная фирма «Электротрофест» с конструкторским отделом и заводом разместилась в Санкт-Петербурге на Выборгской стороне. К концу 1888 г. здесь работало несколько сот человек, выполнялись сварочно-ремонтные работы и изготавливалось оборудование. Ознакомиться с новым способом соединения металлов сюда приезжали инженеры и предприниматели из многих стран Европы и США.

Благодаря специалистам из Санкт-Петербурга, ознакомившимся со сваркой по способу Н. Г. Славянова на Пермских пушечных заводах, она получила известность. Проблемы электросварки не раз обсуждались на заседаниях Императорского Русского технического общества, руководящие органы которого работали в Санкт-Петербурге. Большой интерес вызвала первая в мире экспозиция по сварке, представленная на IV Всероссийской электрической выставке, организованной в Санкт-Петербурге, в Соляном городке в январе 1892 г. (рис. 1).

Первая в мире монография по дуговой сварке, в которой заложены основы ряда разделов науки о сварке, вышла в Санкт-Петербурге. С 1898 г. проф. М. А. Шателен (с 1931 г. чл.-кор. АН СССР) впервые в мировой учебной практике начал читать курс лекций по электросварке студентам горного и политехнического институтов Санкт-Петербурга. Следующий шаг в истории развития дуговой сварки, имевший большое значение для упрощения источников питания, сделал проф. политехнического института В. Ф. Миткевич (с 1929 г. акад. АН СССР), доказавший возможность применения трехфазного переменного тока для сварки металлов.

Внедрение газовой сварки и резки в России началось с создания в Санкт-Петербурге в 1911 г. завода «Перун» по производству ацетиленовых генераторов и горелок. Товарищество «Перун» обучало первых русских газосварщиков, его филиалы были также открыты в Екатеринославе и Варшаве. В то время газовая сварка обеспечивала лучшее качество металла шва, чем дуговая. В 1920 — 1930-е гг. Ленинградский завод «Красный автоген № 1» продолжал оставаться одним из лидеров развития и внедрения газовой сварки.

Над проблемой качества и повышением производительности ручной дуговой сварки плавящимся электродом в СССР начал работать инженер Элмаштреста К. К. Хренов (с 1945 г. академик АН УССР, с 1953 г. чл.-кор. АН СССР). В 1923 г. он в лаборатории Ленинградского электротехнического института впервые в мире выполнил фундаментальные исследования физико-химических свойств сварочной дуги, совершенствовал составы электродных покрытий. Кроме того, К. К. Хренов вместе с инженерами В. П. Никитиным (с 1939 г. академик АН СССР) и А. Е. Алексеевым (впоследствии чл.-кор. АН СССР) организовали на заводе «Электрик» (основан в 1893 г. как электротехнический завод фирмы «Дюфлон и Константинович») опытное производство сварочных источников питания.

В 1924 г. здесь была выпущена первая отечественная сварочная машина постоянного тока СМ-1 (рис. 2). В следующем году завод «Электрик» начал выпускать более совершенные генераторы, затем был налажен серийный выпуск сварочных трансформаторов (СТ-2) и точечных контактных машин (ТК-8). С 1926 г. на завод пришел А. А. Алексеев, по инициативе которого было создано КБ по сварочному оборудованию и испытательная лаборатория. Завод «Элект-



Рис. 1. Экспозиция Бенардоса на IV Всероссийской электрической выставке (Санкт-Петербург, 1892)



Рис. 2. Сварочный преобразователь СМ-1, созданный на заводе «Электрик» (Петроград, 1923–1924), справа налево: К. К. Хренов, В. П. Никитин и А. Е. Алексеев

рик» непрерывно наращивал темпы производства источников питания для дуговой сварки и машин для контактной сварки, что позволило стране уже к началу 1933 г. почти полностью отказаться от импорта электросварочного оборудования. С этого завода в Советском Союзе началось создание принципиально новых сварочных машин и способов сварки. А. А. Алексеев организовал в Ленинградском электротехническом институте подготовку инженеров по сварке, первый выпуск которых состоялся в 1929 г., а в 1934 г. организовал и возглавил кафедру сварки в политехническом институте. Вскоре здесь образовалась одна из ведущих сварочных научных школ страны.

Ленинградский вагоностроительный завод им. Егорова был одним из первых, изготовивших с помощью сварки несущие узлы вагонов. На производство сварных изделий перешли многие предприятия Ленинграда.

Специалисты Ленинграда проложили путь к применению сварки в строительстве гидротехнических сооружений. В 1927 г. Ленинградским бюро Днепростроя (Н. О. Ожерблом и др.) были спроектированы металлоконструкции Днепрогэса им. В. И. Ленина.

В начале 1930-х гг. Ленинград стал центром сварного судостроения. Еще в 1921 г. вопрос о замене клепки сваркой рассматривался в судостроительной секции Высшего научно-технического комитета НКПС. В 1929 г. отдел сварки создан в Научно-исследовательском институте судостроения и судовых стандартов. К концу первой пятилетки на судостроительных заводах начали формироваться сварочные бюро и отделы. В 1930 г. при Наркомводе создана специальная организация по проектированию и постройке речных судов «Электроверфь», базировавшаяся на Усть-Ижорской верфи. Аналогичной работой занялось Центральное бюро «Судопроект».

Металл шва, выполненного меловыми электродами, не обладал достаточной пластичностью, что ограничивало применение сварки обшивки корпуса, однако последнее препятствие при изготовлении цельносварных судов было устранено благодаря внедрению электродов, обеспечивающих шлаковую защиту, в том числе и электродов марки ЛИМ Ленинградского института металлов. Спроектированные и построенные в Ленинграде в начале 1930-х гг. гидрографические суда типа «Седов» и ледоколы типа «Севморпуть» успешно выдержали условия тяжелых ледовых плаваний. Итогам перехода судостроения на сварку была посвящена Всесоюзная конференция, состоявшаяся в январе 1936 г. в Ленинграде. Через два года Регистром СССР были утверждены «Технические условия применения сварки», было разрешено использование ручной и автоматической дуговой сварки. Ряд нормативных документов был разработан Научно-исследовательским институтом судостроения, в том числе стандарты на электроды, формы сварных соединений и подготовки кромок, обозначения на чертежах, испытания соединений и др. Проблемы технологии решались также в комиссии по сварке при Главном управлении судостроительной промышленности под председательством В. П. Вологодина, возглавившего кафедру сварки в Ленинградском кораблестроительном институте. В то же время организационно-технической и исследовательской работой по переводу судостроения на сварку занялся трест «Оргсудпром», преобразованный в 1947 г. в Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения (ЦНИИ ТС).

Не в последнюю очередь благодаря интенсивному развитию технологии сварки и повышению качества сварных соединений в предвоенные годы СССР был обеспечен потребным количеством и номенклатурой грузопассажирских судов, судов специального назначения. Выросла мощь военно-морского флота. В 1937 г. на Балтийском заводе был спущен на воду первый советский ледокол мощностью 10 тыс. л. с. В ЦКБ «Балтсудопроект», основанном в 1925 г., были спроектированы и изготовлены на ленинградских заводах эскадренные тральщики («Владимир Полухин» и др.), сторожевые корабли («Ястреб»), танкеры, лесовозы, универсальные сухогрузы и пр.

Большой вклад во внедрение сварки в судостроение внес проф. д-р техн. наук Ф. Ф. Бенуа. В 1930-х гг. он принял участие в разработке цельносварных судов на Канонерском заводе, в «Судопроекте» и в Центральном управлении Речного Регистра СССР, подготовил правила Речного Регистра (1941). В 1955 г. с его участием были разработаны правила Морского Регистра, с 1946 по 1984 г. Ф. Ф. Бенуа работал в Ленинградском институте инженеров водного транспорта (заведующий кафедрой), где создал новые сварочные материалы, разработал технологию ремонта судовых механизмов и др.

Проблема качества металла шва, выполненного ручной дуговой сваркой, была решена в основном благодаря серии электродов с основным покрытием типа УОНИ-13, разработанных в 1938 г. под руководством К. В. Петраня, заведующего лабораторией НИИ-13 оборонной промышленности. Это уникальный случай «долгожительства» сварочных материалов. До настоящего времени выпуск элек-



Рис. 3. Володарский мост через Неву

тродов этого типа составляет значительную долю в электродном производстве РФ и ряда других стран. В 1938–1939 гг. в сварочной лаборатории завода «Электрик» Л. Н. Кушнарев и В. Е. Саханович добились высокого качества наплавленного металла при сварке голым электродом под измельченным электродным покрытием. В 1941 г. там был создан высококремнистый флюс ЭМК-31, продолжалась работа над усовершенствованием сварочной головки.

Начало 1930-х гг. характерно повышенным вниманием к применению сварки в мостостроении. Наряду с В. П. Вологдиным, Г. А. Николаевым и Е. О. Патеном в Ленинграде сваркой мостов занялся Г. П. Передерий (профессор Ленинградского института гражданских инженеров и Московского института инженеров транспорта, с 1943 г. действительный член АН СССР). Приняв на себя обязанности главного инженера «Ленгормоста», он руководил работами по монтажу и сварке Володарского моста через Неву из железобетонных балок длиной по 101 м с разводным пролетом 42,5 м (рис. 3). В 1936–1938 гг. по проекту Г. П. Передерия реконструировали чугунный мост через Неву, построенный еще в 1850 г. (Благовещенский–Николаевский), переименованный после революции в мост Лейтенанта Шмидта. Были установлены три пролета со сплошностенчатыми балками коробчатого сечения и два крыла разводного пролета из балок двутаврового сечения. Балки длиной до 10 м и толщиной листов до 50 мм и пакетов из двух листов до 88 мм сваривали в цехах, а перед погрузкой на пантоны их сваривали в плети по 40 м. В разработке технологии сборки и сварки участвовал Н. О. Окерблом. Электроды с высококачественным покрытием были разработаны и изготовлены специалистами Кировского завода.

В годы Великой Отечественной войны в блокадном Ленинграде сварка, в первую очередь, электродуговая стала незаменимой технологией ремонта танков, кораблей, промышленных сооружений. Под руководством Ю. Г. Деревянко, главного инженера и главного конструктора судостроительных заводов (впоследствии директора ЦНИИ ТС), были построены сварные самоходные плашкоуты для ладожской Дороги жизни, морские охотники типа БМО, бронекатера, шхерные мониторы. Только на верфи «Алмаз» было построено 700 военных катеров. Значительная часть оборудования и специалистов Кировского завода были эвакуированы в Челябинск, где также временно находился Харьковский дизельный завод. Здесь вместе с Челябинским тракторным заводом был организован мощный танкостроительный комплекс, получивший название Танкограда (рис. 4). Директор И. М. Зальцман (работавший с 1938 г. директором Кировского завода, в 1942–1943 гг. — нарком танковой промышленности СССР) был энтузиастом внедрения в производство корпусов танков, выполненных автоматической сваркой под флюсом, разработанной под руководством Е. О. Патона. На этом заводе инструкторами работали и сотрудники ИЭС, эвакуированного из Киева в Нижний Тагил.

В послевоенные годы Ленинград продолжал оставаться научно-техническим центром по применению сварки в судостроении. Были определены требования к корпусным сталям, допустимые деформации и напряжения, разработаны правила конструирования и изготовления кораблей. В 1974 г. при ЦНИИ ТС был создан Технический совет по сварке, который возглавил академик АН СССР Ю. А. Шиманский и проф. Н. О. Окерблом (заведующий кафедрой сварочного производства Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина). Производство новых классов кораблей в послевоенные годы потребовало создания и применения новых сварочных технологий.

В ЦНИИ «Прометей» были развернуты масштабные работы по созданию материалов, технологии сварки и методов неразрушающего контроля конструкций атомных энергетических установок ледоколов «Ленин», «Арктика», подводных лодок и других кораблей с атомными двигателями.

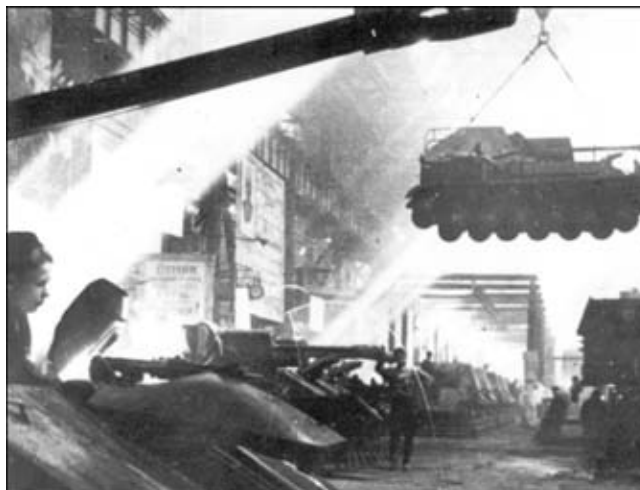


Рис. 4. В сборочном цехе Танкограда (г. Челябинск, 1943)



Рис. 5. Атомная подводная лодка (проект 671РТМК), построенная в Адмиралтейском объединении

паровых и газовых турбин, а также другого энергетического оборудования из специальных сталей, титана, циркония. В 1960–1970 гг. здесь продолжался выпуск тракторов («Кировец»), танков (Т-80), ракетно-зенитных комплексов.

Ленинградский судостроительный завод им. А. А. Жданова, Адмиралтейский и Балтийский заводы оставались полигонами для доводки и внедрения новых сварочных и родственных технологий в судостроение, в том числе в строительство теплоходов на подводных крыльях, научно-исследовательских судов, плавучих доков. Только в 1960–1970-х гг. вступили в строй ракетный крейсер «Варяг», научно-исследовательское судно «Академик Курчатов», крупнейшая в мире рыбопромысловая база «Восток» (Адмиралтейский завод), судно Службы космических исследований «Академик Королев», плавучий док «Балтика» (судостроительный завод им. А. А. Жданова), научно-исследовательское судно «Космонавт Юрий Гагарин» (Балтийский завод) и др. На Адмиралтейском заводе (с 1985 г. ГП «Адмиралтейские верфи») к 1994 г. было построено более 30 атомных подводных лодок (рис. 5), 20 крейсеров, эсминцев и противолодочных кораблей. Центральным морским КБ (ЦМКБ) и судостроительной фирмой «Алмаз» в 1980-х гг. были спроектированы и построены ракетные катера, корабль на воздушной подушке «Зубр» и другие суда из алюминиево-магниевых и титановых сплавов с применением аргонодуговой и плазменной сварки. К середине 1990-х гг. насчитывалось более 400 кораблей, изготовленных по проектам ЦМКБ и проданных в 26 стран мира.

В 1986 г. в ЦНИИ ТС (НПО «Ритм») было создано специализированное технологическо-конструкторское отделение по технологии и оборудованию (В. Д. Горбач). Здесь разработано оборудование не только в судостроении. Новым шагом в сварочном производстве стали установки с числовым программным управлением и промышленные роботы («Луч», «Кристалл»).

Слава Ленинграда, как одного из крупнейших мировых центров сварки, еще больше утвердилась с созданием по инициативе Н. Я. Кочановского и Б. Е. Патона в 1953 г. на базе завода «Электрик» Всесоюзного научно-исследовательского института электросварочного оборудования (ВНИИЭСО).

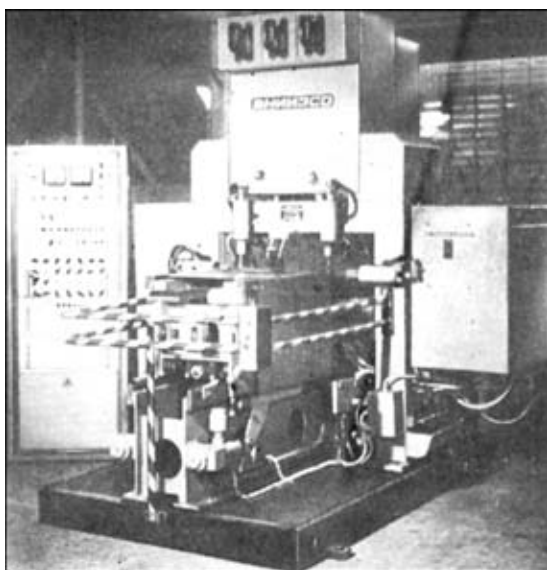


Рис. 6. Установка для односторонней точечной сварки кожухов сварочных трансформаторов УТМ-01 (Ленинград, ВНИИЭСО, 1983)

В. В. Ардентов, В. И. Дятлов и другие крупные ученые этого научно-исследовательского института в разные годы осуществляли приоритетные исследования свариваемости и свойств сварных соединений, в том числе выполненных автоматической сваркой под флюсом (совместные работы со специалистами ИЭС им. Е. О. Патона) броневых сталей, жаропрочных и высокопрочных сталей, алюминиевых сплавов, титана и его сплавов. В частности, в конце 1970-х гг. в содружестве с ИЭС (С. М. Гуревич) была разработана и внедрена технология сварки запорной арматуры и других изделий из титановых сплавов.

На Кировском заводе были изготовлены энергетические установки для атомоходов и теплоходов. Кроме того, сварка (преимущественно в инертных газах, электрошлаковая и электронно-лучевая) была применена при производстве оборудования для обогащения урана,

на Кировском заводе были изготовлены энергетические установки для атомоходов и теплоходов. Кроме того, сварка (преимущественно в инертных газах, электрошлаковая и электронно-лучевая) была применена при производстве оборудования для обогащения урана, ракетно-зенитных комплексов.

Здесь была развернута многоплановая исследовательская и конструкторская работа, результаты которой воплотились на заводе «Электрик», Вильнюсском, Тбилисском им. Е. О. Патона, Псковском заводах электросварочного оборудования и на других заводах СССР, а также за рубежом. Через несколько лет в Тбилиси и Вильнюсе были открыты отделения ВНИИЭСО. В 1950–1980-х гг. во ВНИИЭСО при участии сотрудников завода «Электрик» были исследованы процессы, созданы оборудование и технология ультразвуковой сварки пластмасс и металлов (Ю. В. Холопов), сварки трением встык (В. И. Вилль, А. И. Чудиков), дуговой (с дугой, вращающейся в магнитном поле, С. М. Катлер), холодной сварки (И. В. Баранов, И. М. Стройман), серии аппаратов для ручной и автоматической аргонодуговой сварки, аппаратура для плазменной резки и сварки на постоянном токе (Д. Г. Быховский), модульное сварочное оборудование специального назначения (В. В. Смирнов и др.).

Во ВНИИЭСО продолжались начатые на заводе «Электрик» под руководством Н. Я. Кочановского фундаментальные работы в области контактной сварки, созданы контактные машины большой мощности для сварки нержавеющей сталей и легких сплавов по заказу оборонной

промышленности (Л. В. Зайчик и др.) и специализированные установки различного назначения (рис. 6). В 1957 г. была разработана первая в мире машина (МТС-1) для сварки трением, в 1965 г. — машины-автоматы (МСТА-31 и МСТА-32). Сотрудники ВНИИЭСО и завода «Электрик» разработали конденсаторные машины для точечной сварки изделий из цветных металлов (1966), впервые предложенной еще в 1934 г. Г. И. Бабатом на Ленинградском заводе «Светлана»; совместно с работниками ЗИЛ (Москва) создана серия многоэлектродных машин для сварки узлов и деталей грузовых автомобилей.

Во ВНИИ токов высокой частоты им. В. П. Вологодина (ВНИИТВЧ) в 1958 г. совместно с Новомосковским трубным заводом была завершена разработка радиочастотной сварки труб.

Начиная с 1920-х гг. ученые и инженеры Ленинграда–Санкт-Петербурга вносят заметный вклад в научные основы сварки и родственных технологий. В первую очередь — это работы металлургического направления, результаты которых использованы при создании новых конструкционных материалов и технологии их сварки. Так, еще в 1935 г. коллектив металлургов Кировского завода разработал высокопрочную сталь 20ХГ, а инженер сварочной лаборатории А. Н. Шашков (впоследствии директор ВНИИАвтогенмашина) — составы электродных покрытий и машину для их обмазки. На заводе «Электрик», а затем и во ВНИИЭСО проведены исследования энергетических характеристик процессов сварки с целью создания новых высокоэффективных источников питания (выпрямителей, импульсных источников и др.), полномасштабные исследования по совершенствованию всех видов контактной сварки.

В частности, в 1960-х гг. были спроектированы и запущены в серийное производство машины для контактной точечной сварки легких сплавов униполярным импульсом сварочного тока, многоэлектродные и стыковые машины высокой производительности. Это оборудование нашло применение на строительстве гидроэлектростанций, на авиационных и автомобильных заводах и в других отраслях промышленности. Проблема совершенствования трубного производства с использованием высокочастотной сварки была решена во ВНИИТВЧ им. В. П. Вологодина совместно с учеными Всесоюзного научно-исследовательского трубного института и инженерно-техническими работниками трубосварочного цеха Днепропетровского металлургического завода.

Совместные исследования ИЭС им. Е. О. Патона и ВНИИЭСО по совершенствованию конденсаторной сварки и выпуску машин на заводе «Электрик» (в том числе, и машин с программируемым сварочным током) обеспечили широкое применение процесса при изготовлении деталей и узлов из легких сплавов, титана, никеля, жаропрочных сталей толщиной в десятые и сотые доли миллиметра в электронной и других отраслях промышленности.

В 1950-х гг. ученым, инженерам, новаторам пришлось решать сложнейшие задачи производства в такой важной отрасли, как энергетическое машиностроение. Котлы и турбины нового класса могли быть изготовлены только в сварном исполнении. О масштабе проделанной работы можно судить по тому, что к началу 1960 г. на Ленинградском металлическом заводе в общей массе турбин сварные конструкции паровых турбин из перлитных и мартенситных высокохромистых сталей составили 55 %, газовых турбин из аустенитных и высокопрочных сплавов на никелевой основе — 61 %, гидравлических турбин из высокопрочных хромоникельмедистой стали — 71 %.

В 1974 г. на Ижорском заводе им. А. А. Жданова впервые в мире был изготовлен сварно-кованный ротор генератора мощностью 1000 МВт с применением технологии ЭШС, разработанной ИЭС им. Е. О. Патона. Совместно с Ленинградским металлическим заводом и рядом ведомственных НИИ также решалась проблема исправления дефектов и ремонта турбин и арматуры без последующей термообработки.

В 1970-х гг. в стране был взят курс на унификацию сварочного оборудования. Конструкторами ВНИИЭСО, ИЭС им. Е. О. Патона и завода «Электрик» был разработан метод агрегатирования — рационального разделения установок на узлы, каждый из которых выполняет определенную функцию и может быть использован во многих типах сварочного оборудования.

Весомый вклад петербургских специалистов в развитие родственных технологий, в совершенствование контроля качества. Так, в 1967 г. в НИИ мостов Ленинградского института инженеров транспорта был разработан ультразвуковой дефектоскоп многоцелевого назначения.

Большой вклад в развитие сварочного производства, в организацию внедрения новейших технологий внесли также руководители и специалисты заводов Ленинграда. Так, с 1929 по 1939 гг. на Кировском заводе сварку курировал Б. Г. Музруков, прошедший путь от инженера до главного металлурга завода. В годы Великой Отечественной войны, будучи директором Уралмашзавода, он наладил серийное производство танков Т-34 и САУ, используя патоновскую технологию и оборудование. В послевоенные годы генерал-майор-инженер Б. Г. Музруков, дважды Герой Социалистического Труда как директор крупного оборонного предприятия и научно-исследовательского института способствовал развитию и внедрению новых способов сварки в производство ответственных конструкций.

В 1980-х гг. ленинградские сварщики продолжали фундаментальные и прикладные исследования, результаты которых успешно внедрялись в промышленность. Можно отметить такие направления как: проблемы прочности при работе изделий в экстремальных условиях (В. Н. Земзин, ЦКТИ им. И. И. Ползунова, И. А. Закс, Кировский завод); процессы плазменной обработки (Б. С. Большаков, Д. Г. Быховский, ВНИИЭСО), электронно-лучевой сварки (В. В. Ардентов, А. Е.



Рис. 7. Сварка корабельных конструкций полуавто- матом ПШ-5 (г. Ленинград, 1950)



Рис. 8. Подготовка к ЭШС колеса гидротурбины для Асуан- ской ГЭС на Ленинградском металлическом заводе (1965)

Вайнерман, ЦНИИ «Прометей»), дугоконтактной сварки (А. Ф. Гарбуль, ВНИИЭСО), технологию сварки специальных сталей в углекислом газе (В. Л. Руссо, Кораблестроительный институт).

Результаты исследований и разработок, опыт внедрения изложены в сотнях статей, опубликованных в специализированных журналах, в том числе и в журнале «Автоматическая сварка». Следует отметить большой интерес специалистов страны к материалам конференций и семинаров, к отдельным брошюрам, которые выпускал Дом научно-технической пропаганды, и к статьям в журналах «Технология судостроения» и «Судостроение».

Важнейшим видом научной продукции являются монографии и учебники. Именно в Ленинграде написаны первые учебники по контактной сварке, одни из первых по проектированию сварных конструкций, технологии и оборудованию дуговой сварки. По учебникам А. А. Алексеева, А. И. Ахуна, Н. Я. Кочановского, Н. О. Окерблома, Г. Л. Петрова училось не одно поколение в СССР и ряде других стран. Монографии, вышедшие в Ленинграде–Санкт-Петербурге, охватывают почти все способы сварки, касаются большинства проблем сварочного производства. В начале 1930-х гг. в Ленинграде, в политехническом и институте инженеров железнодорожного транспорта, а затем и в других вузах на кафедрах сварки и родственных технологий была организована плановая подготовка ученых в аспирантуре. С того времени для всех регионов страны были подготовлены тысячи специалистов высшей квалификации.

Отмечая выдающийся вклад специалистов Санкт-Петербурга в развитие сварочного производства, следует отметить и некоторые другие (кроме уже упоминавшихся) совместные работы с украинскими коллегами и в первую очередь с сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона. Одной из таких работ является создание автоматов и технологии полуавтоматической шланговой сварки под флюсом. Была решена проблема механизации сварки коротких швов и швов сложной конфигурации (рис. 7). В составе коллектива специалистов во главе с Б. Е. Патонем, отмеченного в 1950 г. Сталинской премией, были сотрудники завода «Электрик» Н. Я. Кочановский, С. М. Катлер, Л. Н. Кушнарев и Л. А. Болотников.

Электрошлаковая сварка, созданная в ИЭС им. Е. О. Патона в 1950-х гг., сразу начала внедряться и совершенствоваться на заводах Ленинграда при участии одного из ведущих специалистов д-ра техн. наук Г. З. Волошкевича. Эта технология позволила удешевить выпуск таких крупных изделий, как энергетическое оборудование, деталей корпуса кораблей, гребных винтов (рис. 8) и др. Сотрудники ИЭС им. Е. О. Патона (В. А. Ковтуненко и др.) занимались возведением сварной телевизионной вышки высотой 316 м в Ленинграде.

Активно и эффективно работали ученые Ленинграда в Научном совете по проблеме «Новые процессы сварки и сварные конструкции», в составе советских делегаций на сессиях МИСа, на всесоюзных и международных конференциях.

В 1992 г. был организован Научный совет по сварке и родственным технологиям, в выполнении программы и проектов которого участвуют институты, КБ и предприятия большинства стран СНГ. В частности, ФГУП «Институт сварки России» (директор проф. В. В. Смирнов) выступает в качестве организационно-исполнителя по ряду пунктов программы «Создание конкурентоспособных на мировом рынке сварных конструкций, ресурсосберегающих технологий, материалов и оборудования для сварочного производства». В 2000–2001 гг. Институтом сварки России выполнены работы по системе сертификации продукции, создании модульных источников питания, универсальных тиристорных выпрямителей, оборудования и технологии широкослойной многодуговой наплавки, гаммы оборудования для различных способов резки и др. В соответствии с этой программой работы мирового уровня также выполняют ГНЦРФ ЦНИИКМ «Прометей», ФГУП «ВНИИТВЧ им. В. П. Володина».

Нынешнее поколение ученых, инженеров и рабочих–сварщиков Санкт-Петербурга поддерживают высокий авторитет своего города в области сварки и родственных технологий.

А. Н. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук



СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Академик НАН Украины **И. К. ПОХОДНЯ** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены данные о современном производстве и потреблении стали в различных регионах мира. В связи с прогрессом в машиностроении, судостроении, строительстве и других отраслях потребуется снижение массы сварных конструкций, повышение их надежности и долговечности, снижение энергоемкости сварочных работ. Указанные задачи можно решить путем использования в ответственных конструкциях высокопрочных низколегированных (ВПНЛ) сталей. Приведены данные о состоянии металлургии и технологии сварки ВПНЛ сталей в России и Украине. Рассмотрены проблемы сварки ВПНЛ сталей и тенденции их развития, сформулированы направления дальнейших исследований. Рассмотрено состояние разработки сварочных материалов общего назначения, даны рекомендации по их совершенствованию.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочные материалы, высокопрочные низколегированные стали

Минувший XX век был веком становления и развития сварки. За истекшее время создано много новых сварочных процессов — от сварки угольным и металлическим электродом до электронно-лучевой, лазерной, гибридной лазерно-дуговой сварки. Тем не менее, среди многочисленных способов сварки плавлением до сих пор преобладает дуговая сварка. Очень широк диапазон свариваемых материалов — низкоуглеродистые и легированные стали, сплавы на основе титана, алюминия, молибдена, вольфрама, интерметаллиды и керамические материалы. Специалисты всего мира с полным основанием утверждают, что сталь как конструкционный материал будет доминировать еще по крайней мере в первой четверти XXI века.

Производство стали в мире непрерывно растет и развивается (рис. 1), в 2000 г. оно составило около 830 млн т [1]. За первые семь месяцев 2002 г. в мире было выпущено более 505 млн т стали. По данным Международного института стали, потребление этого материала вскоре увеличится на 4,3 %. Особо быстрыми темпами растет выпуск стали в Азии. На долю стран этого региона в 2000 г. приходилось 42 % производства стали (рис. 1) и 40,6 % ее потребления (рис. 2).

КНР последние шесть лет занимает лидирующее место в производстве стали. В 2001 г. она выпустила 151,6 млн т стали (это 18 % мирового

рынка) [2]. Начиная с 1996 г. производство стали в КНР увеличилось более чем на 50 %.

В 2000 г. выпуск стали в России составил 58 млн т, в Украине — 31 млн т, т. е. сократился по сравнению с 1990 г. практически в 2 раза. Из-за развала в области машиностроения и строительства потребление стали в этих странах уменьшилось в несколько раз, что вызвало сокращение производства сварочных материалов. В 2000 г. в России, Украине и других странах СНГ было произведено всего 343 тыс. т сварочных материалов. Из них на долю покрытых электродов приходилось 80 %, проволоки сплошного сечения для сварки в защитных газах — 9,7 %, порошковых проволок — 1,6 %, флюсов — 8,7 % [3]. Наиболее резко снизился выпуск материалов для механизированной сварки. Большинство крупных специализированных производств вынуждены работать с хронической недогрузкой мощностей. Значительно возросли цены на сырье и энергоносители. Выпускаются устаревшие марки материалов, отсутствует необходимый маркетинг продукции. В таких условиях многие специализированные производства приходят в упадок, при этом появляется множество мелких фирм, которые выпускают дешевые и зачастую некачественные сварочные материалы.

Представляется, что это явление временное. В нынешних условиях только крупные узкоспециализированные производства, которые должны развиваться в тесном сотрудничестве с научными организациями, способны предложить конкуренто-



Рис. 1. Производство стали в мире в 2000 г.



Рис. 2. Потребление стали в мире в 1998 г.



Рис. 3. Доля выпуска сварочных материалов в странах ЕС в 2000 г.

способную продукцию. Прогнозируя развитие дуговой сварки в нашем государстве, мы, несомненно, должны ориентироваться на промышленно развитые страны.

На рис. 3 и 4 приведены данные о выпуске сварочных материалов различного типа в странах ЕС и Японии [1, 4], на рис. 5 [1] — результаты оценки доли металла, наплавленного различными способами дуговой сварки в странах ЕС, на рис. 6 — данные о выпуске покрытых электродов для ручной дуговой сварки различного назначения [5].

В промышленно развитых странах расширяется объем применения механизированной сварки в защитных газах сплошной и порошковой проволоками и сокращается доля ручной дуговой сварки.

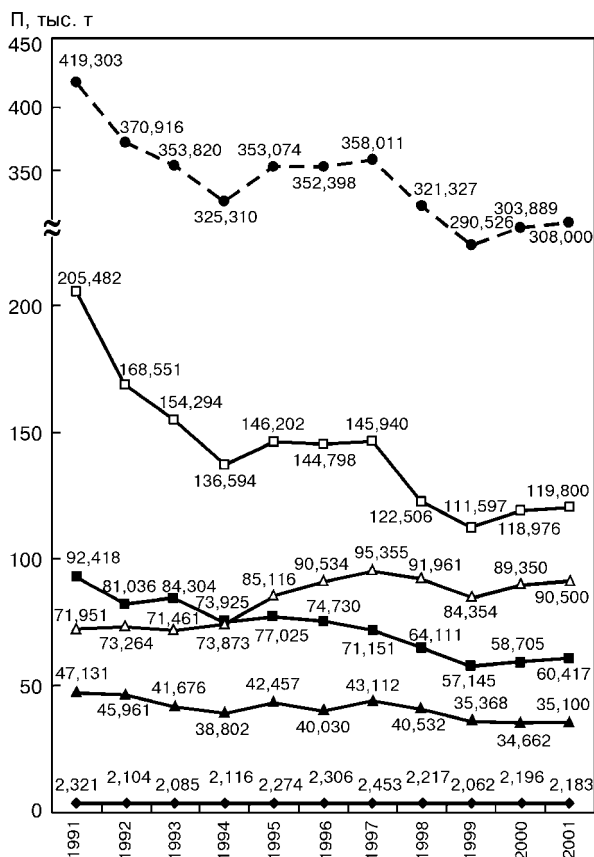


Рис. 4. Производство сварочных материалов (П) в Японии за период с 1991 по 2001 гг.: □ — сплошная проволока для сварки в защитных газах; Δ — порошковая проволока; ■ — покрытые электроды; ▲ — материалы (проволока и флюс) для сварки под флюсом; ◆ — неплавящиеся электроды и материалы для других процессов сварки; ● — всего

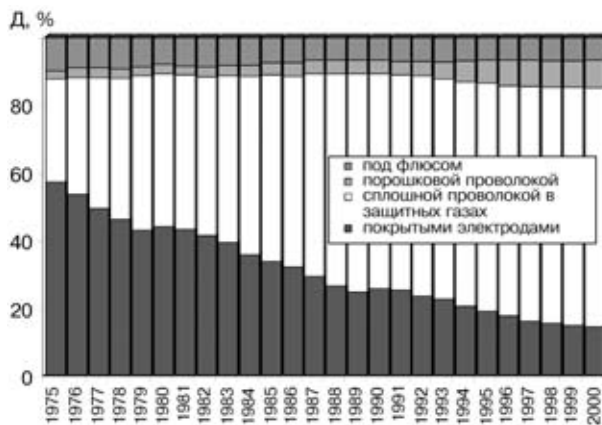


Рис. 5. Доля (Д) металла, наплавленного различными способами дуговой сварки в странах ЕС за 1975–2000 гг.

Например, в странах с развитым судостроением (Япония, Корея) увеличивается объем применения порошковой проволоки. В странах ЕС из механизированных способов доминирует сварка в смесях газов на основе аргона и углекислом газе проволокой сплошного сечения. Высокая доля применения покрытых электродов характерна для развивающихся стран с дешевой рабочей силой. Доля сварки под флюсом в странах ЕС с 1990-х гг. по настоящее время стабилизировалась (рис. 5).

Сложившаяся в России и Украине ситуация в области применения сварочных материалов, несомненно, будет изменяться. Прогресс в машиностроении, судостроении, строительстве, нефтехимическом и нефтеперерабатывающем комплексе и других отраслях промышленности, а также оплата труда сварщика и социальные проблемы требуют новых решений.

В настоящее время к сварным конструкциям предъявляются следующие требования: снижение их массы и энергоемкости при изготовлении, повышение надежности и долговечности. Прогресс в данном направлении связан с дальнейшим расширением применения высокопрочных низколегированных (ВНЛ) сталей, которые являются важной разработкой второй половины XX века. В 1994 г. мировое производство ВНЛ сталей достигло порядка 80 млн т при ежегодном темпе роста производства в 5 % и более [6]. Сейчас доля производства этого материала еще более возросла.

Многие годы в СССР проводились работы по созданию ВНЛ сталей и технологий их сварки. В ЦНИИКМ «Прометей» при сотрудничестве с

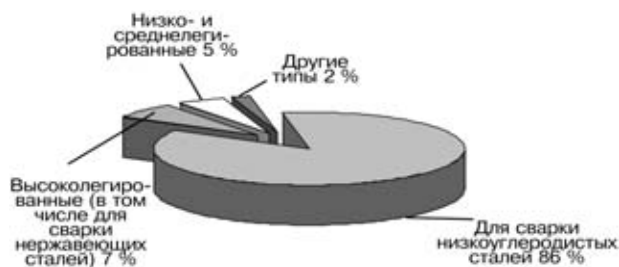


Рис. 6. Доля производства покрытых электродов различного назначения в странах ЕС в 2000 г. (из общей доли электродов для сварки низкоуглеродистых сталей примерно 2/3 составляют электроды с рутиловым покрытием)

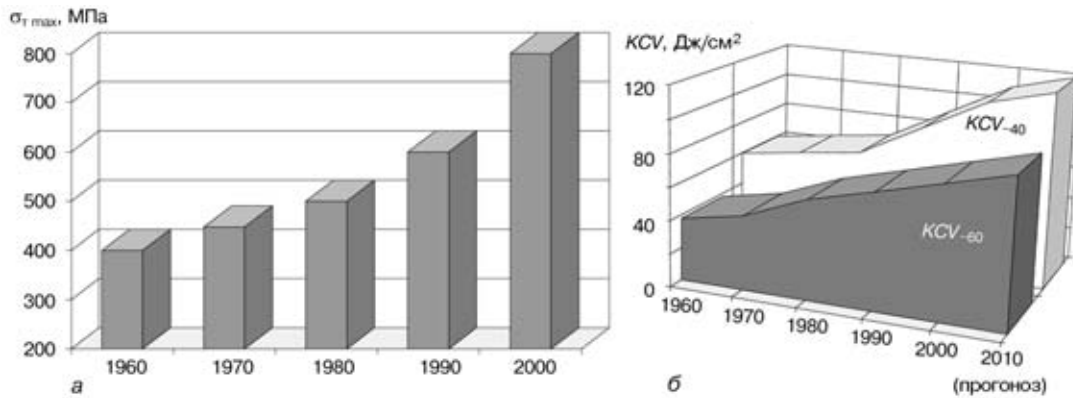


Рис. 7. Механические свойства сварных соединений ВПНЛ сталей: а – максимальный предел текучести $\sigma_{т\max}$; б – ударная вязкость KCV

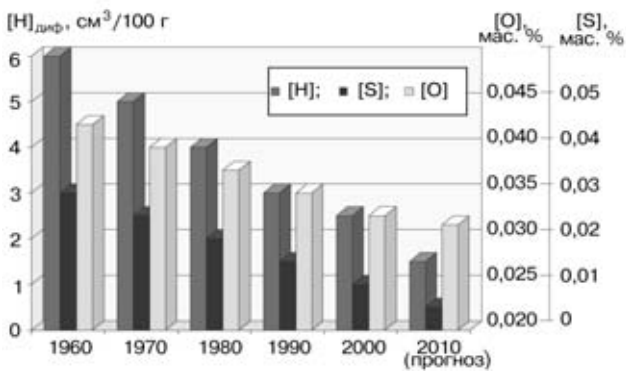


Рис. 8. Содержание примесей в сварных соединениях ВПНЛ сталей

$\sigma_t, \text{ МПа}$	Температура основного металла, °С			
	10...40	41...70	71...100	101...130
315	-25	0	+10	+20
390	0	+10	+20	+60
500, 620	+10	+20	+80	+100
690	+80	+80	+100	+120
780	+80	+100	+120	+120

без подогрева
 подсушка (при 40...50 °С)
 подогрев

Рис. 9. Необходимая температура подогрева основного металла (концентрация диффузионного водорода в наплавленном металле не должна превышать $2 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$)

ИЭС им. Е. О. Патона были созданы способы производства высокопрочных корпусных сталей типа АБ с пределом текучести до 1000 МПа (в работе [7] приведены характеристики этих сталей). В них уменьшено содержание углерода и легирующих элементов до уровня, обеспечивающего сквозную прокаливаемость. После термообработки структура стали представляет собой высокодисперсный сорбит с твердорастворным упрочнением ферритной матрицы, наличие которого обеспечивает высокую прочность, пластичность и хорошую свариваемость. На рис. 7 и 8 представлены данные о прогрессе в металлургии и технологии сварки ВПНЛ сталей. Благодаря исследованиям, выполненным в Украине, было достигнуто значительное снижение концентрации водорода, серы и кислорода в металле сварных швов, повышение его механических свойств, улучшение свариваемости, а также снижение температуры подогрева. Данные о содержании примесей в современных ВПНЛ сталях приведены в табл. 1.

Основные тенденции развития ВПНЛ сталей.

При разработке сварочных материалов и технологий сварки необходимо учитывать следующие факторы: уменьшение диапазона концентраций ле-

гирующих элементов; увеличение комбинаций микролегирующих элементов; снижение содержания углерода; уменьшение массовой доли остаточных элементов, серы и фосфора; снижение концентрации водорода, азота, кислорода; увеличение однородности и уровня механических свойств; улучшение деформируемости; улучшение свариваемости и вязкости сварных швов и соединений.

Важнейшей проблемой при сварке ВПНЛ сталей является предупреждение хрупкого разрушения сварных соединений. Это явление вызвано структурными превращениями в сварном шве и зоне термического влияния (ЗТВ), а также охрупчивающим действием растворенных в металле примесей, и прежде всего водорода, проявляющемся в возникновении индуцированных водородом трещин и замедленном разрушении сварных соединений. Для предупреждения этого современные технологии сварки сталей указанного типа предполагают использование предварительного и сопутствующего подогрева изделий. Это энерго- и трудоемкие, а также дорогостоящие операции (рис. 9 и 10), выполнение которых требует высокой технологической культуры производства. Однако они далеко не всегда обеспечивают отсутствие трещин в сварных соединениях. В связи с высокой температурой изделий, вызванной подогревом, резко ухудшаются условия труда сборщиков и сварщиков.

Изготовление конструкций из ВПНЛ сталей без предварительного по-

Таблица 1. Содержание примесей (мас. %) в ВПНЛ сталях

Класс стали по чистоте	S	P	N	O	H	N, O и H (в сумме)
Обычная	≤ 0,005	≤ 0,010	0,006	0,004	0,0002	≤ 0,0250
Чистая (экономически целесообразная)	≤ 0,002	≤ 0,005	0,004	0,001	0,0001	≤ 0,0120

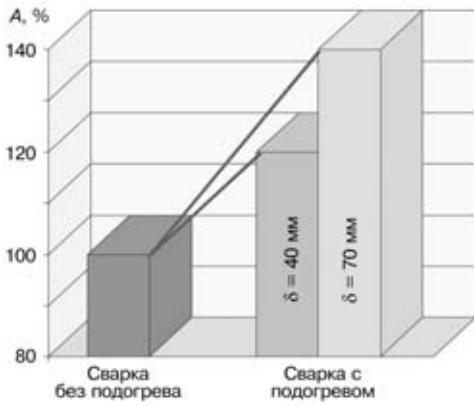


Рис. 10. Стоимость A сварочных работ [7] (δ — толщина свариваемой стали)

догрева — одна из основных проблем дуговой сварки в настоящее время. Результаты исследований по проблеме поведения водорода в сварных соединениях обобщены в работах [8–17]. Эта проблема является актуальной для всех способов дуговой сварки плавящимся электродом и должна обязательно приниматься во внимание при разработке сварочных материалов.

Температура догрева конструкций зависит от концентрации диффузионного водорода в металле швов, эквивалента углерода $P_{см}$ и погонной энергии сварки q (рис. 11).

В сталях и сварных соединениях перенос водорода определяется его диффузией в полях градиента концентраций и напряжений, термодиффузией, поверхностной диффузией, диффузией по дефектам структуры, транспортировкой, дислокациями. Моделирование распределения водорода в сварном соединении при наличии концентратора напряжений выполнено Н. Юриокой (рис. 12). Как видно из рисунка, водород в сварном соединении распределяется неравномерно — повышенная концентрация в ЗТВ и по линии сплавления. Характер его распределения зависит от соотношения температур начала мартенситного превращения в металле сварных швов ($M_{s_{мш}}$) и ЗТВ ($M_{s_{зТВ}}$) (рис. 13). При $M_{s_{мш}} > M_{s_{зТВ}}$ мартенсит в металле швов образуется раньше, чем в ЗТВ, ко-

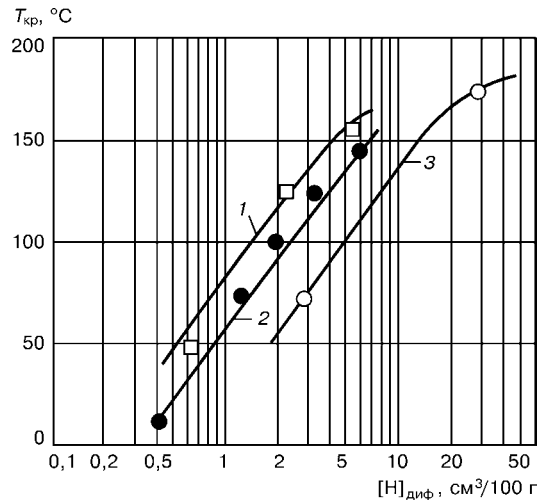


Рис. 11. Зависимость критической температуры догрева $T_{кр}$, необходимой для предотвращения образования трещин при сварке стали с пределом текучести 460 МПа [8], от концентрации диффузионного водорода $[H]_{диф}$ в металле шва: 1 — сварка под флюсом ($q = 3,0$ кДж/мм, $P_{см} = 0,235$); 2 — сварка покрытыми электродами ($q = 1,7$ кДж/мм, $P_{см} = 0,235$); 3 — сварка покрытыми электродами ($q = 1,7$ кДж/мм, $P_{см} = 0,212$)

торая становится барьером для транспортировки водорода. В ней наблюдается высокая концентрация диффузионного водорода и создаются потенциальные условия для образования трещин (рис. 13, а). При $M_{s_{мш}} < M_{s_{зТВ}}$ мартенсит в ЗТВ

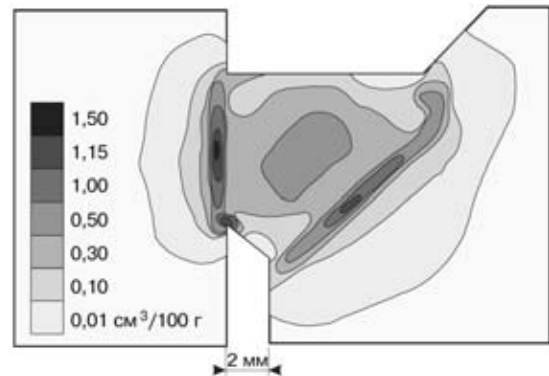


Рис. 12. Распределение концентраций водорода в металле шва и ЗТВ через 5 ч после сварки без предварительного догрева [8]

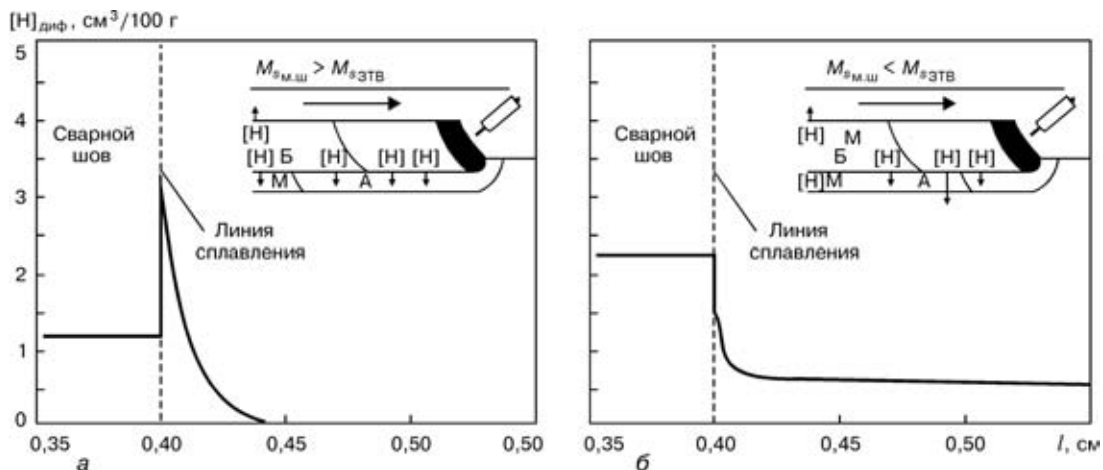


Рис. 13. Распределение водорода по линии сплавления в различном по химическому составу металле швов и ЗТВ: а — $M_{s_{мш}}$ при 600 °С; $M_{s_{зТВ}}$ при 500 °С; б — $M_{s_{мш}}$ при 500 °С; $M_{s_{зТВ}}$ при 600 °С; l — расстояние от оси шва; А — аустенит; Б — бейнит; М — мартенсит

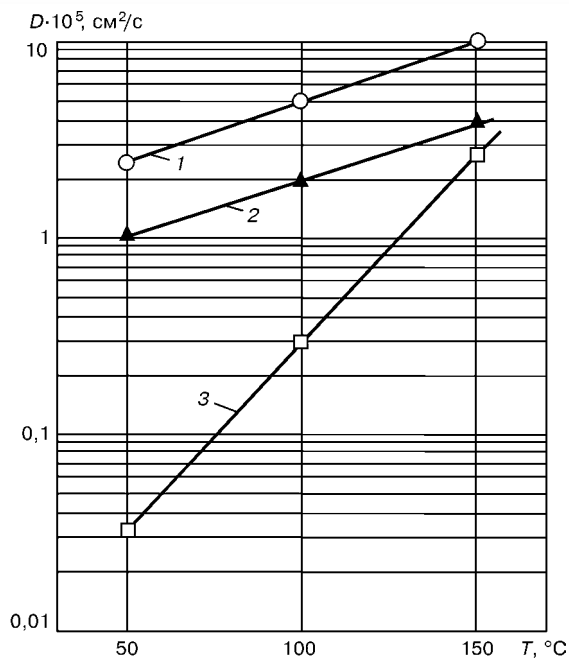


Рис. 14. Температурные зависимости коэффициента диффузии D водорода в металле швов, полученных с использованием основных (1) и рутиловых (2) электродов, и константы скорости выделения водорода из «ловушек» в металле, наплавленном рутиловыми электродами (3)

образуется раньше, чем в металле швов (рис. 13, б). У последних концентрация диффузионного водорода более высока, поэтому большая вероятность образования трещин [10].

Диффузия водорода в металле швов зависит от их химического состава, структуры, а также наличия дефектов в виде пор и неметаллических включений. Данные о массопереносе водорода в металле швов приведены на рис. 14.

Скорость массопереноса водорода в металле швов, выполненных электродами с основным покрытием в несколько раз выше, чем в швах, сваренных с использованием электродов рутилового типа. Это связано с наличием большого количества «ловушек» водорода — неметаллических включений и мелких пор в металле швов, полученных указанным способом. «Ловушки» водорода могут дополнительно образовываться в металле шва при его деформации. С увеличением количества дефектов в металле массоперенос замедляется [11].

Уменьшить концентрацию диффузионного водорода в металле швов можно за счет его мик-

ролегирования редкоземельными металлами и гидридообразующими элементами. На рис. 15 приведены данные о влиянии редкоземельных металлов и иттрия на концентрацию диффузионного водорода. При введении редкоземельных металлов происходит перераспределение водорода в металле швов — снижается концентрация диффузионного водорода $[H]_{диф}$ и повышается остаточного $[H]_{ост}$. Образующиеся при микролегировании швов редкоземельными металлами оксисульфиды аккумулируют водород.

Перераспределение водорода в металле швов может происходить при фазовых превращениях и зависит от скорости охлаждения. Тогда роль «ловушек» в металле швов выполняет остаточный аустенит (рис. 16) [18].

Захват водорода «ловушками» объясняют низкой скоростью массопереноса водорода в остаточном аустените. При наличии остаточного аустенита в металле швов с помощью стандартных измерений было определено, что при температуре до 250 °C концентрация водорода занижена. Это необходимо учитывать при прогнозировании образования индуцированных водородом трещин в сварных соединениях.

Концентрация водорода в металле сварных швов и соединениях в основном зависит от количества влаги и водородсодержащих веществ в электродных покрытиях, флюсах, сердечниках порошковых проволок и др. При создании ультранизководородных сварочных материалов следует учитывать концентрацию водорода в проволоках и основном металле. Для ее уменьшения в сырьевых и готовых сварочных материалах используют в основном термообработку электродов и флюсов, осушение защитных газов. Разработаны способы снижения гигроскопичности покрытий и вакуумная упаковка электродов. В материалах для сварки высокопрочных сталей содержание потенциального водорода необходимо сводить к минимуму. Температура прокалки электродов ограничивается 450 °C. Дальнейшее ее повышение приводит к диссоциации составляющих покрытия. В смесях минералов температура начала диссоциации может быть ниже, чем в исходных минералах.

Одним из главных источников поступления водорода является сухой остаток жидкого стекла. Регулируя модуль и вязкость жидкого стекла, можно существенно снизить потенциальное содержание

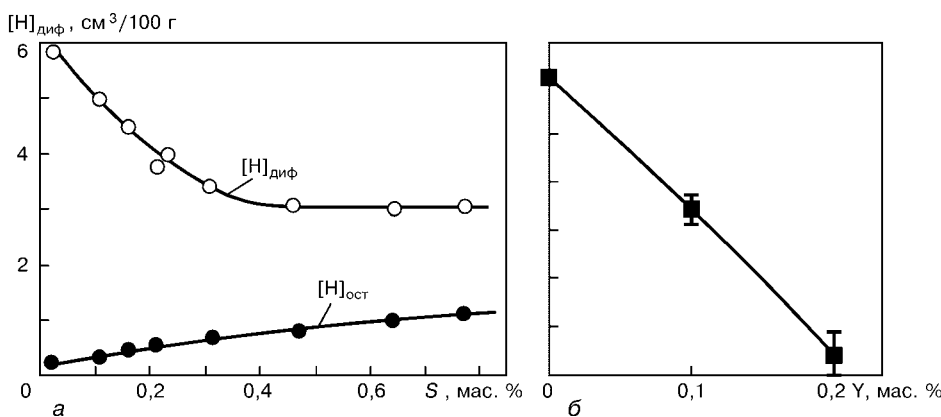


Рис. 15. Влияние содержания редкоземельных металлов S (а) и иттрия (б) на концентрацию диффузионного водорода в металле сварных швов [10, 11], выполненных сваркой в смеси 0,1 % $H_2 + Ar$

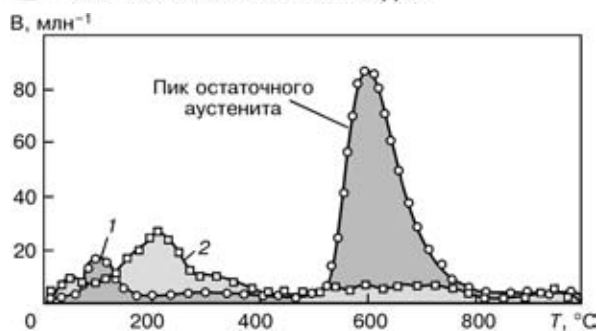


Рис. 16. Термодесорбционный анализ перераспределения водорода (В) в металле сварного шва, выполненного на ВПНЛ сталях, при фазовых превращениях [18]: 1 — охлаждение металла сварного шва на воздухе; 2 — то же в жидком азоте

водорода в покрытии электродов (флюсе). Значительное количество водорода выделяется из минералов при температуре, превышающей температуру прокалки электродов и флюсов. В этом случае для снижения концентрации водорода в металле шва предложено ряд металлургических способов, основанных на связывании водорода в атмосфере дуги в нерастворимые в жидкой стали гидроксил OH и фтористый водород HF . Расчеты показали, что введение в газовую фазу тетрафторида кремния SiF_4 более эффективно, чем молекулярного кислорода. Тетрафторид кремния образуется при взаимодействии CaF_2 с SiO_2 . Расчеты парциального давления SiF_4 для системы $\text{CaF}_2\text{--SiO}_2$ приведены в работе [19]. Здесь же содержатся экспериментальные данные о концентрации водорода в металле шва, наплавленном электродами с различным количеством CaF_2 и SiO_2 в покрытии. Наблюдается хорошая корреляция между парциальным давлением SiF_4 и концентрацией водорода. Еще более эффективным является путь концентрации водорода за счет введения в покрытие (флюс) и сердечник порошковой проволоки кремнефторидов.

Материалы для сварки ВПНЛ сталей. Элементный состав металла шва обычно выбирается исходя из требований создания равнопрочного сварного соединения. Важнейшая задача — обеспечение высокой хладостойкости металла швов при температурах до -60°C . Принято несколько систем легирования металла шва — Cr-Ni-Mn-Cu-Mo ; Mn-Ni-Ti ; Mn-Ni-Mo-Ti . Содержание этих элементов зависит от требуемой прочности и пластичности сварного соединения. Используется микролегирование бором и титаном. Применяется очень чистая по содержанию серы и фосфора сварочная проволока (0,01... 0,02 %), массовая доля углерода в ней составляет 0,04... 0,08 %. Содержание легирующих элементов и раскислителей, а также режимы сварки необходимо выбирать так, чтобы обеспечить массовую долю кислорода в металле шва в пределах 0,02... 0,04 %. Образующиеся в этом случае оксиды титана, например TiO , являются центрами зарождения игл феррита [20]. Структура игольчатого феррита благоприятна для получения металла шва, вязкого при низких температурах.

Взаимосвязь между химическим составом, структурой и свойствами металла швов, выполненных на ВПНЛ сталях, подробно рассмотрена

в работах [21, 22]. Характеристики некоторых электродов приведены в работах [23–28].

Для сварки используются высокоосновные агломерированные флюсы и электроды с покрытием основного вида. При сварке ВПНЛ сталей с массовой долей углерода 0,1... 0,2 % требуется предварительный подогрев изделий. Появление индуцированных водородом трещин чаще всего наблюдается в ЗТВ. Проблему создания соединений, не подверженных растрескиванию, пытаются решить путем разработки сталей с особо низким (до 0,02 мас. %) содержанием углерода и более высокой степенью легирования. При сварке конструкций из таких сталей индуцированные водородом холодные трещины будут образовываться в металле шва. Решение этой проблемы связано с разработкой надежных методов управления поведением водорода в сварных соединениях.

Благодаря фундаментальным исследованиям явлений обратимой водородной хрупкости, выполненным в ИЭС им. Е.О. Патона [15–17], был изучен механизм этого процесса на атомном уровне.

Направления дальнейших исследований можно сформулировать следующим образом:

- изучение гетерофазных взаимодействий, которые происходят при нагреве и плавлении электродов, флюсов, порошковых проволок;

- уменьшение концентрации водорода в сварных соединениях за счет уменьшения содержания соединений водорода в шлаковых системах и контроля плазменно-химических реакций в атмосфере дуги;

- увеличение сопротивляемости металла шва и ЗТВ водородному охрупчиванию;

- физическое и математическое моделирование поведения водорода в сварных соединениях;

- управление состоянием сварных соединений для предотвращения образования холодных трещин, в том числе путем создания «ловушек» водорода в металле шва для уменьшения концентрации диффузионного водорода и ограничения его массопереноса из металла шва в ЗТВ;

- развитие научных основ получения металла сварных швов и соединений с высокой прочностью, пластичностью и ударной вязкостью;

- совершенствование оборудования и технологии производства высококачественных сварочных материалов общего и специального назначения.

Электроды общего назначения. Сегодня основными сталями, которые используются в промышленности и строительстве в странах СНГ, являются низкоуглеродистые и низколегированные стали. На долю электродов общего назначения с рутиловым и ильменитовым покрытием приходится около 80 % выпускаемых электродов. Следует отметить, что *механические свойства* сварных соединений, выполненных этими электродами, в основном удовлетворяют требованиям отечественных, европейских и американских стандартов. Совершенствование этих электродов должно идти в направлении улучшения стабильности горения дуги, формирования швов, отделимости шлаковой корки, предупреждения пор и горячих трещин. Эти вопросы подробно рассмотрены в обзоре [29].



Введение легкоионизирующихся элементов в покрытие приводит к повышению концентрации положительных ионов в периферийной области дуги, уменьшению ее контрагирования и снижению работы выхода электронов из катода. В этом случае необходимая плотность электронов тока может быть достигнута при меньшей напряженности электрического поля у катода.

Отделимость шлаковой корки в значительной мере определяется процессами взаимодействия шлака с закристаллизовавшимся металлом сварочной ванны. На границе металл–шлак формируется тонкая прослойка, как правило, представляющая собой нестехиометрические оксиды или шпинели. Если значения параметров кристаллической решетки этих соединений близки параметрам решетки металла, то происходит химическое сцепление и эпитаксиальный рост шлаковой фазы, при этом отделимость шлака ухудшается. Регулировать этот процесс можно, изменяя активность кислорода в шлаке. В случае плохого формирования шва, наличия подрезов происходит механическое заклинивание шлака с ухудшением его отделимости.

Вопросы пористости подробно рассмотрены в работе [30]. Здесь показано, что пористость швов при сварке электродами этого типа вызвана водородом, растворенным в сварочной ванне. Концентрация водорода в сварочной ванне значительно выше равновесной, поэтому предупредить образование пор в этом случае можно путем регулирования межфазного натяжения на границе металл–газ. Весьма эффективно повышение окислительного потенциала металла, что позволяет снизить вероятность зарождения пузырьков газа. Еще одним способом предотвращения образования пор является управление скоростью роста пузырьков водорода за счет снижения содержания кремния в сварочной ванне.

Образование горячих (кристаллизационных) трещин в швах низкоуглеродистых и низколегированных сталей связано, как правило, с повышением содержания углерода и серы в сварочной ванне [31]. Источником серы является основной металл, сварочная проволока и компоненты покрытия. В отечественных массового применения сталях допускается более высокое содержание серы, чем в зарубежных (то же можно сказать и о сварочных проволоках). Предупредить образование горячих трещин в сварных швах можно, повысив массовую долю марганца в наплавленном металле до 0,6... 0,8 %.

Электроды с основным покрытием используются, как известно, для сварки ответственных конструкций из сталей различного типа. Проблемы улучшения сварочно-технологических свойств электродов и механических свойств сварных соединений были рассмотрены выше.

Одним из серьезных дефектов при сварке электродами с основным покрытием является «стартовая» пористость швов. Проведенные исследования показали, что появление такого дефекта связано с абсорбцией азота каплями электродного металла и сварочной ванны. При сварке под основными шлаками, содержащими фтористые соединения,

расплавленный металл капли и ванны, плохо защищенный шлаком, непосредственно контактирует с плазмой дугового разряда. В условиях термодинамического равновесия лимитирующим звеном в процессе абсорбции является диссоциация молекул газа у поверхности металла. При абсорбции газов из плазмы дугового разряда степень диссоциации газов определяется температурой плазмы.

Результаты проведенных исследований показали, что теплосодержание капель электродного металла зависит от тока и его полярности [19]. Во многих случаях температура капель превышает температуру максимальной растворимости газов в железе. Поэтому различие температуры капель в 200... 300 К при сварке плавящимся электродом при прямой и обратной полярности тока может оказать значительное влияние на абсорбцию газов. Наблюдаемое на практике более высокое содержание газов в металле в случае сварки на переменном токе при прямой полярности подтверждает это положение.

Абсорбция азота зависит от длины дуги. Уменьшение длины дуги за счет нанесения на торец электропроводных композиций и заострение торца электрода позволяют сократить длину дуги при отрыве электрода в момент зажигания. Уменьшение абсорбции азота можно достичь путем снижения межфазного натяжения на границе шлак–металл для улучшения шлаковой защиты расплавленного металла на стадии капли и ванны, повышения температуры капель и достижения мелкокапельного или струйного переноса металла за счет перехода от дугового разряда в газах к парогазовому разряду. Эти же явления наблюдаются при взаимодействии металла с водородом. Физико-химические аспекты этого процесса рассматривались выше.

Важнейшие вопросы, требующие решения при разработке электродов с основным покрытием, следующие: улучшение сварочно-технологических свойств; повышение ударной вязкости сварных соединений за счет снижения содержания вредных примесей и микролегирования; уменьшение концентрации водорода в металле швов благодаря предупреждению абсорбции влаги при использовании негигроскопичных видов сырья; применение высокомодульных низковязких жидких стекол; оптимизация температуры прокатки и обеспечение равномерной температуры и влажности в сушильно-прокаточных печах.

Очень важное значение имеют исследования, направленные на *улучшение гигиенических характеристик* электродов. Результаты работ, выполненных в ИЭС им. Е. О. Патона в сотрудничестве с гигиенистами, токсикологами, химиками, биофизиками, обобщены в работе [32].

Главные положения этих исследований могут быть сформулированы следующим образом [33]: основной токсичный ингредиент при сварке плавлением — твердая составляющая сварочного аэрозоля (ТССА);

ТССА образуется в результате испарения металлургического и шлакового расплавов, особенно ин-



тенсивно испаряются элементы с высокой упругостью пара;

при плавлении электродов с рутиловым и ильменитовым покрытиями испарение марганца из металлического расплава на порядок выше, чем из шлакового;

испарение элементов и соединений из шлака зависит от его основности, с увеличением последней интенсивно испаряются соединения щелочных и щелочноземельных металлов;

улучшить санитарно-гигиенические характеристики электродов с рутиловым или ильменитовым покрытиями можно путем снижения основности шлака и межфазного натяжения на границе металл–шлак;

перегрев капель электродного металла, сварочной ванны и шлака способствует увеличению количества образующегося ТССА, снизить температуру расплавленного металла и шлака можно за счет повышения коэффициента массы покрытия и увеличения в нем содержания железного порошка;

при плавлении электродов с основным покрытием, помимо испарения марганца (хрома), важное значение имеет газовая составляющая аэрозоля, которая представляет собой фтористые соединения щелочных и щелочноземельных металлов, а также HF и SiF_4 ; выделение этих газов нужно регулировать путем управления активностью оксида кремния в шлаке и содержанием влаги в покрытии;

предельно-допустимая концентрация вредных веществ в ТССА установлена без учета особенностей строения, состава и размера его частиц; комбинированное воздействие на организм группы элементов или сложных соединений может ослаблять или усиливать влияние наиболее токсичных составляющих сварочного аэрозоля;

необходимо продолжать и развивать работы по моделированию и прогнозированию биологического воздействия ТССА на организм человека с учетом результатов комплексных исследований, выполненных в 1980–1990-х гг.

Сварочные проволоки. *Проволоки сплошного сечения.* В этом разделе рассматриваются стальные сварочные проволоки, которые используются для изготовления покрытых электродов, применяемых при механизированной дуговой сварке в защитных газах и под флюсом, электрошлаковой сварке и в качестве присадочных прутков при сварке неплавящимся электродом.

Сталь для проволок выплавляется в кислородных конверторах, мартеновских и электродуговых печах и разливаема либо в слитки, либо в заготовки на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). В ряде случаев сталь для изготовления проволок подвергается специальной обработке с целью снижения содержания вредных примесей, неметаллических включений и дегазации металла. Слитки (заготовки) прокатываются по традиционной технологии. Катаная проволока подвергается холодному деформированию волочением. Требования к проволоке регламентируются стандартом ГОСТ 2246–70, который уже в значительной степени устарел.

Дальнейшее развитие проволок сплошного сечения будет идти по пути совершенствования их

составов для улучшения сварочно-технологических, металлургических характеристик процесса сварки и улучшения свойств сварных соединений, а именно: минимизация содержания вредных примесей (серы, фосфора, мышьяка, сурьмы и др.); микролегирование титаном, стронцием, бором, редкоземельными металлами и др.; уменьшение массовой доли углерода в некоторых марках высоколегированных проволок; оптимизация систем легирования; снижение содержания газов в проволоке; повышение однородности заготовки и уменьшения допустимых отклонений содержания элементов от номинального состава. Предпочтительны заготовки, полученные из конверторной стали на установках МНЛЗ. Необходимо совершенствовать технологии выплавки стали и ее дальнейшей обработки.

Необходимо обеспечивать высокую пластичность заготовок для повышения надежности процесса волочения, требуемые механические свойства проволок, высококачественную и очищенную их поверхность без надрывов и задигов, отсутствие овальности, минимальные отклонения размеров заготовок от заданного.

Порошковые проволоки. Промышленное производство порошковых проволок в СССР было создано в 1950–1960-х гг. и с тех пор интенсивно развивалось. Порошковые проволоки эффективно использовались в ряде отраслей промышленности и строительства. Уровень разработок был достаточно высок, о чем свидетельствуют полученные многочисленные авторские свидетельства и патенты, а также продажа наших лицензий за рубежом и организация производства в ряде стран — США, ФРГ, Франции, Японии, Венгрии, Болгарии и др. Характеристики этих проволок и особенности технологии сварки приведены в каталоге [34].

Развал экономики в 1990-е годы привел к падению уровня производства. Сейчас порошковые проволоки изготавливаются на устаревших мощностях объединений «Северсталь» в России и «ДнепрOMETIZ» в Украине. Сохранившееся оборудование эксплуатируется на износ. Производятся проволоки, разработанные еще в 1970–1980-х гг. Между тем, это прогрессивное направление сварочной техники успешно развивается в таких странах, как США, Япония, Франция, ФРГ, Южная Корея, Швеция, Голландия, Австрия и др. Там созданы новые марки проволок, расширены области их применения, совершенствуется оборудование и технология производства. Например, «Lincoln Electric», «Hobart», ESAB, «SAF-Oerlikon», «Thyssen Böhler», «Kobelko», «Elga» и другие фирмы производят десятки марок порошковых проволок для сварки в углекислом газе и смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$, а также самозащитные проволоки и проволоки для сварки под флюсом. Эти типы сварочных материалов предназначены для сварки низкоуглеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высокопрочных, жаропрочных, нержавеющей сталей, используемых в судостроении, машиностроении, энергетике, горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях [33–39].



Необходимо отметить, что в указанные годы выполнялись разработки порошковых проволок в ряде организаций Украины и России. В ИЭС им. Е. О. Патона были созданы порошковые проволоки нового поколения [40] в соответствии с европейским стандартом EN 758 и ГОСТ 26271.

Для сварки углеродистых и низколегированных сталей массового назначения разработаны проволоки марок ПП-АН59, ПП-АН63, ПП-АН69, для сварки ВПНЛ сталей — ПП-АН61, ПП-АН67. Эти проволоки имеют трубчатую конструкцию и диаметр от 1,2 до 2,0 мм. Их характеристики приведены в табл. 2 и 3.

Швы, выполненные сваркой с использованием новых проволок, отличаются хорошей формой, малым количеством брызг и аэрозоль. При расплавлении проволоки ПП-АН59 и ПП-АН63 рутилового типа образуют быстротвердеющие короткие шлаки. Они пригодны для сварки во всех пространственных положениях. Для автоматизированной и роботизированной сварки в углекислом газе или смеси $Ar + CO_2$, применяемой в судостроении и машиностроении, разработана проволока ПП-АН70 с металлическим сердечником. Производительность наплавки при использовании этой проволоки на 20 % выше проволок сплошного сечения того же диаметра. Эта проволока имеет значительно более высокие сварочно-технологические свойства по сравнению с проволокой Св-08Г2С.

В ИЭС им. Е. О. Патона созданы самозащитные порошковые проволоки с фторидно-основным сердечником [41]. Благодаря такой композиции сердечника снижается содержание кремния и алюминия в металле швов и обеспечивается требуемая ударная вязкость сварных соединений при низких температурах.

ЦНИИКМ «Прометей» проводит работу по созданию газозащитных порошковых проволок марок 48-ПП-8Н, 48-ПП-11Р, 48-ПП-12Р диаметром 1,2... 1,6 мм для сварки низкоуглеродистых ВПНЛ сталей с пределом текучести от 400 до 620 МПа [42]. В настоящее время технология сварки данными проволоками проходит опытно-промышленную проверку на судостроительных заводах России, а также совершенствуется технология производства проволок. В ОАО «НИИМонтаж» созданы самозащитные порошковые проволоки для сварки во всех пространственных положениях, обеспечивающие получение металла шва с пределом текучести до 490 МПа [43].

Важнейшее значение в дальнейшем развитии порошковых проволок имеет прежде всего создание современного высокопроизводительного оборудования и технологии производства порошковых проволок малого диаметра. В последние годы рекламируется способ изготовления порошковых проволок методом прокатки-волочения. На поверхности изготовленных по этой технологии проволок остается тончайший слой волочильной смазки, бла-

Таблица 2. Механические свойства металла сварных швов, выполненных порошковыми проволоками

Марка проволоки	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Температура (°С), обеспечивающая требуемый уровень ударной вязкости*	Характеристика шлака
ПП-АН59	420	550...600	24...28	-20	Быстротвердеющий на рутиловой основе
ПП-АН63	420	520...560	25...29	-20	То же
ПП-АН69	420	510...540	28...33	-30	Основной
ПП-АН61	460	550...630	23...25	-40	На рутиловой основе
ПП-АН67	560	700...760	18...20	-30	Основной

*Работа удара составляла не менее 47 Дж.

Таблица 3. Химический состав металла (мас. %), наплавленного порошковыми проволоками*

Марка проволоки	C	Mn	Si	Ni	[H] _{диф} (см ³ /100 г) в наплавленном металле
ПП-АН59	0,05...0,08	1,1...1,5	0,3...0,6	0,4...0,6	5...8
ПП-АН63	0,04...0,07	1,2...1,6	0,3...0,5	—	5...8
ПП-АН69	0,07...0,09	1,3...1,5	0,3...0,4	—	4...7
ПП-АН61	0,03...0,07	1,1...1,5	0,3...0,5	1,3...1,7	3...5
ПП-АН67	0,04...0,09	1,1...1,3	0,3...0,4	1,1...1,3	3...5

*Массовая доля хрома и молибдена составляет 0,2... 0,4 %.

годаря которому в атмосферу дуги при механизированной сварке не вносится значительное количество водорода и обеспечивается хорошая подача проволоки по гибким шлангам.

В ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ОЗСМ ИЭС и заводом тяжелого машиностроения в Алматы было создано современное оборудование и технология изготовления порошковых проволок малого диаметра. Комплект оборудования для основных операций производства оснащен современными средствами объективного управления, документирования технологических операций и диагностики [44]. Новое оборудование с проектной производительностью 1000 т в год было поставлено на заводы Китая. Достигнутая производительность превысила проектную в 1,5 раза. Таким образом, созданы все условия для производства новых проволок на заводах России и Украины. Нужен серьезный анализ рынка и соответствующее финансирование этого проекта.

Разработаны технология и оборудование для производства порошковых проволок диаметром 9... 13 мм для инъекционной металлургии. Промышленное производство таких проволок налажено на фирме «Арксел» и на ОЗСМ ИЭС. За последние годы по этой технологии на заводах «Азовсталь», им. Ильича и других промышленных предприятиях обработаны миллионы тонн сталей различного назначения, при этом было достигнуто значительное улучшение их качества. Выпускаемые стали сертифицированы большинством страховых агентств



мира. Применение порошковых проволок имеет большое будущее. У специалистов Украины и России достаточно знаний и опыта, чтобы возродить современное производство этих материалов.

Сварочные флюсы. Способ сварки под флюсом, созданный в предвоенные годы в ИЭС им. Е. О. Патона, получил широкое распространение в нашей стране в судостроении, машиностроении, при строительстве мостов, производстве строительных металлоконструкций и др. Высокий уровень научных разработок, прогрессивные металлургические решения, хорошо организованное промышленное производство, низкая стоимость энергоносителей обеспечили массовый выпуск дешевых высококачественных плавящихся флюсов. По объемам производства плавящихся флюсов СССР занимал первое место в мире. Применение сварки под флюсом вызвало революционные преобразования во многих отраслях промышленности и в строительстве.

Сейчас производство сварочных флюсов в развитых странах стабилизировалось. Выпуск материалов для сварки под флюсом составляет 5... 10 % общего объема сварочных материалов. Металлургические и технологические особенности сварки под флюсом описаны во многих специальных изданиях [31, 45–49].

Снижение потребления сталей вызвало, естественно, многократное сокращение производства плавящихся флюсов и прежде всего энергоемкого производства флюсов в электропечах.

Работы последних лет были посвящены снижению содержания вредных примесей во флюсах, поиску современных систем флюс-проволока, обеспечивающих необходимые механические свойства сварных соединений, снижение содержания водорода во флюсах [49–53].

Как указывалось выше, в мире наблюдается рост производства ВПНЛ сталей. Высокие требования к механическим свойствам сварных соединений очень трудно выполнить, применяя плавящиеся флюсы. Проведенные исследования показали, например, что при сварке легированной проволокой, полученной вакуумно-индукционной плавкой под плавящим флюсом ФИМС-20П ВПНЛ стали типа 12ХН2МДФ, применяемой для изготовления ответственных конструкций, работающих на континентальном шельфе, требуемый уровень ударной вязкости обеспечивается лишь при температуре испытаний $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а под агломерированным флюсом — при $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [54].

В странах Западной Европы в последние десятилетия плавящиеся флюсы повсеместно были заменены агломерированными, на долю которых приходится 95 % объемов потребления сварочных флюсов [55]. Это объясняется рядом металлургических возможностей агломерированных флюсов: регулирование кремневосстановительного процесса, рафинирование и микролегирование сварочной ванны, высокая прочность и ударная вязкость сварных соединений. Применение сварочных флюсов обеспечивает снижение в несколько раз энергоемкости производства, способствует уменьшению вредных выбросов токсичных пыли и газов в ат-

мосферу. Информация о современных агломерированных флюсах, а также описание технологии их производства содержатся в работах [54, 56–58].

В связи с развитием производства современных труб, судостроения, энергетического и химического машиностроения, строительства мостов в России и Украине, несомненно, будут возрастать объемы применения ВПНЛ сталей. Уже сейчас необходимо создать промышленные образцы оборудования и технологии производства этих флюсов, сертифицировать готовые разработки, проводить маркетинговую работу, организовывать экспорт продукции.

Заключение. Усилия исследователей и разработчиков необходимо сконцентрировать на поисках новых типов сырья и создании следующих новых сварочных материалов:

- электродов общего назначения с покрытиями рутилового и ильменитового видов с отличными сварочно-технологическими и гигиеническими свойствами;

- электродов нового поколения для сварки ВПНЛ сталей для судостроения, машиностроения, строительства;

- электродов общего назначения с покрытием основного вида, обеспечивающих ударную вязкость сварных соединений не ниже 60 Дж/см^2 при температуре испытаний $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- электродов для сварки монтажных стыков современных магистральных трубопроводов;

- проволок и агломерированных флюсов для сварки ВПНЛ сталей с пределом текучести до 800 МПа;

- порошковых проволок с рутиловым и основным сердечником и проволок с металлическим сердечником малого диаметра для сварки в защитных газах во всех пространственных положениях;

- универсальных самозащитных порошковых проволок;

- специальных сварочных материалов различного назначения.

Приоритетными должны стать исследования и разработки нового высокопроизводительного оборудования и технологий изготовления сварочных материалов, систем аналитического сопровождения и управления качеством продукции.

В первой четверти XXI века сталь останется основным конструкционным материалом. По-прежнему будут широко использоваться низкоуглеродистые и низколегированные стали. Их качество, механические свойства и свариваемость будут улучшаться за счет снижения вредных примесей, поиска новых систем легирования, термической обработки, повышения коррозионной стойкости в различных средах. Опережающими темпами будут создаваться новые типы ВПНЛ сталей, в том числе с особо низким содержанием углерода, теплоустойчивых сталей, сталей для конструкций, работающих при низких климатических температурах, а также криогенной техники, высоколегированных сталей различного назначения. Дальнейшее развитие получают алюминиевые высокопрочные сплавы, легированные титановые сплавы и другие виды новых конструкционных материалов.

Дуговая сварка по-прежнему будет занимать лидирующее положение среди существующих спо-



соединения сварки плавлением. Прогресс в создании и производстве сварочных материалов зависит от тенденции развития конструкционных материалов. Основные решения в области создания новых сварочных материалов будут связаны с оптимизацией систем легирования металла шва в зависимости от структуры и свойств основного металла, поиска путей уменьшения содержания водорода, азота и других вредных примесей в металле швов, разработкой эффективных материалов и технологий, позволяющих повысить прочность и пластичность сварных соединений, снизить температуры предварительного подогрева, предупредить образование различных типов трещин, в том числе и индуцированных водородом. Будет производиться поиск новых шлаковых систем сердечников порошковых проволок, электродных покрытий и флюсов. Будут совершенствоваться металлургические и сварочно-технологические свойства электродов, флюсов, проволок сплошного сечения и порошковых, защитных газов с целью снижения пористости, предупреждения кристаллизационных трещин, улучшения провара, формы швов, отделимости шлаковой корки, стабильности горения дуги, снижения разбрызгивания.

Дальнейшее развитие получит математическое и физическое моделирование основных металлургических процессов дуговой сварки. Будут созданы компьютеризированные банки данных и база знаний, экспертные системы по сварочным материалам различного назначения.

В промышленно развитых странах будет и впредь снижаться доля выпуска покрытых электродов в общем объеме производства сварочных материалов и увеличиваться изготовление проволок для сварки в защитных газах сплошного сечения и особенно порошковых (с флюсовым и металлическим сердечниками), при этом доля производства сварочных флюсов сохранится. В развивающихся странах по-прежнему будет широко применяться дуговая сварка покрытыми электродами. Исследователям предстоит работать над снижением материалоемкости и энергоемкости сварочных материалов как в процессе их производства, так и применения. Преимущественно будут развиваться универсальные газозащитные порошковые проволоки малого диаметра и агломерированные флюсы, эффективные при сварке особо ответственных конструкций. Большое внимание также будет уделено созданию электродов, флюсов и проволок минимально адсорбирующих влагу, обеспечивающих хорошее повторное зажигание дуги, легкую их «подаваемость» сварочными полуавтоматами и автоматами, минимальное выделение сварочных аэрозолей.

В дальнейшем следует также работать в направлении совершенствования и повышения надежности оборудования и технологии производства сварочных материалов, изыскания сырьевых материалов стабильного качества, автоматизации аналитического контроля и технологического сопровождения производства. Будет улучшаться качество сварочных материалов, их товарный вид, упаковка и транспортировка. Следует совершенство-

вать подготовку специалистов различного профиля — исследователей и разработчиков сварочных материалов, а также технологов-производственников, высококвалифицированных техников и рабочих.

Совершенствование экономической системы, повышение конкуренции со стороны стран Запада и Востока заставит резко увеличить темпы экономико-технических преобразований и будет способствовать подъему производства сварных конструкций и сварочных материалов на новый уровень.

1. *Doria J. G.* Welding consumables: Market trends. — Istanbul: European Welding Association, 2001. — 20 p.
2. *Тихошов А.* Мировая война сталеваров // Известия. — 2002. — 19 сент. — С. 6.
3. *Игнатченко П. В., Бугай А. И.* Состояние производства сварочных материалов на пороге нового тысячелетия // Сб. докл. II Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Дуговая сварка. Материалы и качество на рубеже XXI века», г. Орел, 4–8 июня 2001 г. — Орел, 2001. — С. 81–83.
4. *The Japan Welding News for the World.* — 2001. — 5, № 17. — 10 p.
5. *Nassau L. van.* Expert report stick electrodes 2000: Stick electrodes. — Istanbul: European Welding Association, 2001. — 9 p.
6. *Morrison W.B.* Past and future development of HSLA steels // The 4th Intern. conf. «HSLA steels'2000», Oct. 30–Nov. 2, 2000, Xi'an, China Beijing: Metallurg Industry press, 2000. — P. 11–19.
7. *Перспективы и проблемы материаловедения в создании сварочных материалов и технологий сварки при строительстве уникальных ледостойких платформ* / И. В. Горынин, В. А. Малышевский, Ю. Л. Легостаев и др. // Сучасне матеріалознавство: XXI сторіччя / Под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1998. — С. 84–94.
8. *Yurioka N., Suzuki H.* Hydrogen assisted cracking in C-Mn and low alloy steel weldments // Intern. Materials Rev. — 1990. — 35, № 4. — P. 217–249.
9. *Yurioka N.* Predictive methods for prevention and control of hydrogen assisted cold cracking. — S. 1, [1999]. — 16 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-1938–99).
10. *Мароэф И., Олсон Д. Л., Эдварс Г. Р.* Водородное растрескивание сварных изделий из высокопрочной стали // Сварка и родственные технологии — в XXI век. — Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1998. — С. 166–176.
11. *Походня И. К.* Проблемы сварки высокопрочных низколегированных сталей // Сучасне матеріалознавство: XXI сторіччя / Под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1998. — С. 31–69.
12. *Shvachko V. I., Stepanyuk S. N., Pokhodnya I. K.* The evolution methods of HSLA steels susceptibility to hydrogen embrittlement // The 4th Intern. conf. «HSLA steels'2000», Oct. 30–Nov. 2, 2000, Xi'an, China Beijing: Metallurg. Industry press, 2000. — P. 453–458.
13. *Gedeon S. A., Eagar T. W.* Assessing hydrogen-assisted cracking fracture modes in high-strength steel weldments // Welding J. — 1990. — № 6. — P. 213.
14. *Gedeon S. A., Eagar T. W.* Thermomechanical analysis of hydrogen absorption in welding // Ibid. — 1990. — № 7. — P. 264.
15. *Походня И. К., Степанюк С. Н., Швачко В. И.* Роль температуры при водородном растрескивании конструкционных сталей и сварных соединений // Автомат. сварка. — 2000. — № 2. — С. 3–8.
16. *Швачко В.И.* Оборотно воднева крихкість ОЦК-сплавів заліза — конструкційних сталей: Автореф. дис. ... д-ра фіз.-мат. наук / ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут». — Харків, 2002. — 35 с.
17. *Степанюк С. М.* Оборотно воднева крихкість при зварюванні високоміцних низьколегованих сталей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ІЕС ім. Е. О. Патона. — К., 2001. — 18 с.
18. *Retained austenite as a hydrogen trap in steel welds* / Y. D. Park, I. S. Maroef, A. Landau, D. L. Olson // Welding J. — 2002. — February. — P. 19–35.
19. *Походня И. К.* Математическое моделирование процессов взаимодействия металла с газами при дуговой сварке // Автомат. сварка. — 2003. — № 2. — С. 3–10.



20. *Abson D. J.* Microstructure and mechanical properties of vertical-up C-Mn-Ni steel semi-automatic weld metal // *Welding Inst. Res. Rep.* — 1987. — N 7. — P. 1–30.
21. *Барышников А. П., Грищенко Л. В., Петрыкин В. И.* Сварка высокопрочных хладостойких сталей в среде защитных газов и покрытыми электродами // *Прогрессивные материалы и технологии.* — 1996. — № 2. — С. 207–220.
22. *Мальшевский В. А., Грищенко Л. В., Барышников А. П.* Сварочные материалы и технология сварки высокопрочных сталей // *Вопр. материаловедения.* — 1999. — № 3 (20). — С. 69–77.
23. *Пути* повышения сварочно-технологических характеристик электродов с покрытием основного типа, предназначенных для сварки высокопрочных и хладостойких сталей // *В. В. Гежа, А. П. Барышников, Л. В. Грищенко, М. Г. Шаранов* // Там же. — 2000. — № 1 (21). — С. 69–77.
24. *Электроды АНО-ТМ* для сварки морских стационарных платформ // *И. К. Походня, С. С. Милченко, В. Н. Горпенюк и др.* // *Технология судостроения.* — 1990. — № 9. — С. 77–79.
25. *Явдошн И. Р.* Новые электроды ИЭС им. Е. О. Патона для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей // *Сб. докл. I Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Состояние и перспективы развития сварочных материалов в странах СНГ», Краснодар, 23–26 июня 1998 г.* — М., 1998. — С. 135–137.
26. *Марченко А. Е., Скорина Н. В.* Электроды типа Э70-Э85 для сварки высокопрочных хладостойких сталей // Там же. — С. 30–33.
27. *Экономнолегированные* электроды типов Э70-Э85 для сварки высокопрочных хладостойких сталей // *Л. М. Лобанов, Л. И. Миходуй, В. Д. Позняков, О. Л. Миходуй* // Там же. — С. 28–29.
28. *Электроды* для сварки конструкций, работающих при низких температурах, и необходимость улучшения их технологических свойств // *В. А. Мальшевский, Л. В. Грищенко, А. П. Барышников и др.* // Там же. — С. 175–176.
29. *Походня И. К.* Металлургия сварки, состояние и проблемы // *Сварка и родственные технологии — в XXI век.* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1998. — С. 227–245.
30. *Походня И. К.* Газы в сварных швах. — М.: Машиностроение, 1972. — 256 с.
31. *Фрумин И. И.* Автоматическая износостойкая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 421 с.
32. *Vojtkevich V.* Welding fumes: Special Report. — Abington, 1995. — 110 p.
33. *Явдошн И. Р., Походня И. К.* Образование сварочного аэрозоля при дуговой сварке плавлением и его гигиеническая оценка // *Защита окружающей среды, здоровье и безопасность в сварочном производстве: Тр. I Междунар. науч.-практ. конф.* — Одесса: Астропринт, 2002. — С. 38–56.
34. *Порошковые* проволоки для электродуговой сварки: Каталог-справочник // *Под ред. И. К. Походни.* — Киев: Наук. думка, 1980. — 180 с.
35. *Altemuhle B.* The use of rutile cored wires for welding high-strength steel in crane fabrication // *Svetsaren.* — 2000. — № 3. — P. 24–27.
36. *Ferree S. E., Sierdzinski M. S.* Stainless steel metal cored wires for welding automotive exhaust systems // *Ibid.* — P. 15–18.
37. *Blome K.* Filarc PZ 6105R. The robot-friendly cored wire // *Ibid.* — № 1. — P. 22–24.
38. *Farrow N., Studholme S.* Sub-merged arc welding with fused flux and basic cored wire for low-temperature applications // *Ibid.* — P. 33–36.
39. *Fabshield 2125* // *Welding J.* — 1990. — № 7. — P. 3–5.
40. *Шлепаков В. Н., Рак П. И., Косенко П. А.* Порошковые проволоки нового поколения для сварки в среде защитных газов // *Сб. докл. II Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Дуговая сварка. Материалы и качество на рубеже XXI века», г. Орел, 4–8 июня 2001 г.* — Орел, 2001. — С. 57–59.
41. *Наумейко С. М.* Регулирование сварочно-технологических свойств порошковых проволок по данным физико-химических свойств шлаков // Там же. — С. 102–106.
42. *Проблемы* изготовления и опыт внедрения в производственных условиях порошковых проволок малых диаметров // *А. В. Баранов, Л. В. Грищенко, А. П. Барышников и др.* // Там же. — С. 62–63.
43. *Мойсов Л. П., Исаенко П. Р.* Проволока самозащитная порошковая ППТ-13 // Там же. — С. 61.
44. *Шлепаков В. Н.* Автоматизированное оборудование для производства порошковой проволоки // Там же. — С. 64–67.
45. *Низкокремнистые* флюсы для автоматической сварки и наплавки // *И. И. Фрумин, Д. М. Рабкин, В. В. Подгаецкий и др.* // *Автомат. сварка.* — 1956. — № 1. — С. 3–20.
46. *Любовский К. В.* Металлургия сварки плавлением. Справочник по сварке // *Под ред. Е. В. Соколова.* — Т. 1. — М.: Машгиз, 1960. — С. 51–138.
47. *Сварочные* флюсы и шлаки // *Сб. докл. междунар. семинара, Николаев, сент. 1974 г.* // *Под ред. Б. Е. Патона.* — Киев: Наук. думка, 1974. — 164 с.
48. *Подгаецкий В. В., Кузьменко В. Г.* Сварочные шлаки. — Киев: Наук. думка, 1988. — 252 с.
49. *Потанов Н. Н.* Состояние и перспективы развития флюсового производства // *Свароч. пр-во.* — 1997. — № 9. — С. 34–36.
50. *Флюс,* ограничивающий содержание водорода в сварном шве // *И. А. Гончаров, В. С. Токарев, А. П. Пальцевич, В. Г. Кузьменко* // *Сб. докл. I Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Состояние и перспективы развития сварочных материалов в странах СНГ», Краснодар, 23–26 июня 1998 г.* — М., 1998. — С. 164–167.
51. *Гончаров И. А., Пальцевич А. П., Токарев В. С.* О новом подходе к предупреждению пористости при сварке под плавными флюсами // Там же. — С. 191.
52. *Кузьменко В. Г.* Термодинамічні та структурні аспекти вибору складів флюсів для електродугового зварювання: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук // *ІЕЗ ім. Е. О. Патона.* — Київ, 2002. — 33 с.
53. *Гончаров І. О.* Розробка низьководневих зварювальних флюсів марганцевосилікатного типу: Автореф. дис. ... канд. техн. наук // *ІЕЗ ім. Е. О. Патона.* — Київ, 2002. — 18 с.
54. *Походня И. К.* Сварка и родственные процессы на выставке в Эссене. Сварочные материалы // *Автомат. сварка.* — 2002. — № 1. — С. 29–32.
55. *Результаты* сравнительных испытаний плавящихся и керамических флюсов, применяемых при сварке стали 12ХН2МДФ // *И. К. Походня, Д. М. Кушнерев, С. Д. Устинов и др.* // Там же. — 1987. — № 11. — С. 61–64, 68.
56. *Походня И. К., Головкин В. В.* Флюсы для сварки низколегированных высокопрочных сталей, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона // *Сварщик.* — 1999. — № 1. — С. 8–9.
57. *Агломерированные* флюсы для автоматической сварки высокопрочных и хладостойких сталей и технология их производства, разработанные ЦНИИКМ «Прометей» // *А. В. Баранов, Л. В. Грищенко, А. П. Барышников и др.* // *Сб. докл. II Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Дуговая сварка. Материалы и качество на рубеже XXI века», г. Орел, 4–8 июня 2001 г.* — Орел, 2001. — С. 109–110.
58. *Лакомский В. И.* Плазменно-дуговой переплав // *Под ред. Б. Е. Патона.* — Киев: Техніка, 1974. — 336 с.

Data are presented on modern production and consumption of steel in different regions of the world. Advance of mechanical engineering, shipbuilding, construction and other industries will require reduction of the weight of welded structures, improvement of their reliability and fatigue life, and lowering of power consumption in welding operations. The above problems can be solved by using high-strength low-alloyed (HSLA) steels in critical structures. Data are given on the status of metallurgy and technology of welding HSLA steels in Russia and Ukraine. Problems of welding HSLA steels and tendencies of their development are analysed, and areas of further research are outlined. Level of development of general-purpose consumables is considered and recommendations on their improvement are given.

Поступила в редакцию 15.11.2002



ВЫСОКОВАНАДИЕВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ ИНСТРУМЕНТОВ

Е. Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ, И. А. РЯБЦЕВ, Г. М. ГОРДАНЬ, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены структура, твердость и износостойкость двух групп высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов на железной основе с различным содержанием хрома (5...7 и 14...17 %). Установлено, что в высокоуглеродистых высокованадиевых сплавах наивысшую износостойкость при абразивном изнашивании имеют материалы с мартенситной структурой с небольшим количеством остаточного аустенита и с дисперсными, равномерно распределенными карбидами ванадия и карбидами типа Me_2C_6 .

Ключевые слова: высокованадиевые высокоуглеродистые сплавы, порошки для наплавки, плазменно-порошковая наплавка, износостойкость

В различных отраслях промышленности существует необходимость резки неметаллических материалов — дерева, бумаги, картона, кожи и других материалов растительного или животного происхождения. Работоспособность инструментов для резки неметаллических материалов прежде всего зависит от стойкости режущих кромок против выкрашивания и абразивного изнашивания. В некоторых случаях, например, у ножей промышленных мясорубок, большую роль играет антикоррозионная стойкость их материала. Выкрашивание режущих кромок можно предотвратить, если металл, из которого изготовлен нож, будет иметь мелкозернистую структуру с дисперсной, равномерно распределенной упрочняющей карбидной фазой. Вместе с тем, доля карбидной фазы в структуре металла должна быть как можно большей, поскольку от этого зависит абразивная износостойкость инструментальных сталей и сплавов. Антикоррозионную стойкость ножей при сохранении высокой твердости можно обеспечить путем легирования хромом (более 12 %) [1].

В настоящее время для экономии дорогостоящих инструментальных сталей при изготовлении различного рода инструментов, в том числе ножей холодной и горячей резки различных материалов, достаточно широко применяется наплавка [2]. В этом случае корпус инструмента изготавливается из относительно дешевой конструкционной стали, а его рабочие кромки или рабочие поверхности — из инструментальной стали.

Основными легирующими элементами для инструментальных сталей и сплавов являются вольфрам, молибден и хром, которые при наплавке образуют сравнительно крупные (до 50 мкм) карбиды. Именно это приводит к выкрашиванию рабочих кромок ножей. В отличие от указанных элементов ванадий, образующий очень мелкие и в то же время твердые и износостойкие карбиды, является весьма перспективным легирующим элементом для

инструментальных сталей и сплавов, предназначенных для наплавки инструментов для холодной резки неметаллических материалов [3–5].

В электродных и присадочных материалах для дуговой наплавки применению ванадия в качестве легирующего элемента препятствует его способность к образованию шпинелей, в результате чего затрудняется отделимость шлаковой корки. По этой причине массовую долю ванадия в порошковых проволоках для дуговой наплавки инструментальных сталей ограничивают 0,5 % [2]. Более широкие возможности по легированию ванадием наплавленного металла открываются при использовании плазменно-порошковой наплавки в инертных защитных газах.

С целью создания принципиально нового класса наплавочных материалов для ножей холодной резки неметаллических материалов исследовали сплавы на основе железа в виде порошков с расчетной массовой долей ванадия до 20 % и углерода до 4,5 %. Порошки для наплавки расплывались азотом.

В первой группе порошков из сплавов № 1–3 (таблица), предназначенных для наплавки инструментов для резки неметаллических материалов, не обладающих коррозионностойкими свойствами, расчетное содержание хрома составляло 5,0...6,5 %. Кроме того, в этой группе сплавов изменяли содержание ванадия примерно от 10 до 20, а углерода — от 2,6 до 4,2 %. Во второй группе порошков (№ 4–6), которые предполагается использовать для наплавки ножей, обладающих повышенными антикоррозионными свойствами, массовая доля ванадия равнялась 14...17 %, а массовая доля хрома и углерода в каждом из этих сплавов находилась на одном уровне (примерно 15,0 и 4,5 %).

Для инструментальных сталей очень важно выбрать оптимальное соотношение содержания углерода и карбидообразующих элементов. В зависимости от стехиометрического состава карбидов на каждый процент ванадия в стали требуется следующая массовая доля углерода: V_4C_3 — 0,175 %; V_6C_5 — 0,196 %; VC — 0,236 %. Для обеспечения наилучшего сочетания свойств сплава желательно, чтобы отношение ванадия к углероду в нем на-



Химический состав, твердость и износ исследованных высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов на основе железа

№ сплава	Массовая доля элементов, %							Твердость, HRC	Износ, мг
	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Ni		
1	2,59	0,82	0,98	5,50	10,30	1,30	—	60...63	14,40
2	3,70	0,76	1,14	5,17	13,40	1,02	—	55...58	5,60
3	4,23	1,07	1,15	6,43	20,20	1,30	—	60...62	4,40
4	4,25	1,76	1,43	16,72	15,18	1,97	—	50...53	7,65
5	4,45	1,01	0,64	16,03	14,66	2,00	1,08	60...62	6,42
6*	4,68	1,00	0,80	14,15	14,91	2,10	1,30	55...58	6,42

* В сплаве № 6 содержание ниобия составляет 1,05 %.

ходилось в пределах 3,5...4,0 [6]. При наличии в стали других карбидообразующих элементов массовая доля углерода должна быть такой, чтобы ее было достаточно для образования соответствующих карбидов и упрочнения матрицы.

Хром и молибден, не только участвуют в образовании карбидов, но и делают сплавы восприимчивыми к закалке и обеспечивают получение мартенситной основы. Кремний и марганец вводятся в сплавы в качестве раскислителей.

Сплавы № 5 и 6 дополнительно легировали никелем. Ожидалось, что это приведет к образованию в структуре сплавов дополнительного количества остаточного аустенита и повысит их антикоррозионные свойства. Сплав № 6 был легирован также ниобием, что дало возможность провести оценку свойств этого сплава при использовании еще одного сильного карбидообразующего элемента.

С учетом того, что в будущем предполагается использовать опытные сплавы для изготовления биметаллических ножей различного назначения, исследовали твердость, износостойкость и структуру наплавленного металла с химическим составом, соответствующим опытным сплавам.

Первоначально было проведено исследование сварочно-технологических свойств высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов. Наплавку проводили плазменно-порошковым способом, в качестве основного металла использовали пластины из стали Ст3. В них была сделана разделка под наплавку, размеры которой соответствовали размерам таковой на реальном инструменте для резки неметаллических материалов. Наиболее важными параметрами плазменно-порошковой наплавки являются ток дуги I_d , скорость наплавки v_n и скорость

подачи порошка [7, 8]. В опытах использовали следующий режим наплавки: $I_d = 140...280$ А; $v_n = 2,0...5,3$ м/ч. С повышением скорости наплавки пропорционально увеличивали подачу порошка (чтобы сечение наплавленного валика оставалось постоянным) и частоту периодических колебаний плазмодуговой горелки таким образом, чтобы шаг наплавки сохранялся равным примерно 1,5 мм. Размах колебаний плазмодуговой горелки устанавливали на 1...3 мм больше ширины разделки. Расход плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов во всех опытах поддерживали постоянным. Для сравнения одновременно с опытными высокоуглеродистыми высокованадиевыми сплавами проводили наплавку кобальтхромвольфрамовыми сплавами — стеллитами, широко применяемыми при наплавке режущего инструмента.

Основной целью технологических опытов было определение оптимального диапазона значений тока дуги для различной производительности наплавки. При этом нижние пределы значений I_d определяли из условия получения при заданной скорости наплавки гарантированного бездефектного сплавления наплавленных валиков с основным металлом, а верхние пределы — из условия получения доли основного металла в наплавленном не выше 10 %. Для определения максимально допустимых значений тока дуги было исследовано его влияние на долю основного металла в наплавленном слое (см. рис. 1).

В исследованном диапазоне параметров режима доля основного металла в наплавленном изменяется от 0 до 25 %. В области малых значений тока повышение на 10 А приводит к увеличению доли основного металла в наплавленном на 2...5 %.

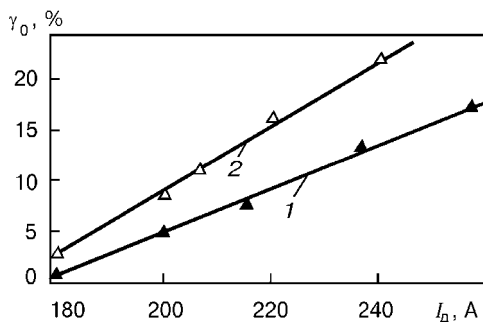


Рис. 1. Влияние тока дуги I_d на долю основного металла γ_0 в слое, наплавленном различными сплавами при $v_n = 3,7$ м/ч: 1 — высокованадиевый сплав; 2 — стеллит

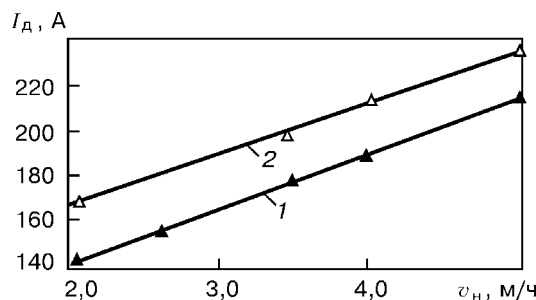


Рис. 2. Изменение тока дуги I_d в зависимости от скорости наплавки v_n ; 1, 2 — то же, что и рис. 1



Оптимальные значения тока дуги при различных скоростях наплавки приведены на рис. 2. Валики, наплавленные на рекомендуемых режимах, имеют хорошее формирование и постоянную ширину и высоту.

Несмотря на то что наплавка высокоуглеродистыми высокованадиевыми сплавами велась без предварительного подогрева, не было замечено ни одного случая появления трещин и пор в наплавленном металле.

По сравнению со стеллитами высокоуглеродистые высокованадиевые сплавы более экономичны и технологичны, поскольку их наплавка возможна на токе дуги, имеющим меньшее значение (см. рис. 1 и 2).

Для оценки износостойкости высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов выбрана методика с закрепленным абразивом. Условия испытаний были следующими: абразив — корундовая шкурка с зернистостью 180 мкм; площадь трения — 1 см²; нагрузка — 30 Н; время испытаний — 20 с. Оценку износостойкости производили исходя из потери массы испытуемых образцов.

В таблице представлены результаты испытаний износостойкости сплавов № 1–6, наплавленных на оптимальных режимах. Для сравнения отметим, что у широко известной инструментальной стали Р6М5Ф2, испытанной в тех же условиях, потеря массы составила 19,2, а у твердого сплава типа ВК8 — 1,6 мг. Как видно из приведенных данных, высокоуглеродистые высокованадиевые сплавы по износостойкости занимают промежуточное положение между инструментальными сталями и твердыми сплавами, но значительно дешевле последних.

Из испытанных высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов наихудшей износостойкостью отличался сплав № 1 с пониженным по сравнению с остальными материалами содержанием углерода и ванадия. Очевидно, что для обеспечения высокой износостойкости массовая доля ванадия должна составлять не менее 13 %, а углерода — не менее 4 %. Наилучшая износостойкость была отмечена у сплавов № 2 и 3 с массовой долей хрома 5,0...6,5 %. Из сплавов с повышенным содержанием хрома лучшую износостойкость имели сплавы № 5 и 6 (см. таблицу).

Были проведены исследования микроструктуры высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов. Образцы для металлографических исследований вырезали из пластин стали Ст3 толщиной 18 мм, наплавленных порошками из опытных сплавов № 1–6 на следующих режимах: $I_d = 180...200$ А; $v_{н} = 3,5$ м/ч; охлаждение после наплавки на воздухе. По данным металлографических исследований, структура высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов состояла из карбидов, мартенсита и остаточного аустенита. Количество остаточного аустенита в исследованных сплавах может изменяться, что влияет на их твердость и износостойкость. На рис. 3 приведена характерная микроструктура высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов № 2 и 5.

Формирование структуры при затвердевании высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов можно представить следующим образом. Карбиды

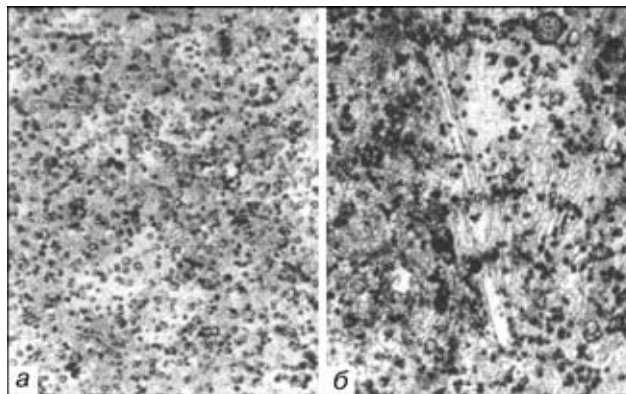


Рис. 3. Микроструктура (×320) высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов № 2 (а) и № 5 (б)

ванадия первыми выделяются из расплава и являются зародышами, вокруг которых кристаллизуется обедненный легирующими элементами аустенит. В процессе охлаждения происходит превращение аустенита в мартенсит. Внешние области зерен состоят из высоколегированного аустенита, который сохраняется при охлаждении до комнатной температуры.

Для структуры всех исследованных сплавов характерно достаточно равномерное распределение каждой из структурных составляющих по сечению наплавленного валика. Ширина переходной зоны между наплавленным и основным металлами составляет 0,01...0,20 мм.

Как правило, высокую износостойкость при абразивном изнашивании имеют сложнолегированные сплавы с карбидным упрочнением, имеющие высокую твердость. При этом матрица таких сплавов, кроме высокой твердости, должна обладать также способностью удерживать в процессе изнашивания прочные и твердые карбиды.

В работе [9] высказано предположение о том, что карбиды прочно удерживаются матрицей, если в процессе кристаллизации устанавливается сопряжение кристаллических решеток на границе карбид–матрица.

С целью определения параметров кристаллической решетки проведен рентгеноструктурный анализ образцов наплавленного металла типа высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов на установке «Дрон-3». Для измерения параметров были выбраны линии (211) в α -железе и (311) в γ -железе. В выбранных интервалах углов отражения расчетная погрешность определения параметров решетки составила $\pm 0,0003$ у α -железа и $\pm 0,0002$ у γ -железа. В исследованных сплавах размер решетки α -железа был равен $(0,2864...0,2867) \pm 0,0003$, а γ -железа — $(0,3587...0,3599) \pm 0,0002$ нм. Размер кристаллической решетки карбида ванадия VC, по данным работы [4], составлял 0,4135...0,4166 нм.

Данные рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что по некоторым кристаллографическим направлениям наблюдается ориентационное соответствие между кристаллическими решетками карбида ванадия и аустенита карбида ванадия и мартенсита:

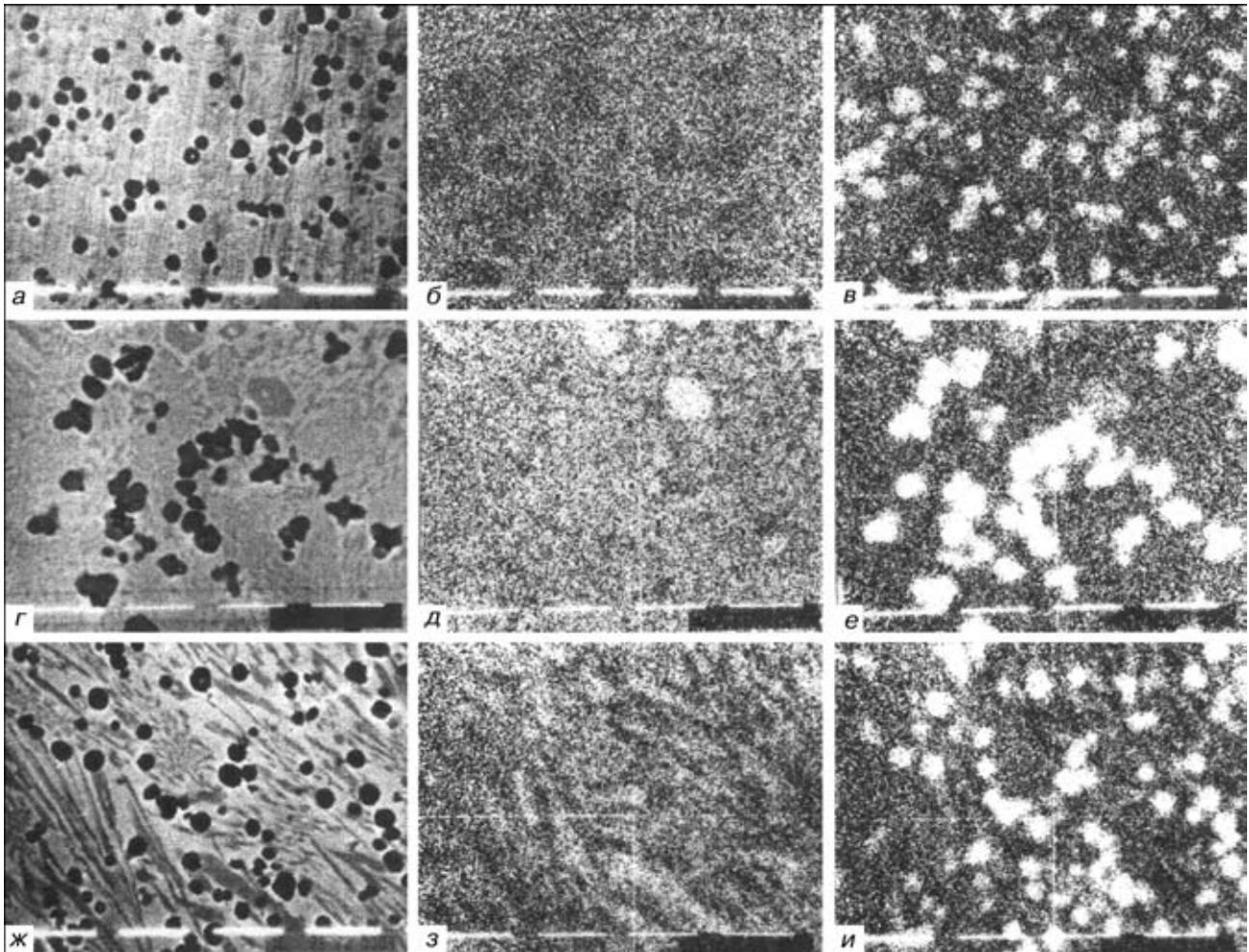
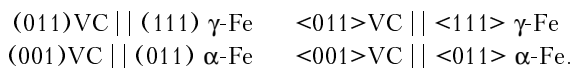


Рис. 4. Распределение легирующих элементов в высокоуглеродистом высокованадиевом наплавленном металле, полученное на электронном сканирующем микроскопе: а, г, ж — в обратнорассеянных электронах; б, д, з — сканограмма распределения хрома; в, е, и — сканограмма распределения ванадия; а-в — сплав № 2; г-е — № 6; ж-и — № 5



Расчеты, выполненные на основе этих данных, показали, что разница в параметрах кристаллических решеток по указанным направлениям не превышает 5 % у карбида ванадия и аустенита и 2 % у карбида ванадия и мартенсита.

В этом случае на границе аустенит-карбид и мартенсит-карбид возможно образование прочного сопряжения кристаллических решеток, т. е. установление когерентной связи [10]. Реальные частицы карбида ванадия не являются монокристаллическими, поэтому прочное сопряжение возникает лишь на отдельных участках их поверхности, где имеет место благоприятная ориентация зерен карбида ванадия и аустенита, а также карбида ванадия и мартенсита.

По данным микрорентгеноспектрального анализа (рис. 4), в наплавленном металле ванадий образует карбид VC, содержание ванадия в других структурных составляющих ничтожно. Размер карбидов ванадия колеблется в пределах от 2 до 10 мкм. Хром входит в состав матрицы и сложных карбидов типа Me_{23}C_6 и Me_7C_3 (рис. 4, в, е, и). Крупноиглольчатые карбиды типа Me_7C_3 образуются лишь

в сплавах, содержащих избыточное количество углерода (рис. 4, ж-и).

Структурные составляющие исследованных сплавов имеют следующую микротвердость: карбиды типа VC — $HV_{0,05} 2900 \dots 3000$; карбиды типа Me_{23}C_6 — $HV_{0,05} 900 \dots 1300$; мартенсит — $HV_{0,05} 800 \dots 900$; аустенит — $HV_{0,05} 600 \dots 700$.

Из первой группы сплавов (№ 1-3) наиболее перспективным является сплав № 2. По износостойкости он несколько уступает сплаву № 3, но в сравнении с последним более технологичен в производстве и при наплавке.

Из второй группы сплавов (№ 4-6) высокую износостойкость имеют сплавы № 5 и 6. Исследования микроструктуры и микрорентгеноспектральный анализ показали, что в сплаве № 5 карбиды ванадия типа VC и карбиды хрома типа Me_{23}C_6 равномерно распределены в структуре сплава и их размер не превышает 10 мкм (рис. 4, г-е). В сплаве № 6, содержащем больше углерода, кроме мелких карбидов ванадия и ниобия типа MeC образуются крупные карбиды хрома типа Me_7C_3 (рис. 4, ж-и), что может привести к выкрашиванию рабочих кромок ножей. По этой причине именно этот сплав более предпочтителен при наплавке ножей с антикоррозионными свойствами.



Выводы

1. Определены оптимальные пределы легирования порошков сплавов системы Fe-C-V-Cr-Mo для плазменно-порошковой наплавки ножей, предназначенных для резки неметаллических материалов. Показано, что при наплавке инструментов для резки неметаллических материалов, не обладающих коррозионными свойствами, наиболее перспективным является порошок, имеющий следующие содержания, мас. %: 4,0 C; 14,0 V; 6,0 Cr; 1,5 Mo. При наплавке ножей с антикоррозионными свойствами массовая доля хрома должна быть увеличена до 14,0 %.

2. Установлено, что в зависимости от химического состава структура высокоуглеродистых высокованадиевых сплавов включает мартенсит и аустенит в различном соотношении, а также значительное количество карбидов основных легирующих элементов — ванадия и хрома. При этом наивысшую износостойкость при абразивном изнашивании обеспечивает мартенситная структура с небольшим количеством остаточного аустенита и дисперсными, равномерно распределенными карбидами ванадия и карбидами хрома типа $Me_{23}C_6$.

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. — М.: Металлургия, 1975. — 584 с.
2. Рябцев И. А., Кондратьев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
3. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: Металлургия, 1966. — Т. 2. — 1638 с.
4. Ефимов Ю. В., Барон В. В., Савицкий Е. М. Ванадий и его сплавы. — М.: Наука, 1969. — 254 с.
5. Лившиц Л. С., Гринберг Н. А., Куркумелли Э. Г. Основы легирования наплавленного металла. — М.: Машиностроение, 1969. — 187 с.
6. Мескин В. С. Основы легирования стали. — М.: Металлургия, 1964. — 286 с.
7. Переплетчиков Е. Ф., Гладкий П. В. О влиянии параметров плазменной наплавки на проплавление основного металла // Высокопроизводительные процессы наплавки и наплавочные материалы. — Коммунарск: КМК, 1973. — С. 19–25.
8. Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Фрумпи И. И. Плазменная наплавка хромоникелевых сплавов, легированных кремнием и бором // Автомат. сварка. — 1968. — № 9. — С. 58–62.
9. Износостойкость наплавленного металла системы легирования Fe-C-Cr-Ti-Mo / И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, В. Г. Васильев, Л. К. Дорошенко // Там же. — 2002. — № 4. — С. 48–52.
10. Палатник Л. С., Патиров И. И. Ориентированная кристаллизация. — М.: Металлургия, 1964. — 256 с.

Structure, hardness and wear resistance of two groups of iron-base high-carbon high-vanadium alloys with a different chromium content (5...7 and 14...17 %) are considered. Materials with a martensitic structure and a small amount of retained austenite, as well as with dispersed uniformly distributed vanadium carbides and carbides of the $Me_{23}C_6$ type, were found to have the highest wear resistance under the abrasive wear conditions for the high-carbon high-vanadium alloys.

Поступила в редакцию 28.05.2002

КОРОТКО О ВАЖНОМ

АО «ДАНКО» ПОДПИСАЛ КОНТРАКТ С НКМЗ НА ДАЛЬНЕЙШУЮ ПОСТАВКУ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЕМЗ

31 января подписан контракт между АО «ДАНКО» и Ново-Краматорским машиностроительным заводом (г. Краматорск, Донецкой обл.) на поставку оборудования для второй очереди реконструкции Енакиевского металлургического завода. В состав линии непрерывного литья заготовок входит установка внепечного рафинирования стали «печь-ковш» и сортовая МНЛЗ для производства квадратной заготовки от 125 до 170 мм и круглой заготовки диаметром 130 мм.

Основанием для подписания контракта послужило исключительное качество стали и заготовок, полученное на первой линии производства НКМЗ, пущенной на Енакиевском металлургическом заводе 19 декабря 2002 г. По данным отдела технического контроля ЕМЗ, на первой плавке было получено 99 заготовок квадрата 120 мм и выход годного составил 100 %. Производительность установки составляет 900...1000 тыс. т стали в год.

Поставленную НовоКраматорским машиностроительным заводом высокоскоростную радиальную сортовую МНЛЗ специалисты «ДАНКО» назвали по сортаменту и особенностям оборудования «единственной в своем роде для металлургической промышленности Украины, СНГ и стран Восточной Европы».

Главной особенностью нового контракта является жесткий срок его исполнения. На проектирование и изготовление и комплектную поставку новой линии непрерывной разливки, в том числе систем автоматизированного управления процессами, НовоКраматорскому машиностроительному заводу отводится всего 10 месяцев.

Пресс-служба НКМЗ



ПРОЧНОСТЬ И ВЯЗКОСТЬ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВО-ЛИТИЕВЫХ СПЛАВОВ

Т. М. ЛАБУР, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены закономерности изменения прочности и вязкости сварных соединений алюминий-литиевых сплавов в зависимости от химического состава основного и присадочного материалов, погонной энергии при сварке, структуры и условий эксплуатации.

Ключевые слова: сварка плавлением, алюминий-литиевые сплавы, сварные соединения, структура, металл шва, зона сплавления, зона термического влияния, прочность, вязкость разрушения, условия эксплуатации, исследование, сравнительный анализ

Первые алюминий-литиевые сплавы были созданы более 70 лет назад. Понадобились обширные исследования для того, чтобы оптимизировать химический состав, определить температурно-временные параметры технологии изготовления полуфабрикатов и их соединения. В результате появилась серия алюминий-литиевых сплавов, которые представляют собой новый класс свариваемых высокопрочных конструкционных сплавов двух систем легирования — Al-Mg-Li (1420, 1421, 1423, 1424) и Al-Cu-Li (1450, 1451, 1460, 1461, 1463, 1464) — с временным сопротивлением 400...420 и 500...550 МПа [1, 2]. Уникальное сочетание физико-механических свойств алюминий-литиевых сплавов (высокие значения прочности и модуля упругости при малом удельном весе) выгодно отличают их от традиционных высокопрочных алюминий-литиевых сплавов. А сравнительно небольшая скорость роста трещин усталости сплавов с литием и высокие значения коэффициентов интенсивности напряжений, малоциклового усталостного долговечности, сопротивления коррозионному растрескиванию под напряжением, расслаивающей и межкристаллитной коррозии позволяют отнести данные сплавы к классу наиболее перспективных конструкционных материалов для создания образцов новой техники с улучшенными тактико-техническими параметрами.

К настоящему времени преодолены основные трудности, возникающие при получении плотных швов, что обусловлено проявлением металлургической наследственности полуфабрикатов алюминий-литиевых сплавов под воздействием термического цикла сварки. Разработаны оригинальные технологии сварки, обеспечивающие высокое качество сварных соединений [3–6]. Прочность соединений, полученных дуговой сваркой, достигает 70...80 % прочности основного металла. Использование электронно-лучевой сварки обеспечивает прочность, близкую к таковой основного металла. Протяженность зоны термического влияния (ЗТВ) в этом случае существенно сокращается по сравнению с соединениями, выполненными дуговой

сваркой. Причем улучшение свойств металла отмечается не только в шве, но и в наиболее слабой зоне соединений — на границе сплавления с основным металлом [3].

Степень разупрочнения основного металла при сварке алюминий-литиевых сплавов и протяженность ЗТВ, помимо способа сварки, зависят и от химического состава сплава. Сплавы, содержащие в качестве основного легирующего компонента магний, характеризуются меньшей склонностью к потере прочности в условиях термического воздействия сварки, чем сплавы с медью. Это связано с тем, что добавка магния в значительной степени способствует ускорению процессов выделения упрочняющей δ' -фазы (Al_3Li) и увеличению ее плотности в металле по сравнению с добавкой меди [1].

Недостатком алюминий-литиевых сплавов является повышенная хрупкость металла и, следовательно, чувствительность к концентраторам напряжений, которые, вызывая рост напряженного состояния, создают в металле предпосылки для ускоренного зарождения трещин, что связывают со склонностью алюминий-литиевых сплавов к локализации деформации [1]. Результаты испытания образцов сварных соединений с различными радиусами надреза (от 0,25 до 0,10 мм) и усталостной трещиной при внецентренном растяжении показали (рис. 1), что увеличение остроты концентратора напряжения на 40...55 % сокращает значения критического коэффициента интенсивности напряжения K_c , определяющего условия для возможного развития разрушения. Диапазон разброса его значений изменяется в зависимости от остроты надреза, моделирующего концентрацию напряжений в отдельных зонах сварных соединений, и от напряженно-деформированного состояния структуры, что связано с температурой и продолжительностью термического влияния. В металле шва разброс составляет 10, а в зоне сплавления и ЗТВ — 20...25 %, что существенно отличает алюминий-литиевые сплавы от традиционных высокопрочных алюминий-литиевых сплавов АМг6 НПП (Al-Mg) и 1201 (Al-Cu).

Аналогичная закономерность прослеживается и при оценке других показателей сопротивления разрушению (таблица). Значения критического раскрытия трещины δ_c и энергии зарождения трещины (J -интеграл) также различны в зонах сварного соединения. Минимальные значения δ_c и J -интег-

рала имеет металл на границе сплавления шва с основным металлом. Показатели вязкости разрушения K_c и δ_c данной зоны сварного соединения равны соответственно 23 МПа√м и 0,04 мм. Значения J_c и удельной работы распространения трещины (УРРТ) зависят от химического состава свариваемых сплавов. Для сплава 1421, содержащего магний, они составляют соответственно 3,1 и 4,5 Дж/см². Использование в качестве легирующего элемента меди обеспечивает сплаву 1460 большие значения J_c (4,0 Дж/см²) и УРРТ (6,2 Дж/см²). Установленные закономерности изменения свойств соединений алюминиево-литиевых сплавов свидетельствуют о влиянии состояния границ кристаллитов швов и зерен основного металла в зоне сварочного нагрева на прочность сцепления матрицы с включениями интерметаллидных фаз, которая определяет склонность металла к хрупкому разрушению.

Неодинаковая степень воздействия остроты механического надреза и усталостной трещины на значения K_c в зонах сварных соединений может быть обусловлена различным количеством обогащенных литием фаз, выделяющихся на участках соединения границ кристаллитов в металле шва и зерен основного металла в условиях термического воздействия сварочного процесса. Особенно чувствительно реагируют образцы на изменение остроты вершины надреза в случае, если последняя совпадает с границей сплавления шва с основным металлом (рис. 1), что связано с условиями и особенностями формирования структуры данной зоны соединения под воздействием термического цикла сварки. Увеличение плотности выделений вторичных фаз в результате распада твердого раствора и коагуляция включений нерастворимых интерметаллидных фаз, которые протекают в условиях сварочного нагрева, приводят к образованию отдельных фазовых скоплений или участков в виде плотного каркаса вдоль границ зерен. По мере увеличения объемной доли хрупких участков уровень концентрации напряжения в них возрастает, превышая предел текучести. В результате возникают условия предразрушения структуры сварных соединений алюминиево-литиевых сплавов. Причем на уровень напряженного состояния межзеренного промежутка влияют не только размеры и расположение таких участков, но и легирующие элементы сплава, входящие в состав фаз. Согласно данным, представленным на рис. 1 и в таблице, металл границы сплавления у соединений из сплава 1460 характеризуется в 1,5...2,0 раза большими показателями сопротивления разрушению (K_c , δ_c и J -интеграл) по сравнению с соединениями из сплава 1421. Это может быть связано с меньшим диаметром атома меди (0,256 нм), входящего в состав сплава 1460 по сравнению с диаметром атома магния (0,32 нм), который является основным легирующим элементом сплава 1421 после лития.

На вероятность разрушения соединения алюминиево-литиевых сплавов вдоль линии сплавления шва с основным металлом может оказывать влияние и наличие в свариваемом полуфабрикате полос сдвига. Грубые скопления неупорядоченно разориентированных фрагментов структуры, ко-

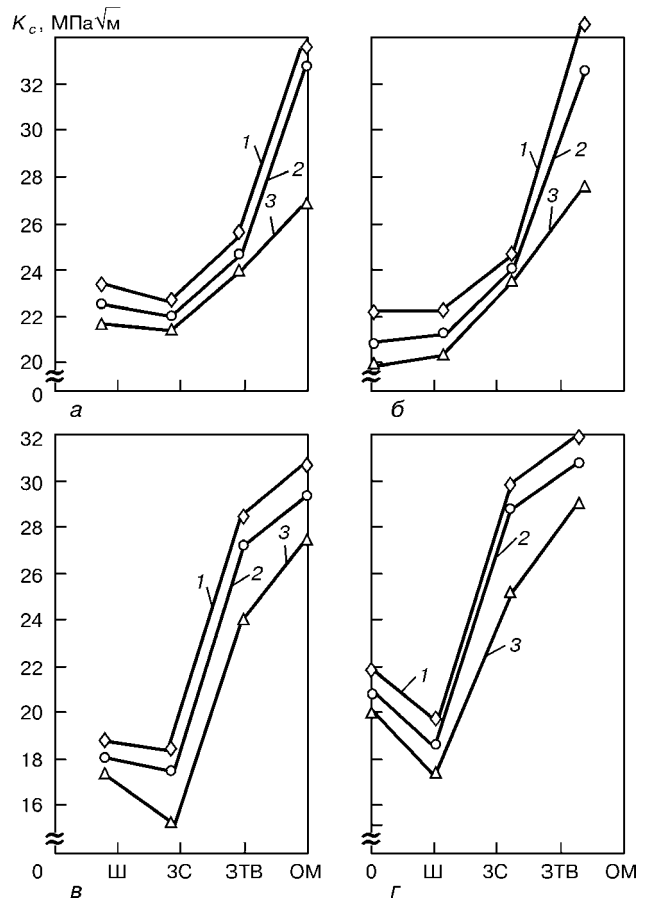


Рис. 1. Влияние остроты радиуса надреза R_n на значения критического коэффициента интенсивности напряжения в различных зонах сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов АМг6 НПП (а), 1201 (б), 1421 (в) и 1460 (г): 1 — $R_n = 0,25$; 2 — 0,10 мм; 3 — усталостная трещина

торые образуют вдоль линии проката полосы сдвига, являются местами локализации пластических сдвигов, интенсивное развитие локальных напряжений в которых превышает значения временного сопротивления. Это вызывает ослабление сил сцеп-

Влияние типа надреза на значения δ_c и J -интеграла алюминиево-литиевых сплавов 1421, 1460 и их сварных соединений

Сплав	Зона исследования	δ_c , мм		J -интеграл, Дж/см ²
		V-образный надрез	T-образный надрез	
1421 (Al-Mg-Li)	ОДМ	0,130	0,052	4,0
	ОПМ	0,110	0,045	3,0
	Ш	0,183	0,087	5,8
	ЗС	0,084	0,031	1,9
	ЗТВ (5 мм)	0,117	0,057	3,2
1460 (Al-Cu-Li)	ОДМ	0,120	0,072	4,8
	ОПМ	0,119	0,060	3,1
	Ш	0,183	0,104	6,0
	ЗС	0,101	0,060	3,4
	ЗТВ (5 мм)	0,126	0,089	4,7

Примечание. Здесь ОДМ и ОПМ — основной металл соответственно долевой и поперечной ориентации относительно проката; Ш — металл шва; ЗС — металл зоны сплавления.

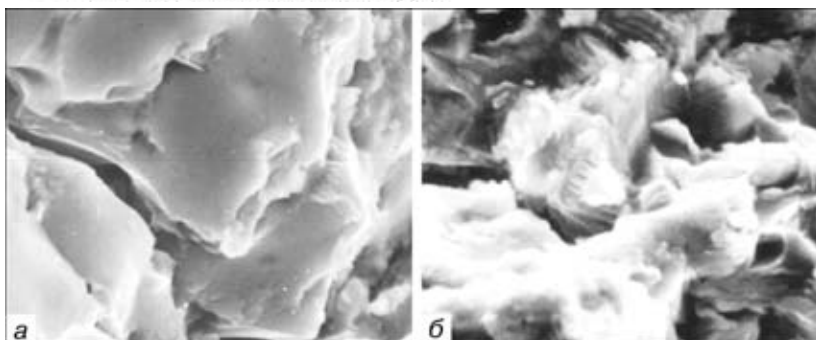


Рис. 2. Поверхность разрушения металла границы сплавления сварных соединений, полученных дуговой сваркой, $\times 500$: а — сплав 1421; б — сплав 1460

ления границ между зёрнами и становится причиной зарождения трещин вследствие разрушения частиц как по телу, так и вдоль границы контакта с матрицей. Следует подчеркнуть, что появление межзёрненной трещины обусловлено не тривиальным макроскопическим отрывом одного зёрна от другого, а протеканием предварительной деформации, в ходе которой в приграничной зоне формируется критическая структура, в которой возникают, а потом объединяются между собой многочисленные межзёрненные трещины (рис. 2). Наличие на границах скоплений фаз позволяет проявиться на макроуровне особенностям процесса релаксации внутренних напряжений растяжения, возникающих в межзёрненном промежутке в условиях термического цикла сварки.

Влияние концентратора напряжения возрастает в условиях действия охрупчивающих факторов, сопровождающих эксплуатацию конструкции из алюминийно-литиевых сплавов (изменение схемы нагружения, скорости деформации, уровня рабочей температуры). Результаты исследования [7, 8] позволили установить, что при повышении скорости деформаций или снижении температуры испытания до 20 К происходит увеличение прочности сварных соединений алюминийно-литиевых сплавов до 400... 420 МПа вследствие деформационного или температурного упрочнения. Пластичность соединений либо остается такой же, как и при комнатной температуре, либо снижается на 15... 20 %, достигая в зоне сплавления уровня K_c и δ_c (соответственно 23 МПа $\sqrt{м}$ и 0,04 мм). Показатели J_c и УРРТ изменяются в зависимости от химического состава сплавов. Для сплавов с магнием (1421) они равны соответственно 3,1 и 4,5 Дж/см², а для сплавов с медью (1460) — 4,0 и 6,2 Дж/см². Более высокие (на 30... 40 %) значения J_c и УРРТ у сплавов системы Al-Cu-Li подтверждают целесообразность их использования в конструкциях, эксплуатируемых в условиях действия концентраторов напряжения и криогенной среды.

При повышенных температурах эксплуатации (473 и 623 К) прочность соединений (320 МПа) снижается соответственно на 3... 5 % и в 3 раза по сравнению с комнатной температурой. Деформационные и энергетические показатели вязкости разрушения при этом изменяются неоднозначно и зависят от размеров и формы хрупких локальных участков, сформировавшихся в межзёрненном промежутке при термическом воздействии сварочного

цикла. В температурном диапазоне испытания от 300 до 473 К они повышаются на 10 % в металле зоны сплавления и на 25 % в металле шва [8]. Дальнейшее повышение температуры испытания до 623 К вдвое уменьшает прочность и вязкость, что свидетельствует о снижении локального напряжения, необходимого для возникновения и развития зернограничной трещины.

Повышенную склонность соединений алюминийно-литиевых сплавов по сравнению с базовыми сплавами

к охрупчиванию можно объяснить наличием избыточных фаз в межзёрненном промежутке вследствие высокой степени их легирования, что препятствует релаксации напряжений в процессе деформации. Под воздействием накопившихся напряжений возникает неблагоприятный компланарный тип дислокационной структуры, выявляемый после разрушения образцов при испытании [1, 2, 9]. Хрупкое разрушение в этом случае происходит в результате протекания хотя и интенсивного, однако сильно локализованного пластического течения, возможного при очень низком уровне сдвиговых напряжений и приводящего при этом к возникновению мощных и опасных скоплений дислокаций, что создает предпосылки для зарождения трещин. Такую особенность сплавов связывают со склонностью лития к плоскому скольжению в ходе его перераспределения вдоль границ зёрен, следствием которого является снижение пластичности.

Уменьшение содержания лития в сплаве (до 1,7... 1,9 ат. %) обеспечивает увеличение в 1,5 раза относительного удлинения [10]. Положительное влияние на физико-механические свойства алюминийно-литиевых сплавов отмечается и при использовании режимов двухступенчатого отжига с промежуточной деформацией до 3 %, что объясняется формированием благоприятной структуры сплавов [11]. Выполнение правки после закалки подавляет образование хрупкой фазы, ускоряет растворение упрочняющей δ' -фазы (Al₃Li) и несколько уменьшает ее размеры, что положительно сказывается на K_c .

Возрастание относительного удлинения до 7 % отмечено и при введении в состав сплава такого модификатора, как скандий [1]. Экспериментальная оценка характеристик сопротивления разрушению сварных соединений алюминийно-литиевых сплавов 1420 и 1421 в зависимости от количества скандия в основном и присадочном материалах из сплавов системы Al-Mg или Al-Cu показала, что металл швов характеризуется повышенной на 20 % прочностью при 0,4... 0,6 % скандия в проволоке [12-14]. При этом в результате образования мелкокристаллитной и субзёрненной структуры из-за полного размерно-структурного сходства дисперсных частиц алюминидов скандия с матрицей $\sigma_p = 310... 320$ МПа, $K_c = 25... 28$ МПа $\sqrt{м}$, $\delta_c = 0,05... 0,07$ мм, $J_c = 4... 6$ Дж/см², УРРТ равно 8... 10 Дж/см². Благоприятное влияние полученной микроструктуры на вязкость состоит в том,



что движение трещины приостанавливается эффективными барьерами (границами зерен) и на поисковом направлении ее распространения расходуется больше энергии, чем в случае крупного зерна. Кроме того, наличие скандия в основном металле способствует торможению процессов рекристаллизации, протекающих при сварке алюминиевых сплавов, что сокращает протяженность зоны разупрочнения [3]. Отмеченный эффект очень важен, поскольку позволяет уменьшить требования при регламентации температурно-временных условий сварки алюминиево-литиевых сплавов.

Однако перегрев алюминиево-литиевых сплавов при сварке оказывает заметное влияние на процессы образования в них трещин и определяет характер разрушения [15]. Увеличение продолжительности пребывания металла в условиях высоких температур (673...773 К), сопровождающих сварочный процесс, способствует формированию в межзеренном пространстве более протяженных скоплений хрупких составляющих структуры (пересыщенных и интерметаллидных фаз), которые затрудняют пластический сдвиг при деформации. Их появление вызвано интенсивным развитием неоднородности структуры вследствие различного содержания легирующих элементов и примесей около границ зерен при сегрегации. По мере увеличения объемной доли таких участков в структуре сварных соединений отмечается повышение концентрации напряжения, на что указывает образование плоских участков рельефа вдоль границ кристаллитов и зерен на изломах разрушенных образцов. Показатели прочности и вязкости разрушения сварных соединений по сравнению с основным металлом при этом снижаются: $\sigma_p = 265$ МПа, $K_c = 21,5$ МПа $\sqrt{м}$; $\delta_c = 0,03$ мм; $J_c = 2,5$ Дж/см²; УРРТ равно 3,8 Дж/см².

Протяженность участков с неблагоприятной структурой сокращается в 4...10 раз при использовании способов и режимов сварки, характеризующихся минимальным тепловложением, например, пульсирующей дугой — $(10...13) \cdot 10^5$ Дж/м, или электронным лучом — $(1,2...1,4) \cdot 10^5$ Дж/м. При этом предотвращается образование хрупких межкристаллитных (в швах), межзеренных (в ЗТВ) прослоек и микропустот в зоне сплавления, что снижает вероятность зарождения трещин и улучшает свойства сварных соединений. Номинальное разрушающее напряжение σ_p в отдельных зонах соединений в этом случае повышается на 70...100 МПа, а K_c — на 20...25 % [15]. Причем улучшение физико-механических свойств достигается не только в металле шва, но и в наиболее слабой зоне сварных соединений — на границе сплавления с основным металлом, что может быть гарантией надежности эксплуатации сварных соединений в конструкциях из алюминиево-литиевых сплавов.

Снижения концентрации напряжения вдоль границ кристаллитов и зерен можно достичь путем уменьшения содержания фазовых включений, например, интерметаллидных, которые отличаются повышенной хрупкостью. Их состав и количество определяют щелочные и щелочноземельные элементы (натрий, кальций, барий, калий), попада-

ющие в алюминиево-литиевые сплавы на металлургическом этапе изготовления. Степень охрупчивания сплавов зависит как от исходного расположения, так и от формы фаз, содержащих эти примеси [1], даже тысячные доли процента которых оказывают отрицательное влияние на свойства сплавов и сварных соединений из-за снижения температуры плавления фаз, выделяющихся по границам зерен. Это делает их весьма склонными к развитию разрушения. Накопление атомов щелочных и щелочноземельных элементов вдоль границ кристаллов и зерен основного металла, происходящее вследствие их высокой химической активности по отношению к алюминию, повышает степень охрупчивания сплавов с литием и вызывает зернограничное образование трещин. При включении 0,10...0,15 % примесей ухудшения прочностных свойств не обнаружено, а показатели пластичности и вязкости разрушения снижались на 30...40 % [16, 17]. Склонность сплавов с литием к охрупчиванию, которое приводит к образованию трещин, снижается при уменьшении вредных примесей до 0,01 %. Это на 20 % обеспечивает повышение номинального разрушающего напряжения σ_p и на 40 % K_c . Значения других показателей сопротивления разрушению при равномерном распределении интерметаллидов следующие: $\delta_c = 0,05$ мм; $J_c = 4$ Дж/см²; УРРТ равно 5,2 Дж/см². Интеркристаллитный механизм разрушения в зоне сплавления в этом случае изменится на транскристаллитный.

Таким образом, путем улучшения структурного состояния границ кристаллитов и зерен можно реально управлять прочностью и вязкостью сварных соединений алюминиево-литиевых сплавов типа 1421 и 1460. Ограничение тепловложения (погонной энергии) благодаря использованию пульсирующих режимов дуговой сварки или электронно-лучевой позволяет исключить образование хрупких участков с неблагоприятной структурой и обеспечить получение удовлетворительных характеристик прочности и вязкости разрушения изделий аэрокосмической техники в экстремальных условиях эксплуатации в широком температурном диапазоне (20...500 К). Эффективность технологий подтверждают результаты промышленного испытания и внедрения в опытное производство сварных конструкций силовых оболочек самолетов и вертолетов, а также топливных баков для космических средств многоразового использования [5, 18–20].

1. Алюминий-литиевые сплавы, структура и свойства / И. Н. Фридляндер, К. В. Чунстов, Ф. Л. Березина, Н. Н. Колобнев. — Киев: Наук. думка, 1992. — 192 с.
2. Фридляндер И. Н., Белецкий В. М., Кривов Г. А. Алюминиевые сплавы в авиационных конструкциях // Технолог. системы. — 2000. — № 1. — С. 5–17.
3. Сварка в самолетостроении / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: МИИВЦ, 1998. — 695 с.
4. Ищенко А. Я., Лабур Т. М., Лозовская А. В. Алюминиево-литиевые сплавы для сварных конструкций аэрокосмической техники // Автомат. сварка. — 1995. — № 2. — С. 41–44.
5. Овчинников В. В., Дриц А. М., Крымова Т. В. Технологические особенности производства сварных конструкций летательных аппаратов из алюминиево-литиевого сплава 1460 // Свароч. пр-во. — 1997. — № 12. — С. 26–29.



6. *Структура* и свойства сварных соединений сплавов алюминий-магний-литий / Р. В. Илюшенко, А. В. Лозовская, И. Е. Склабинская и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 7. — С. 23–26.
7. *Лабур Т. М.* Свойства сварных соединений алюминиевых сплавов в условиях низких температур // Там же. — 1996. — № 11. — С. 30–32, 36.
8. *Лабур Т. М.* Изменение сопротивления разрушению сварных соединений сплава 01421 в условиях высокотемпературного нагрева // Там же. — 1994. — № 12. — С. 8–11.
9. *Херцберг Р. В.* Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / Под ред. М. Л. Бернштейна, С. П. Ефименко. — М.: Металлургия, 1989. — 575 с.
10. *Kojima Y.* Aluminum-lithium alloys // Welding Light Metal. — 1989. — 39, № 1. — P. 67–80.
11. *Исследование* влияния режимов НТМО на свойства листов из сплавов 1571, 1430, 1441 / В. И. Елагин, А. И. Орозов, Н. М. Щеглова, В. А. Тарасов // Технология легких сплавов. — 1996. — № 5. — С. 40–43.
12. *Лабур Т. М., Илюшенко Р. В.* Влияние добавок скандия в присадочную проволоку при сварке алюминиевого сплава 1420 // Автомат. сварка. — 1992. — № 11–12. — С. 53–54.
13. *Лабур Т. М., Илюшенко Р. В.* Влияние скандия на характеристики сопротивления разрушению сварных соединений из сплавов 1420 и 1421 // Технология легких сплавов. — 1993. — № 12. — С. 37–41.
14. *Лабур Т. М.* Исследование эффективности упрочнения металла шва скандием при сварке алюминий-литиевого сплава 1420 // Автомат. сварка. — 1996. — № 7. — С. 17–19.
15. *Влияние* способа сварки на сопротивление разрушению соединений алюминий-литиевых сплавов 1420 и 1460 / Т. М. Лабур, Андр. А. Бондарев, А. В. Лозовская и др. // Там же. — 2001. — № 7. — С. 12–16.
16. *Грушко О. Е., Шевелева Л. М.* Примеси щелочных и щелочно-земельных металлов в алюминий-литиевом сплаве 1420 // Цв. металлы. — 1994. — № 4. — С. 48–51.
17. *Лабур Т. М.* Влияние примесных элементов на сопротивление разрушению // Автомат. сварка. — 1998. — № 6. — С. 40–43.
18. *Имамура Ц.* Применение легких металлов для конструкций летательных аппаратов // Кэйкиндзоку. — 1991. — 41, № 9. — С. 623–634.
19. *Алюминий-литиевый* сплав 1441 как перспективный материал для фюзеляжа / Р. К. Бирк, Д. П. Дайкус, И. Н. Фридляндер, В. С. Сандлер // Металловед. и терм. обраб. металлов. — 2001. — № 8. — С. 7–10.
20. *Технологические* особенности сварки высокопрочного алюминий-литиевого сплава 1460 / Н. С. Барабохин, Ю. Г. Бушуев, Е. В. Шульгина и др. // Свароч. пр-во. — 1999. — № 11. — С. 12–14.

Principles of variations in strength and toughness of welded joints in aluminium-lithium alloys, depending upon chemical composition of base and filler metals, welding heat input, structure and service conditions, are considered.

Поступила в редакцию 12.09.2002,
в окончательном варианте 18.12.2002

ЕЩЕ ОДИН ЖУРНАЛ ДЛЯ СВАРЩИКОВ

Вышел в свет пилотный номер журнала «Сварщик - Профессионал».

Журнал является официальным печатным органом Российского научно-технического сварочного общества, издается 6 раз в год.

По мнению его создателей, в задачи журнала входит не только систематическое информирование о современных технологических процессах сварки, эффективном оборудовании, сварочных материалах, рационализаторских предложениях, но и разъяснение новых законов, межотраслевых правил и инструкций, положений Трудового Кодекса РФ, а также многих других вопросов, в ответах на которые нуждаются сварщики.

Много места планируется отвести материалам, способствующим росту профессионального мастерства рабочих. На страницах журнала высококвалифицированными сварщиками — лауреатами конкурсов на звание «Лучший по профессии», а также многоопытными профессионалами, посвятившими свою жизнь нашему общему делу, откроются мастер-классы.



ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ НА СТРУКТУРУ УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ У8 ПРИ ПЛАЗМЕННО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Ю. С. БОРИСОВ, д-р техн. наук, О. В. КОЛИСНИЧЕНКО, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

На основе решения нестационарного уравнения теплопроводности методом конечных разностей определены температурные поля поверхностных слоев в процессе плазменно-детонационной обработки (ПДО) изделий. На базе полученных расчетных зависимостей проведен анализ кинетики фазовых преобразований в структуре стали У8 при ПДО.

Ключевые слова: плазменно-детонационная обработка, углеродистые стали, поглощающие покрытия, технологические параметры, металлография, рентгенофазовый анализ

Восстановление изнашиваемых поверхностей различных инструментов и деталей машин, изготовленных из низколегированных и углеродистых сталей, часто является наиболее экономичным средством продления срока их службы. В этой связи весьма актуальны исследования по созданию новых восстановительных и одновременно упрочняющих технологий, использующих концентрированные источники энергии — лазерные, электронные, ионные пучки, плазменные.

Применение последних, генерируемых импульсными плазменными ускорителями при разрядке емкостных накопителей энергии, является одним из наиболее перспективных способов обработки поверхности. Одним из них является плазменно-детонационная обработка поверхности (ПДО) [1, 2]. Достижимые при этом энергетические параметры потока аналогичны параметрам, получаемым при использовании лазерного источника нагрева ($1 \cdot 10^8 \dots 5 \cdot 10^{10}$ Вт/м²). Тем не менее, существуют отличия в механизме нагрева поверхности при лазерном воздействии и ПДО. Лазерное излучение при взаимодействии с поглощающей средой частично отражается от поверхности, а частично проникает вглубь материала. Для увеличения поглощательной способности поверхности при лазерной обработке применяют поглощающие покрытия (например, коллоидный раствор графита, наносимый на облучаемую поверхность в виде пленки, толщина которой не превышает 50 мкм). Известно, что поглощающая способность материала увеличивается с уменьшением его электропроводности [3]. Таким образом, эффективность лазерной обработки повышается при использовании неметаллических покрытий (Fe_2S_3 , Al_2O_3 , $Mn_3(PO_4)_2$, $Zn_3(PO_4)_2$).

Характер взаимодействия плазменной струи с поверхностью при ПДО зависит от скорости струи, формы и размеров поверхности, а также распо-

ложения последней относительно сопла плазмотрона. Если поверхность изделия устанавливается в области до первого прямого скачка уплотнения (область сверхзвукового течения), перед ней образуется ударно-сжатая область плазмы, резко отличающаяся по своим световым и физическим характеристикам от остальной области течения. Толщина ударной области зависит от скорости струи, а для заданной скорости максимальна при воздействии струи на плоскую преграду [4]. От ударно-сжатой плазмы происходит теплопередача в обрабатываемую деталь. Отличительной особенностью ПДО является возможность включения изделия в разрядный контур (его заземления). Исследование амплитудно-временных характеристик тока при ПДО описано в работе [5]. Нагрев поверхностного слоя материала происходит благодаря тепловому потоку в изделие, состоящему из энергии, приносимой электронами, ионами, нейтральными атомами, лучистой составляющей, а также объемного джоулевого тепловыделения в процессе прохождения импульсного тока. Значение каждой составляющей зависит от параметров плазменной струи и состояния поверхности, наличия или отсутствия потенциала на изделии. При включении изделия в разрядный контур важную роль играет полярность, поскольку при ПДО, помимо термообработки, возможно осуществление процессов легирования поверхностных слоев. Аналогично электроискровому легированию [6] наиболее эффективно он происходит, когда расходуемый электрод является анодом, а изделие — катодом.

Целью данной статьи является выявление роли некоторых факторов нагрева поверхности изделия при ПДО на структуру упрочненных слоев стали У8, в частности, оценка роли лучистой составляющей энергии при ПДО и значимости включения упрочняемого изделия в разрядный контур.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на образцах, изготовленных в виде цилиндров высотой 5 и диаметром 20 мм из эвтектоидной стали У8. Предварительно образцы подвергали объемной закалке от 820 °С в воду



Таблица 1. Материалы поглощающих покрытий и их характеристики

Материал покрытия	Толщина, мкм	Электропроводимость	Коэффициент поглощения [3, 7]
Сажа	< 5	Электропроводное	0,4...0,8
Типографская краска	30...40	»»	< 0,96
Zn ₃ (PO ₄) ₂	6...10	Изолятор	0,55...0,90

и последующему отпуску при температуре 200 °С в течение 40 мин. Микротвердость поверхностных слоев образцов после термической обработки составляла HV 4500... 5000 МПа. Для исследования влияния материала покрытий при ПДО, усиливающих лучистый перенос энергии, использовали материалы, применяемые в практике лазерной обработки (табл. 1). ПДО проводили на установке «Импульс» при следующем режиме обработки: напряжение на обкладках конденсаторной батареи — 3,2 кВ; индуктивность цепи разряда — 20 мкГн; частота следования импульсов — 2 Гц; расход пропана C₃H₈ — 0,35 м³/ч; расход кислорода — 1,4 м³/ч; расход воздуха — 1,3 м³/ч; емкость конденсаторной батареи — 800 мкФ; расстояние от среза сопла до изделия — 40 мм; расстояние от торца центрального электрода до среза сопла — 20 мм; материал расходоуемого электрода — молибден. Состояние поверхности и изменяемые технологические параметры обработки образцов приведены в табл. 2.

Структурно-фазовый анализ слоя, формирующегося в результате ПДО, проводили с помощью методов металлографического и рентгенофазового анализов на оптическом микроскопе «Неофот-32» и дифрактометре «Дрон-3» с кобальтовым источником K_α-излучения. Глубина проникновения рентгеновского излучения составляла 10...15 мкм. Изучение общего характера распределения хими-

Таблица 2. Состояние поверхности и изменяемые технологические параметры обработки образцов

№ образца	Наличие потенциала	Состояние поверхности	Состав покрытия	Количество импульсов
1		Образец без обработки		
2	Изолирован	Полированная	—	1
3	»»	С покрытием	Сажа	1
4	Заземлен	Полированная	—	1
5	»»	С покрытием	Сажа	1
6	»»	Полированная	—	3
7	»»	С покрытием	Сажа	3
8	»»	»»	Zn ₃ (PO ₄) ₂	1
9	»»	»»	»»	3
10	»»	»»	Типографская краска	1
11	»»	»»	То же	3

ческих элементов на поверхности в зоне плазменно-детонационного воздействия проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-840 фирмы «Джеол». Для выявления микроструктуры поверхностных слоев шлифы подвергали электролитическому травлению в 10%-м растворе хромового ангидрида. Упрочнение поверхностного слоя характеризовали микротвердостью, измеренной на металлографических шлифах. Измерения проводили на твердомере М-400 фирмы «Леко» с нагрузкой 50 г. По междуплетному расстоянию линий α-фазы определяли степень тетрагональности мартенсита [8]. Для определения количества остаточного аустенита использовали метод гомологических пар [9].

Результаты и их обсуждение. При включении образца в разрядный контур (образец № 6, рис. 1, а) наблюдается ярко выраженная зона привязки токового канала, диаметр которого составляет приблизительно 6... 8 мм. При включении образца в разрядный контур и наличии покрытия из сажи (образец № 7, рис. 1, б) в периферийной зоне наблюдаются зоны термического влияния, что свидетельствует об уменьшении контрагированности импульсной дуги у поверхности изделия. Исключение изделия из разрядного контура (образцы № 2, 3), как показывают металлографические исследования, значительно снижает тепловые потоки в обрабатываемую поверхность. При этом в результате амбиполярной диффузии частиц из объема плазмы поверхность имеет плавающий отрицательный потенциал относительно потенциала прилегающего слоя плазмы [10]. Разность потенциалов составляет Δφ = 4...6 В. В результате значительно уменьшается нагрев поверхности за счет сокращения доли теплового потока, связанного с энергией, переносимой электронами, и отсутствия объемного джоулевого тепловыделения. Фосфатные покрытия, имеющие низкую электропроводность, изолируют поверх-

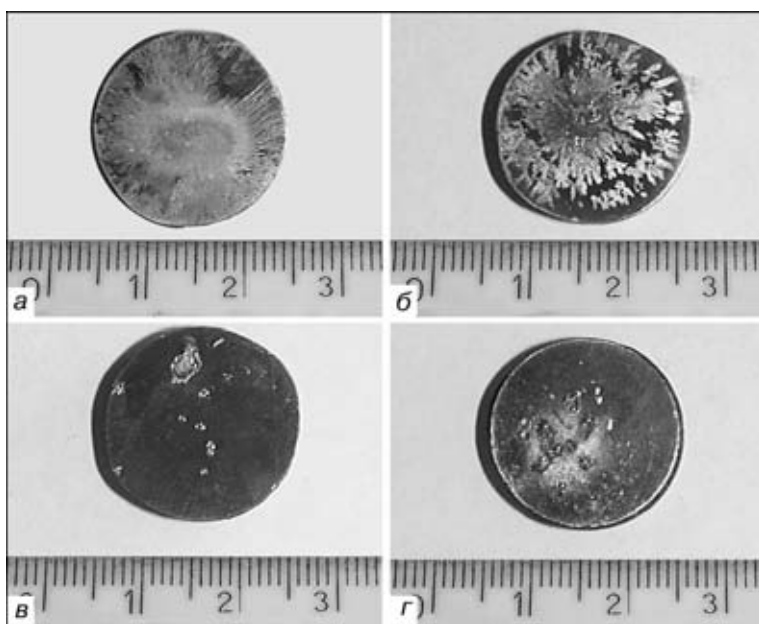


Рис. 1. Внешний вид образцов № 6 (а), 7 (б), 10 (в) и 11 (з) после ПДО (параметры обработки приведены в табл. 2)

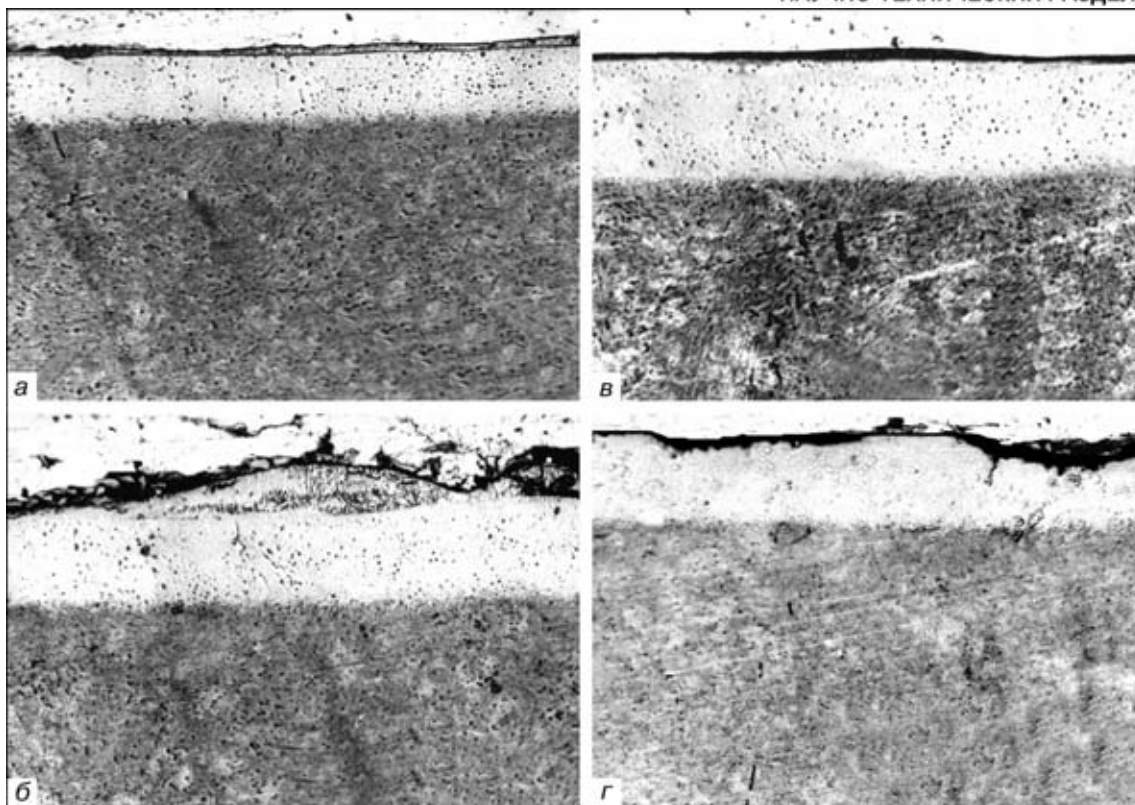


Рис. 2. Микроструктура образцов № 4, 5 (а, б), 6, 7 (в, з) (сталь У8) после ПДО. Травление электролитическое в 10 %-м растворе хромового ангидрида: а, б, з — $\times 500$; в — $\times 800$

ность от прохождения электрического тока, а усиление лучистой составляющей не компенсирует потери теплового потока. Уменьшение тепловых потоков при использовании фосфатных покрытий объясняется теми же причинами, что и при отключении изделия от разрядного контура. Применение в качестве покрытий типографской краски (образцы № 10, 11, рис. 1 в, з) приводит к образованию на поверхности образцов кратеров. Они образуются в месте, где покрытие наиболее тонкое, и, следовательно, омическое сопротивление наиболее низкое. Плотность тока в данных участках высока.

Таким образом, использование в качестве покрытий, поглощающих лучистую энергию, материала с низкой электропроводностью (фосфат цинка) и покрытий на углеродной основе (типографская краска) большой толщины (> 30 мкм) не приводит суммарно к усилению нагрева поверхностного слоя обрабатываемого материала. Для усиления лучистой составляющей теплового потока в условиях ПДО наиболее подходящими являются покрытия из сажи, имеющие высокую электропроводность и способствующие созданию среды с повышенным содержанием углерода на поверхности изделия.

Как и после других видов поверхностной закалки концентрированными источниками энергии на поверхности, подвергнутой ПДО, травление выявляет у обработанной поверхности слаботравящийся белый слой (рис. 2). Наличие этого слоя на микрошлифах обнаружить не удалось тогда, когда образцы обрабатывали без подведения электрического потенциала. Это свидетельствует о том, что в этом случае плотность энергии в

пятне обработки ниже уровня $2 \cdot 10^8$ Вт/м² [11]. При включении его в разрядный контур после обработки одним импульсом (образцы № 4, 5) образовавшийся слой имеет неравномерную толщину. В некоторых местах зоны обработки он практически незаметен, а в некоторых его толщина достигает 40 мкм (рис. 2, а, б). Микротвердость белого слоя составляет приблизительно 6500...8000, в то время как основы — 4500...5000 МПа. После трехкратной обработки слой становится более равномерным по всей области термического влияния (рис. 2, в, з), его толщина — 40 мкм, микротвердость — 8600 МПа. С использованием растровой электронной микроскопии на поверхности также обнаружено осаждение материала эродируемого электрода-анода (Мо). Эти данные свидетельствуют, что в результате осаждения пароконденсатной фазы из материала электрода существует возможность при ПДО проводить процессы легирования.

Рентгенограмма (рис. 3) отпущенной стали без ПДО (образец № 1) показывает, что в процессе отпуска закалочной структуры произошло выделение углерода из мартенсита и значительный распад аустенита. Таким образом, фазовый состав стали перед ПДО состоит из отпущенного низкоуглеродистого ($\approx 0,13$ % С) мартенсита с решеткой, близкой к кубической. Кроме того, на рентгенограмме зафиксированы пики Fe_3C — цемента, слабые пики остаточного аустенита и низкотемпературного ϵ - Fe_3C карбида. Рентгенограмма образца № 2 аналогична рентгенограмме образца № 1. Зафиксированы пики α -Fe и Fe_3C . Это подтверждает незначительное термическое воздействие на поверхность при изолировании изделия. Кроме

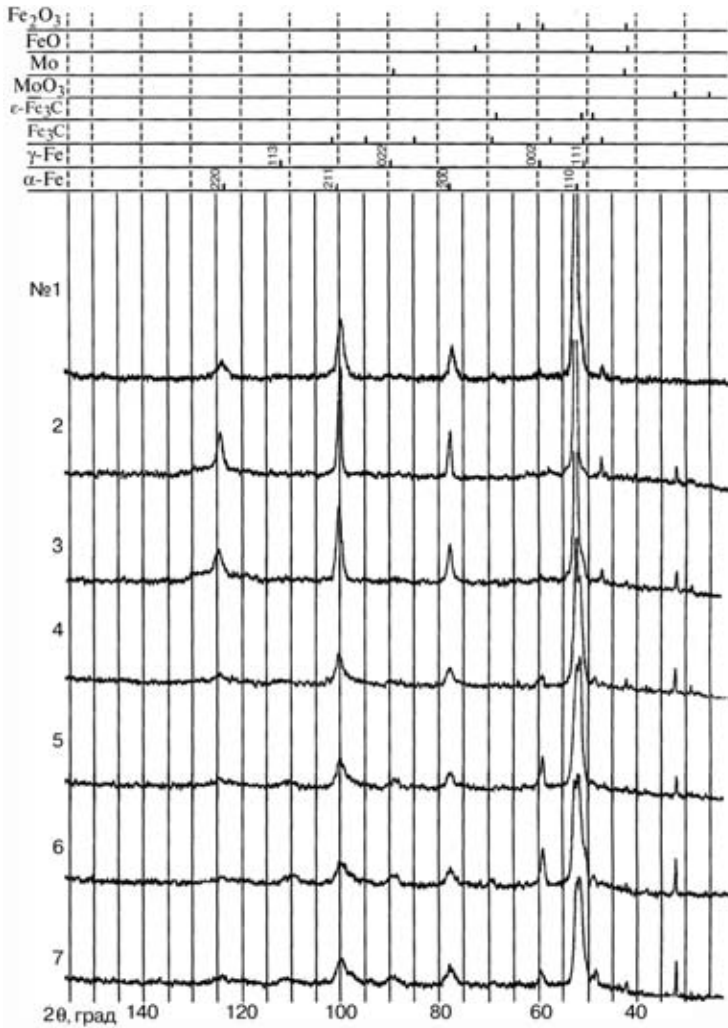


Рис. 3. Рентгенограммы поверхности исходного образца и образцов после ПДО (параметры обработки указаны в табл. 2)

того, появился отчетливый пик, соответствующий MoO_3 , а также слабые пики молибдена, что свидетельствует о переносе материала электрода на поверхность обрабатываемого изделия. Использование сажи в качестве покрытия для увеличения степени черноты поверхности не приводит к заметному изменению вида рентгенограммы. Рентгенограмма образца № 3 идентична рентгенограмме, полученной на образце № 2. Включение образца в разрядный контур при прочих равных условиях обработки значительно изменяет вид рентгенограммы образца № 4, на котором значительно умень-

Таблица 3. Содержание углерода в мартенсите и остаточного аустенита в поверхностных слоях стали У8 после ПДО (условия обработки образцов приведены в табл. 1)

№ образца	Содержание углерода в мартенсите, %	Содержание аустенита, %
1	0,13	<5
2	0,13	<5
3	0,13	<5
4	0,44	13
5	0,54	21
6	0,64	30
7	0,68	18

шается интенсивность линий α -Fe и появляются линии остаточного аустенита. Линия (110) α -Fe расщепляется на пару близко расположенных друг к другу линий мартенсита (110) и [(011) (101)]. Увеличивается тетрагональность решетки вследствие насыщения мартенсита углеродом. На пиках (200) и (211) также заметно уширение междуплетного расстояния, что подтверждает увеличение тетрагональности решетки мартенсита. Повышение содержания углерода в мартенсите происходит, во-первых, вследствие распада карбидных фаз (пики Fe_3C и α - Fe_3C на рентгенограмме практически исчезли), во-вторых, возможно насыщение углеродом из плазмообразующей среды. Обработку проводили в восстановительной среде с избытком C_3H_8 . На рентгенограмме появился пик аустенита FeO . Возможно также существование карбида MoC . Точно определить его наличие достаточно сложно из-за близости значений межплоскостных расстояний в кристаллической решетке MoC и FeO . Наличие поглощающего покрытия в виде сажи на поверхности обрабатываемого изделия (образец № 5) приводит к уменьшению содержания оксидов. Кроме того, заметно усиление термического влияния за счет лучистого потока. Это приводит к увеличению содержания аустенита (пик (002) γ -Fe, образец № 5, рис. 3). Междуплетное расстояние γ -Fe (002)–[(020) (200)] на рентгенограмме образца № 5 больше по сравнению с соответствующим расстоянием на рентгенограмме образца № 4, что свидетельствует об увеличении тетрагональности мартенсита. Возрастание количества импульсов до трех (образец № 6 рис. 3) способствует дальнейшему усилению относительной интенсивности пиков остаточного аустенита. Значительно усиливается интенсивность пика MoO_3 . Максимальное содержание углерода в мартенсите зафиксировано на рентгенограмме образца № 7. Линия (112) γ -Fe расщепляется на пару линий высокоуглеродистого мартенсита (112) и [(121)(211)].

Размытие линий на рентгенограммах образцов после ПДО свидетельствует о напряженном состоянии обработанной поверхности в результате фазового наклепа, что несколько усложняет идентификацию рентгенограмм. Уширение рентгеновских линий сильнее при более интенсивном энергетическом воздействии на поверхность, что зафиксировано на рентгенограммах образцов № 6 и 7. Несмотря на довольно высокое содержание аустенита, твердость в поверхностных слоях увеличится за счет фазового наклепа в результате обратимых α - γ -превращений. В табл. 3 приведены результаты определения содержания углерода в мартенсите и остаточного аустенита в поверхностных слоях образцов из стали У8 после различных вариантов ПДО.

Известно, что при 0,7 % С в мартенсите твердость достигает максимального значения HRC 64



и при дальнейшем повышении содержания углерода она существенно не увеличивается [12]. Повышение содержания углерода в мартенсите при увеличении количества импульсов связано с насыщением обрабатываемой поверхности углеродом из плазмообразующей среды. Максимальное содержание углерода в мартенсите зафиксировано в образце № 7. Это связано с тем, что, помимо насыщения поверхности углеродом из плазмообразующей среды, часть его диффундирует в поверхностные слои при ПДО непосредственно из предварительно нанесенного покрытия (сажи). Количество остаточного аустенита возрастает при увеличении количества плазменных импульсов. После ПДО его содержание в поверхностном слое может достигать 30 %, что существенно выше, чем после печной закалки. Это может быть обусловлено более высокой температурой нагрева при ПДО, а также большой скоростью охлаждения, препятствующей процессу распада аустенита. Аналогичные результаты имеют место при обработке поверхности и другими концентрированными источниками энергии [13, 14].

Выводы

1. Нанесение поглощающих покрытий на обрабатываемую поверхность неоднозначно сказывается на процессе ПДО изделий. Положительный эффект зафиксирован при применении тонких (< 5 мкм) покрытий на основе углерода, например, сажи. При этом происходит незначительное усиление теплового потока за счет лучистой составляющей, а также увеличение тетрагональности мартенсита за счет диффузии углерода в поверхностные слои.

2. Толстые (≈ 40 мкм) покрытия на основе типографской краски и покрытия из фосфата цинка (≈ 8 мкм) с большим электросопротивлением играют роль барьера для потока энергии, приносимой электронами, нейтральными атомами и ионами. Увеличение лучистой составляющей не компенсирует эти потери, что приводит в целом к снижению интенсивности нагрева поверхности.

3. При ПДО изолированного изделия поверхность его находится под отрицательным плавающим потенциалом относительно потенциала прилегающего слоя плазмы. Это приводит к заметному уменьшению теплового потока, приносимого элект-

ронной составляющей и исключению объемного джоулевого тепловыделения, что в результате снижает плотность энергии в пятне обработки ниже уровня, необходимого для эффективного модифицирования структуры поверхности.

4. Исследования подтвердили, что при ПДО можно осуществить легирование поверхности за счет переноса материала эродируемого электрода. Для эффективной реализации этого процесса ПДО необходимо проводить в режиме, когда эродируемый электрод является анодом по отношению к поверхности изделия.

1. *Борисов Ю. С., Тюрин Ю. Н.* Упрочняющая обработка деталей машин высокоэнергетической плазмой. — Киев, 1991. — 36 с. — (Препр. / АН Украины. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; ИЭС-92.-1).
2. *Тюрин Ю. Н., Колисниченко О. В., Цыганков Н. Г.* Импульсно-плазменное упрочнение инструмента // Автомат. сварка. — 2001. — № 1. — С. 38–44.
3. *Коваленко В. С., Головки Л. Ф., Черненко В. С.* Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. — Киев: Техніка, 1990. — 192 с.
4. *Кисилевский Л. И., Морозов В. А., Снопко В. Н.* Свойства и применение импульсных высокоэнтальпийных сверхзвуковых плазменных струй // Физика и применение плазменных ускорителей / Под ред. А. И. Морозова. — Минск: Наука и техника, 1974. — 400 с.
5. *Борисов Ю. С., Колисниченко О. В.* Исследование амплитудно-временных характеристик импульса тока при плазменно-детонационной обработке изделий // Автомат. сварка. — 2000. — № 12. — С. 56–60.
6. *Электроискровое легирование металлических поверхностей* / Г. В. Самсонов, А. Д. Верхотуров, Г. А. Бовкун, В. С. Сычев. — Киев: Наук. думка, 1976. — 219 с.
7. *Соловьев В. А.* Определение коэффициента поглощения системы покрытие–металл в условиях действия излучения CO_2 -лазера // Физика и химия обраб. материалов. — 1988. — № 3. — С. 102–106.
8. *Миркин Л. И.* Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1979. — 134 с.
9. *Бекренев А. Н., Константинов М. П.* Рентгеновское определение количества остаточного аустенита в сталях // Зав. лаб. — 1995. — № 2. — С. 42–43.
10. *Райзер Ю. П.* Физика газового разряда. — М.: Наука, 1992. — 536 с.
11. *Справочник по технологии лазерной обработки* / Под ред. В. С. Коваленко. — Киев: Техніка, 1985. — 167 с.
12. *Гуляев А. П.* Металловедение: Учеб. для вузов. 6-е изд. — М.: Металлургия, 1986. — 544 с.
13. *Гуреев Д. М.* Влияние лазерного воздействия на перераспределение углерода в поверхностных слоях инструментальных сталей // Физика и химия обраб. материалов. — 1994. — №1. — С. 27–39.
14. *Особенности упрочнения стали У8 с помощью импульсно-плазменной обработки* / М. Н. Волошин, Д. А. Гасин, И. Р. Кораблева, Н. Н. Скляренко // Там же. — 1994. — № 1. — С. 16–20.

Solving a nonstationary equation of heat conductivity by the finite difference method enabled determination of the temperature fields of surface layers during plasma-detonation processing (PDP) of items. Obtained theoretical dependencies were the basis for conducting analysis of the kinetics of phase transformations in the structure of U8 steel at PDP.

Поступила в редакцию 19.07.2002



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ВСТАВОК ПРИ ЗАМЕНЕ МОНТАЖНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТЕНКИ РУЛОНИРОВАННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

А. Ю. БАРВИНКО, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Е. А. ГОЦУЛЯК, д-р техн. наук (Киев. нац. ун-т строительства и архитектуры)

Рассматривается восстановление работоспособности вертикальных монтажных соединений стенки рулонированных резервуаров путем последовательного вырезания участков совмещенного в одну линию шва и вваривания по поясам прямоугольных вставок. Показано, что при отклонении вставок от проектного положения появляются дополнительные местные напряжения по вертикальной линии сопряжения вставки и оболочки, а также в центре вставки, что требует установления специальных допусков на отклонение. Предложен критерий для определения допусков на отклонения прямоугольных вставок от проектного положения.

Ключевые слова: рулонированные резервуары, вертикальные стенки, монтажные соединения, геометрическая форма, вварка вставок, допустимые отклонения

В настоящее время актуальной проблемой, возникающей при ремонте цилиндрических стальных резервуаров, которые сооружены методом рулонирования [1, 2], является восстановление работоспособности вертикальных монтажных соединений стенки, совмещенных в одну линию. Один из способов решения этой проблемы, предложенный в ИЭС им. Е. О. Патона, — замена монтажных соединений в одну линию на соединения с разбежкой сварных швов по поясам. При этом существующее соединение последовательно вырезается и вместо него ввариваются специальные вставки (рис. 1) с разбежкой сварных швов не менее 15 толщин пояса [3].

После вварки вставок в стенку резервуара их геометрическая форма в силу влияния различных факторов (колебание размеров поперечной усадки, точность сборки и пр.) будет отличаться от проектной. Установлено [4], что существующие критерии оценки местных отклонений геометрической формы стенки резервуара [3] по зазору между стенкой и шаблоном длиной 1 м не всегда могут быть применимы для вставок. В то же время наличие таких отклонений вызывает появление значительных дополнительных напряжений изгиба. С целью ограничения этих напряжений необходимо определить дополнительный допуск на отклонения геометрической формы вставок от проектной, руководствуясь положениями местной прочности.

На первом этапе разработки допусков на размеры вмятин в стенке резервуара [5], вошедших в нормативный документ [6], основное внимание было уделено предотвращению «прохлопывания», что может привести к разрушению стенки.

Позднее, кроме этого, начали оценивать также влияние вмятин на напряженное состояние стенки. Вмятину в этом случае рассматривали как сферическую симметричную оболочку [7] или как ло-

кальный гофр в кольце единичной высоты. Использовали также метод конечных элементов, позволяющий описать фактическую форму вмятин и оценить их влияние на напряженное состояние стенки [8].

Имеющиеся литературные данные о напряженном состоянии цилиндрической оболочки стенки резервуара с вмятиной прямоугольной формы не достаточны для определения допускаемого отклонения геометрической формы вставок. С целью определения дополнительных допусков на указанное отклонение было выполнено исследование напряженного состояния стенки резервуара с вмятиной прямоугольного очертания.

Учитывая, что вмятина и оболочка описываются различными формами поверхности, разрешающие соотношения теории оболочек формулировали в общей криволинейной системе координат [9].

Исследование процесса деформирования тонких оболочек в пределах конечных деформаций проводили с использованием подхода Лагранжа. Дискретизация разрешающей системы скалярных дифференциальных при расчете напряженного состояния вмятин выполнялась с помощью метода криволинейных сеток [10]. Задача решалась в нелинейной постановке с использованием программного комплекса «МЕКРИС-2» [11].

Цилиндрическая оболочка задавалась своей срединной поверхностью в параметрической форме:

$$x = r \sin x^1; y = r \cos x^1; z = x^2, \quad (1)$$

где r — радиус цилиндрической оболочки, который в области вмятины описывается выражением

$$r = r_0 + a_0 \cos \frac{\pi x^1}{\alpha} \cos \frac{\pi x^2}{l}, \quad (2)$$

где r_0 — проектный радиус; a_0 — глубина вмятины; α — центральный угол дуги вмятины; l — длина дуги вмятины.

Рассматривалась упрощенная расчетная схема несовершенной оболочки стенки резервуара с вмя-

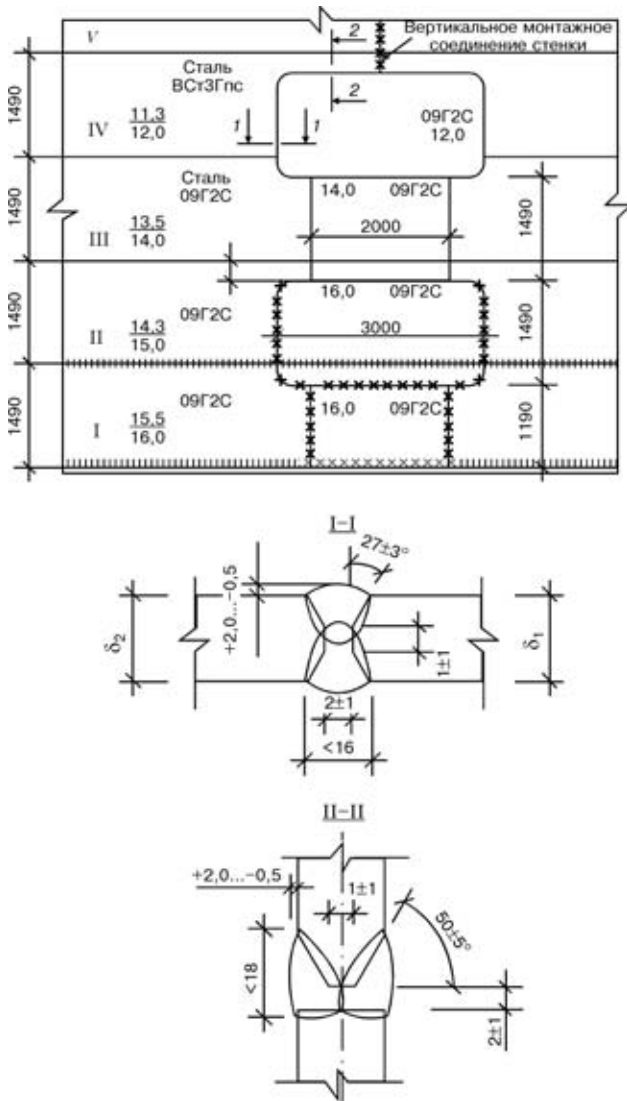


Рис. 1. Схема сваривания прямоугольных вставок в нижние пояса стенки рулонированного резервуара вместимостью 20 тыс. куб. м: I-V — номера поясов стенки резервуара; в числителе — фактическая, в знаменателе — проектная толщина листа (мм)



Рис. 2. Разностная сетка цилиндрической оболочки стенки резервуара радиусом $r = 19950$ мм с вмятиной прямоугольного очертания

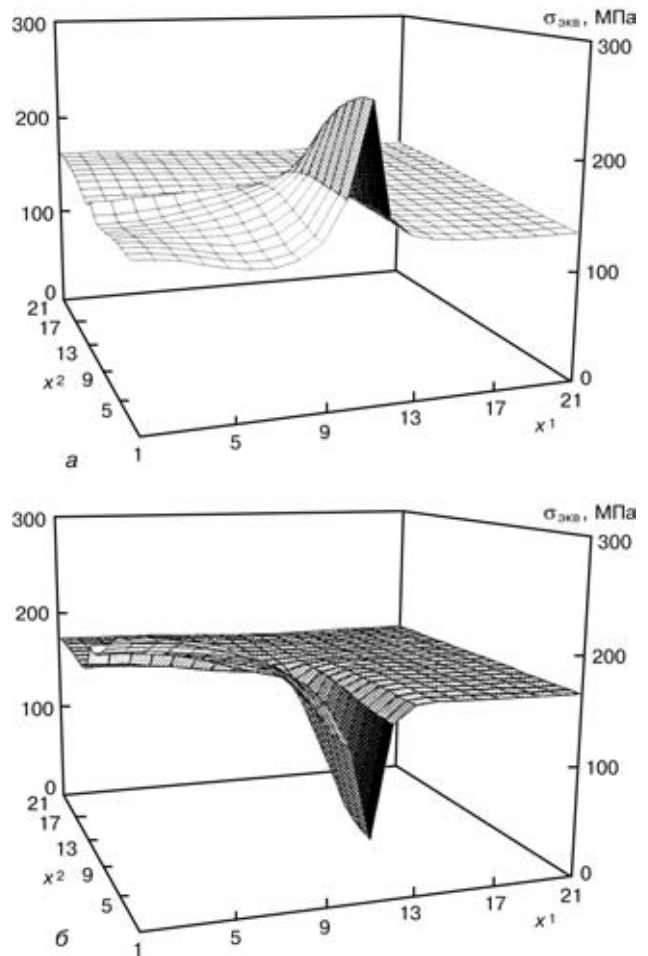


Рис. 3. Поля эквивалентных напряжений в цилиндрической оболочке с вмятиной прямоугольного очертания во внутреннем (а) и наружном (б) волокне; $\sigma_{экв}$ — эквивалентные напряжения

тиной прямоугольного очертания глубиной $a_0 = -20$. Из бесконечной цилиндрической оболочки толщиной $\delta = 10$ мм и радиусом $r = 19950$ мм (соответствует резервуару вместимостью 20 тыс. куб. м) с вмятиной прямоугольного очертания (1500×2000 мм), находящейся под воздействием равномерного внутреннего давления, была выделена $1/4$ часть зоны, окружающей вмятину (рис. 2). По границам этой зоны были заданы условия симметрии полей напряженно-деформированного состояния.

Результаты расчета показали, что максимальная концентрация напряжений образуется на вертикальной линии сопряжения оболочки стенки резервуара и вмятины во внутреннем волокне (рис. 3, а), где коэффициент концентрации составляет $K = 1,6$. Это объясняется тем, что в месте сопряжения оболочки и вмятины имеет место излом поверхности и в результате налива жидкости выравнивание вмятины приводит к появлению максимальных изгибающих моментов и соответствующих напряжений.

Другой областью вставки, где наблюдается увеличение эквивалентных напряжений, является наружное волокно в центре вмятины, где $K = 1,35$ (рис. 3, б). И хотя здесь концентрация напряжений меньше, чем на линии сопряжения, однако при расчетах, по-видимому, необходимо ориентироваться на центральную область вставки, так как

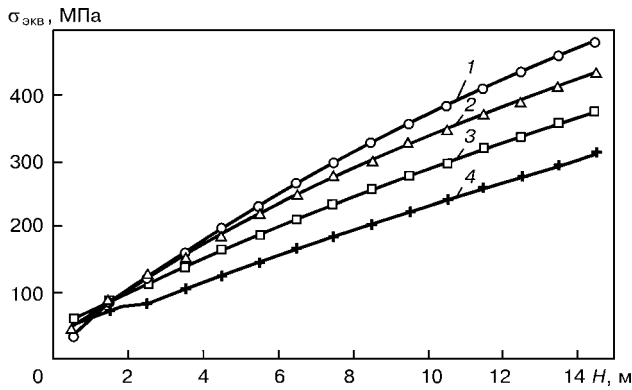


Рис. 4. Зависимость эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ во внутреннем волокне на вертикальной линии сопряжения от высоты налива нефти H при различной глубине вмятины: 1 — $a_0 = -10$; 2 — -20 ; 3 — -30 ; 4 — -40 мм

сопряжения в реальной конструкции осуществляется без образования излома и соответственно концентрация напряжений в зоне сопряжения будет значительно меньше расчетной.

На рис. 4 показана зависимость эквивалентных напряжений (рассчитанных по 4-й теории) во внутреннем волокне на вертикальной линии сопряжения вмятины с остальной оболочкой от высоты налива нефти. Как видно из рисунка, изменение этих напряжений происходит по линейному закону (за исключением начальной стадии деформирования).

Принимая во внимание, что при оценке значений дополнительных напряжений целесообразно рассматривать центральную область вмятины, а также считая, что вмятина пологая и ее сопряжение с цилиндрической оболочкой плавное, можно рассмотреть упрощенную расчетную схему цилиндрической оболочки с несовершенством. В цилиндрической оболочке радиусом r основной силой, уравновешивающей внутреннее давление q , является окружная растягивающая сила, определяемая по формуле

$$N = qr. \quad (3)$$

Заменим дефектную зону оболочки стержнем с начальной глубиной вмятины a_0 . Этот стержень шарнирно оперт, имеет единичную ширину и длину l и нагружен растягивающей силой N (рис. 5).

Составим уравнение равновесия стержня, исходя из условия равенства нулю суммы внутреннего и внешних моментов:

$$-EI \frac{d^2w}{dx^2} = N(a - w), \quad (4)$$

где E — модуль упругости стали; I — момент инерции стержня.

Начальное искривление и прогиб стержня аппроксимируем полуволевой косинусом:

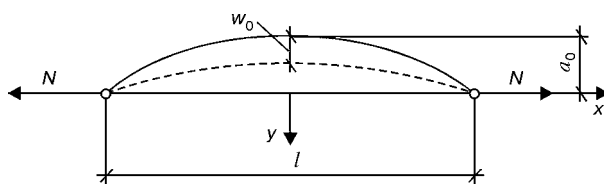


Рис. 5. Стержневая модель (w_0 — начальный прогиб стержня)

$$a = a_0 \cos \frac{\pi x}{l}; \quad w = w_0 \cos \frac{\pi x}{l}. \quad (5)$$

Подставив выражение (5) в уравнение равновесия (4), получим следующее уравнение:

$$EIw_0 \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \cos \frac{\pi x}{l} = N(a_0 - w_0) \cos \frac{\pi x}{l}.$$

Найдем его решение:

$$w_0 = \frac{Na_0}{N + N_{\text{кр}}}, \quad (6)$$

где $N = \gamma Hr$ (здесь γ — удельная масса жидкости, находящейся в резервуаре); $N_{\text{кр}} = \pi^2 EI / l^2$ — критическая сила шарнирно-опертого стержня. В центре стержня ($x = 0$) по стержневой модели найдем момент M и максимальное напряжение $\sigma_{\text{с.м}}$:

$$M = \frac{\pi^2 EINa_0}{l^2(N + N_{\text{кр}})}; \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{с.м}} = \frac{N}{\delta} + \frac{\pi^2 EINa_0}{l^2(N + N_{\text{кр}})} \frac{6}{\delta^2} = N \left[\frac{1}{\delta} + \frac{\pi^2 E \delta a_0}{2l^2(N + N_{\text{кр}})} \right]. \quad (8)$$

При наливе жидкости с удельным весом γ до высоты H

$$\sigma_{\text{с.м}} = H\gamma \left[\frac{1}{\delta} + \frac{\pi^2}{2} \frac{E \delta a_0}{l^2 \gamma (H + H_{\text{кр}})} \right], \quad (9)$$

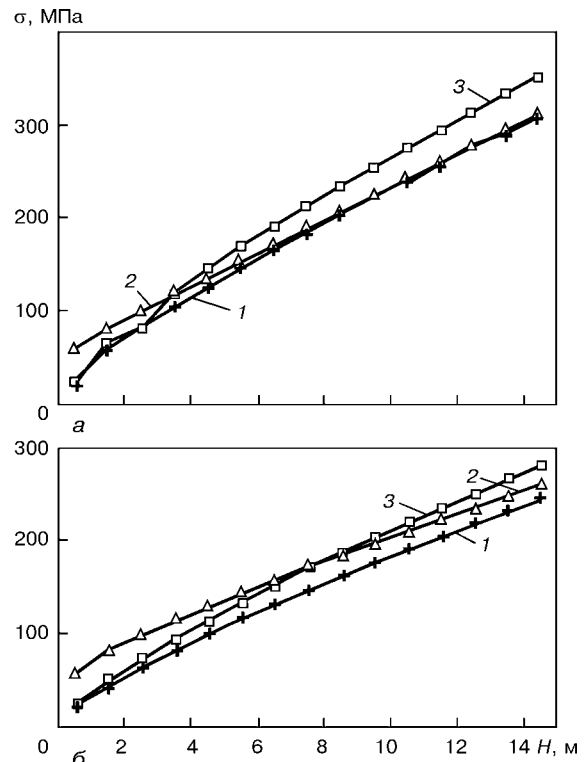


Рис. 6. Сравнение значений напряжений σ , полученных с использованием оболочечной и стержневой моделей при $a_0 = -20$ мм и толщине оболочки резервуара 10 (а) и 15 мм (б): 1 — эквивалентные напряжения; 2 — определенные по стержневой модели; 3 — окружные

где $H_{кр} = N_{кр} / \gamma r$ — критическая высота налива.

При сравнении в средней части вмятины в наружном волокне эквивалентных напряжений, рассчитанных с использованием оболочечной и стержневой моделей, видно, что для цилиндрической оболочки толщиной $\delta = 10$ мм наблюдается хорошее совпадение их значений: разница составляет не более 4 % при высоте налива свыше 7 м (рис. 6, а). Для случая оболочки, имеющей большую толщину ($\delta = 15$ мм), точность расчета, выполненного с использованием стержневой модели снижается, однако при $H \geq 11$ м разница между эквивалентным напряжением и напряжением в стержне не превышает 10 % (рис. 6, б). Поскольку листы толщиной 14...17 мм используются, как правило, в нижних нагруженных поясах, условие $H \geq 11$ м выполняется, и применение для расчета стержневой модели в этом случае оправдано. Зависимость эквивалентных напряжений от высоты налива нефти для цилиндрической оболочки толщиной 10 и 15 мм близка к линейной.

Линейный характер зависимости значений напряжений в центре вставки и по линии ее сопряжения с оболочкой от высоты налива при различном значении отклонений формы вмятины от проектной и, как показали экспериментальные исследования, отсутствие кручения вставок (изменяется только кривизна образующей кривой) позволяют в качестве основной характеристики их геометрической формы принять проектную длину стрелки вставки $f_{пр}$ (рис. 7). Отклонение геометрической формы вставки в свою очередь будет характеризоваться значением a_0 , равным разнице между фактической и проектной длиной стрелки (рис. 7).

Дополнительная проверка точности предложенной стержневой модели была выполнена для фактических отклонений геометрической формы вставок, сваренных при замене вертикальных монтажных соединений в одну линию на соединения вразбежку в резервуаре вместимостью 20 тыс. куб. м [4]. Геометрическая форма стенки резервуара в этом случае отвечает приведенным выше требованиям. В частности, дополнительные напряжения по вертикальной линии сопряжения вставки со стенкой резервуара отсутствовали, что позволило применить стержневую модель. Сравнение значений эквивалентных напряжений, рассчитанных методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса SCAD [12], в наружном волокне по вертикальной оси симметрии вставки и значений напряжений, рассчитанных по стержневой

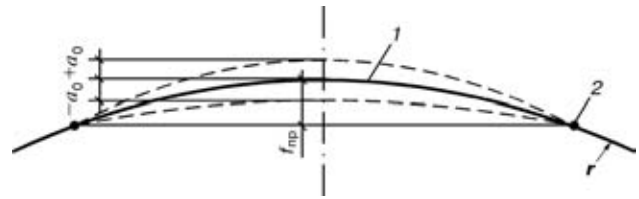


Рис. 7. Определение отклонения геометрической формы вставок от проектного положения: 1 — проектное положение; 2 — вертикальные сварные швы

модели, показали, что они достаточно близки — разность составляла в среднем 10 % (табл. 1).

Таким образом, результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что стержневая модель может быть использована для определения допустимых отклонений геометрической формы вставок после их сваривания. При этом необходимо соблюдать следующие условия: отсутствие резких изломов в месте сопряжения цилиндрической оболочки и несовершенств (по вертикали и горизонтали); вмятина должна быть полой.

Анализ зависимости значений дополнительных напряжений от длины вставок, определенных с использованием стержневой модели (8), в наиболее нагруженном поясе резервуара вместимостью 20 тыс. куб. м (табл. 2) показал, что наличие даже небольших начальных отклонений от проектной геометрической формы вызывает значительную концентрацию напряжений. Полученный результат показывает необходимость высокой точности сварки вставок в стенку резервуара. Из табл. 2 видно также, что результаты измерений отклонений вставки при помощи шаблона длиной 1000 мм могут быть использованы только при первичной их оценке. Так, в соответствии с [3], для толщины 6...12 мм допустимый зазор между шаблоном и стенкой составляет 14 мм, что в случае вставки длиной 1000 мм и толщиной 11,3 мм соответствует коэффициенту концентрации напряжений $K \approx 1,8$.

Для определения допустимости отклонений вставок можно принять следующий подход. Анализ полученных в ИЭС им. Е. О. Патона экспериментальных данных о фактической длине стрелок показал, что на практике для резервуара вместимостью 20 тыс. куб. м с толщиной стенки $\delta = 8...16$ мм и радиусом $r = 19950$ мм при сваривании вставок длиной 2000 и 3000 мм можно достичь точности соответственно $a_0 = \pm 7$ и ± 10 мм. Такие отклонения не должны вызывать значительных дополнительных напряжений. Принимая во внимание, что появление местных дополнительных напряжений вызвано изгибом, их допустимые значения, по-видимому, должны ограничиваться 5...8 % значений кольцевых напряжений. В случае, если для изготовления вставок используется более прочная сталь, чем для соответствующего пояса, то значения дополнительных напряжений можно определять с учетом отношения их расчетных пределов текучести. На основании изложенного выше можем записать

$$\sigma_{с.м} \leq \gamma_{с.вн} R_y, \quad (10)$$

Таблица 1. Сравнение результатов расчета эквивалентных напряжений $\sigma_{экив}$ в наружном волокне, полученных с использованием SCAD, и напряжений, рассчитанных по стержневой модели $\sigma_{с.м}$.

№ пояса резервуара	δ , мм	H , м	a_0 , мм	$\sigma_{экив}$, МПа	$\sigma_{с.м}$, МПа	Разница напряжений, %
I	16	14,75	37,5	331*	299	10
IV	14	11,75	18,5	209	204	2
V	14	10,25	16,0	230*	197	15
VI	12	8,75	14,0	187	169	10

* Среднее значение напряжения.



Таблица 2. Отношение напряжений, рассчитанных по стержневой модели, к допустимым кольцевым напряжениям

a_0 , мм	Длина вставки, мм				
	1000	1500	2000	2500	3000
5	1,26	1,11	1,05	1,03	1,01
10	1,53	1,24	1,13	1,08	1,05
15	1,81	1,37	1,20	1,12	1,08
20	2,09	1,50	1,28	1,17	1,11
25	2,37	1,63	1,36	1,22	1,15
30	2,64	1,77	1,48	1,27	1,13

Примечание. Для расчета были взяты следующие данные: максимальный уровень налива нефти в резервуаре — 14700 мм; IV пояс резервуара из стали ВСтЗГпс5 $\delta = 11,3$ мм; расчетное сопротивление $R_y = 225$ МПа; $\gamma_c = 0,8$.

где γ_c — коэффициент условий работы пояса резервуара, определяемый в соответствии с [13] или [3]; $\gamma_{\text{вм}}$ — коэффициент, определяющий допустимые значения дополнительных местных напряжений в вставке (вмятине) по отношению к кольцевым и принимаемый равным 1,05...1,08 или $\gamma_{\text{вм}} = R_{y \text{ вставки}} / R_{y \text{ пояса}}$ (здесь R_y — расчетное сопротивление стали пояса/вставки по пределу текучести).

Из выражения (10) с учетом (9) определим допустимое отклонение a_0 от проектного:

$$a_0 \leq \frac{2l^2(1 + H_{\text{кр}}/H)}{\pi^2 E \delta} \gamma_c \gamma_{\text{вм}} R_y - \frac{H \gamma_r}{\delta}. \quad (11)$$

Оценим значения дополнительных напряжений в наиболее нагруженном IV поясе резервуара РВС-20000 СКП № 11 НПС «Августовка» филиала ПДМН ОАО «Укртрансффта» (табл. 2) для имеющих место указанных выше отклонений длины стрелки: при вставке длиной 2000 мм дополнительные напряжения составляют 8 % ($\gamma_{\text{вм}} = 1,08$), а при вставке длиной 3000 мм — 5 % ($\gamma_{\text{вм}} = 1,05$). В случае, если принять $\gamma_{\text{вм}} = 1,08$ при вставке длиной 3000 мм, допустимые отклонения геометрической формы вставок, рассчитанные по (11), составят $a_0 = \pm 15$ мм. Для других, менее нагруженных поясов, выбранный допуск обеспечивает меньшие значения эквивалентных напряжений, которые не превышают значений допустимых кольцевых — $\sigma_{\text{с.м}} \leq \gamma_c R_y$.

Выводы

1. При оценке напряженного состояния цилиндрической стенки резервуара с прямоугольными вставками необходимо учитывать концентрацию напряжений в наружном волокне в центре вставок.

Considered is the method for restoration of performance of vertical assembly joints in a wall of coiled tanks by successive cutting out of regions of an aligned weld and welding instead of it the rectangular inserts with a girth arrangement of the vertical welds. It is shown that deviation of the inserts from their specified positions leads to formation of extra stresses along the vertical insert to shell joining line, as well as at the centre of an insert, which requires special allowances to be made for the deviation. Criterion for determination of allowances for deviation of rectangular inserts from their specified positions is suggested.

2. Основной характеристикой, описывающей отклонение геометрической формы прямоугольной вставки от проектной, является разница между проектной и фактической длиной ее стрелки.

3. В качестве допустимых отклонений стрелки вставки от проектной предлагается принять такие, которые обеспечивают значения дополнительных напряжений не более 5...8 % значений допустимых кольцевых напряжений.

4. Для назначения допустимых отклонений длины стрелки вставки прямоугольного очертания от проектной может быть использована стержневая модель.

5. Для получения на практике значений допустимых отклонений вставок требуется разработка специальной технологии сварки, обеспечивающей достаточно высокую точность их вваривания.

1. Раевский В. Г. Новый метод изготовления стационарных сварных резервуаров // Автоген. дело. — 1946. — № 5/6. — С. 17–20.
2. Билецкий С. М., Голинько В. М. Индустриальное изготовление негабаритных сварных листовых конструкций. — Киев: Наук. думка, 1983. — 272 с.
3. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа. — Введ. 01.10.94.
4. Повышение работоспособности вертикальных монтажных сварных соединений стенки цилиндрических резервуаров, построенных из рулонированных заготовок / Ю. П. Барвинко, В. М. Голинько, А. Ю. Барвинко // Автомат. сварка. — 2001. — № 7. — С. 27–32.
5. Писанко Н. М. Комплексное решение вопроса о допусках при изготовлении сварных вертикальных цилиндрических резервуаров // Сб. тр. Моск. инж.-строит. ин-та им. В. В. Куйбышева. — 1962. — Вып. 18. — С. 57–82.
6. СНиП II-V.5-62. Металлические конструкции. Правила изготовления, монтажа и приемки. — Введ. 01.01.63.
7. Васкевич А. А. О дополнительных напряжениях в элементах металлических резервуаров // Транспорт и хранение нефти. — 1978. — № 6. — С. 15–19.
8. Катанов А. А. Комплексная оценка напряженно-деформированного состояния резервуаров с использованием компьютерных методик // Тез. междунар. коллоквиума «Новые решения в проектировании и строительстве стальных резервуаров», г. Одесса, 13–15 июня 2000 г. — Киев: ВАТ «УкрНДПроектстальконструкция», 2000. — С. 23–24.
9. Черных К. Ф. Линейная теория оболочек. Ч. 2. — Л.: Изд-во Ленинград. гос. ун-та, 1964. — 114 с.
10. Гоцуляк Е. А. О сеточной дискретизации векторных соотношений теории оболочек в криволинейной системе координат // Приклад. механика. — 2001. — 37, № 6. — С. 89–94.
11. Расчет на устойчивость оболочек сложной формы (методические указания по использованию комплекса программ «МЕКРИС-2») / В. А. Баженов, В. И. Гуляев, Е. А. Гоцуляк и др. — Киев: КИСИ, 1987. — 134 с.
12. SCAD для пользователя / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. — Киев: Компас, 2000. — 328 с.
13. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. — Введ. 29.12.85.

Поступила в редакцию 23.01.2003

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ (Обзор)

В. П. ТАРНОГРОДСКИЙ, канд. техн. наук, Е. Ю. ПОНОМАРЕВА, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены способы повышения прочности сварных соединений труб из термопластов, основанные на удалении оксидной пленки с помощью срезания в процессе сварки пластмасс ИК-излучением, применения профилированного нагревательного инструмента и механического перемешивания.

Ключевые слова: сварка, термопласты, ИК-излучатель, профилированный нагревательный инструмент, механическое перемешивание

Теоретической основой научных разработок технологии и оборудования для сварки пластмасс являются исследования механизма образования сварных соединений. Известно [1], что при сварке в процессе взаимодействия торцов свариваемого полимера с нагревательным инструментом и окружающей атмосферой (в результате термоокислительной деструкции) образуется поверхностный слой, который по своим свойствам резко отличается от первоначального материала. Этот слой в виде пленки препятствует соединению расплавленных поверхностей и может привести к полному или частичному несплавлению, что в значительной степени влияет на прочность. Для получения качественного сварного соединения необходимо удалять образующиеся на поверхности оплавленных кромок ингредиенты, интенсифицируя реологические процессы в зоне контакта. Известно [2], что с увеличением толщины свариваемых торцов возрастает время нагрева. Так, при подготовке торцов к сварке с помощью ИК-излучения для труб из ПНД диаметром 110 мм и толщиной стенки $\delta = 10$ мм время нагрева не превышает 19 с, а для трубы из ПНД диаметром 800 мм и $\delta = 26$ мм проплавление на глубину 2 мм длится 45 с. Естественно, что во втором случае оксидная пленка, препятствующая сварке, значительно прочнее в связи с более длительным периодом окисления, а следовательно, прочность сварного соединения ниже, чем в первом случае. Таким образом, сварка толстостенных элементов указанным способом затруднена. Существует ряд способов разрушения оксидной пленки в процессе сварки. Например, колебанием одной трубы относительно оси на $2...3^\circ$ и возвратно-поступательным смещением относительно оси на $2...3$ мм в процессе осадки с частотой $3...5$ Гц [1]. Недостатком указанных способов является то, что требуются специальные механизмы, создающие колебательные или возвратно-поступательные движения.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины разработан и опробован способ удаления оксидной пленки в процессе сварки пластмасс ИК-излучением. Особенность его применения

заключается в следующем. ИК-излучатель 1 (рис. 1, а, б) вводят в зазор между свариваемыми торцами 2 и проплавливают их на требуемую глубину. Затем свариваемые торцы прижимают к инфракрасному излучателю и без снятия давления осадки нагревательный инструмент плавно удаляют (рис. 1, в). Температура нагревательного инструмента в момент прижатия должна быть ниже температуры возгорания. При этой температуре материал не возгорает, а оксидная пленка соединяется с поверхностью нагревательного инструмента путем спекания, затем при его удалении срезается со свариваемых торцов (рис. 1, г) и производится их осадка.

Этот способ был опробован при сварке элементов трубы из ПНД диаметром 800 мм и толщиной стенки $\delta = 26$ мм. Размеры образцов $65 \times 26 \times 80$ мм. Опытный образец ИК-излучателя был изготовлен в ИЭС им. Е. О. Патона. Он представляет собой нихромовую пластину толщи-

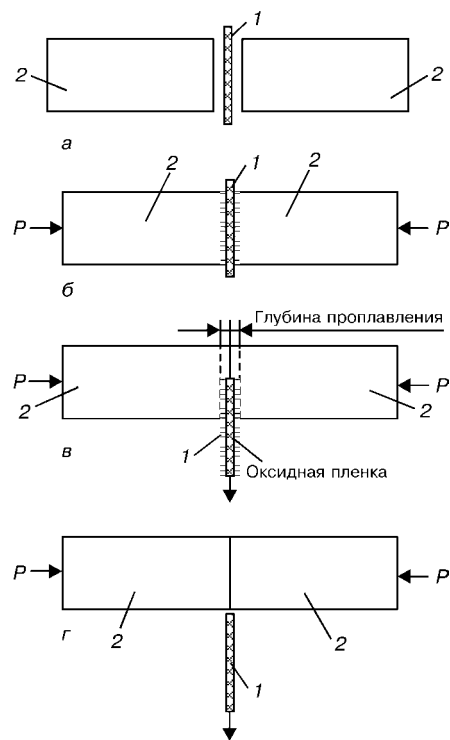


Рис. 1. Схема последовательности процесса сварки термопластов с помощью ИК-излучателя (обозначения позиций см. в тексте)



ной 1 мм и шириной 40 мм. Температура излучающей поверхности 850 °С. ИК-излучатель вводится между свариваемыми кромками в середину зазора, равного 20 мм. После того, как поверхностный слой свариваемых торцов проплавится на глубину 2 мм (разогрев кромок длится 45 с), нагревательный инструмент отключается от источника питания и остывает 2 с до температуры ниже температуры возгорания (для ПНД эта температура принималась равной 500 °С). Затем торцы труб прижимаются к нагревателю с давлением осадки 0,02 МПа. При температуре, равной 500 °С, оксидная пленка соединяется с нагревательным инструментом в результате спекания. Через 2 с без снятия давления осадки 0,02 МПа нагревательный инструмент плавно удаляется со скоростью 2 см/с, после чего давление осадки доводится до 0,2 МПа. В процессе извлечения нагревательный инструмент срезают оксидную пленку, соединяемую с ним. При повторном включении нагревательного инструмента пленка и прилипший материал сгорают — происходит самоочистка, т. е. не требуется антиадгезионного слоя и специальной очистки. Полученное сварное соединение было испытано на растяжение. Как показали исследования, среднее значение прочности сварного шва не ниже среднего значения прочности основного материала. Это объясняется тем, что соединялись неокисленные поверхности, благодаря чему сварное соединение не ослабила оксидная пленка, как это происходит при известных способах сварки с помощью ИК-излучателя. Равнопрочность сварного соединения позволяет полностью использовать несущую способность материала.

Другим важным фактором, определяющим прочность сварного соединения, является перемешивание расплава свариваемых поверхностей в процессе сварки. Оно способствует выравниванию физических параметров затвердевающего материала, дроблению и частичному удалению вредных включений из зоны сварки, что приводит к повышению прочности сварного шва.

В 1960-х годах К. И. Зайцевым была выдвинута «реологическая» концепция механизма образования сварных соединений пластмасс. В соответствии с ней в механизме образования сварных соединений существенную роль играют реологические процессы в зоне контакта соединяемых деталей. С целью повышения прочности сварного шва за счет более полного перемешивания основного материала поверхность нагревательного инструмента делают рельефной. Она может иметь рельефные выступы и впадины, напоминающие узор переплетения нитей в ткани [3]. По окончании нагрева свариваемых торцов и выведения нагревательного инструмента из зазора между этими торцами, т. е. во время осадки, свариваемые детали предложено перемещать друг относительно друга и параллельно плоскости, проходящей через их торцы. Благодаря таким колебаниям нагретый до пластичного состояния материал энергично перемешивают и прочность материала сварного шва увеличивается. Недостатком такого решения является сложность создания колебаний. Кроме того, для удаления на-

гревательного инструмента необходимо развести свариваемые поверхности, вследствие чего происходит их окисление. Продукты окисления частично остаются в шве и снижают прочность соединения.

Эффективность перемешивания может быть усилена путем изменения формы торцов до сварки (механической обработкой), либо при их нагреве (плавлении) фигурным нагревательным инструментом. Примером может служить инструмент для контактной сварки [4], рабочие поверхности которого профилированы таким образом, что имеют в сечении пилообразную форму, причем высота зубьев и расстояния между ними могут изменяться в пределах 0,5... 3 мм. Недостатками такого нагревательного инструмента являются сложная технология его изготовления, снижение прочности сварного соединения в результате попадания в шов продуктов окисления, образовавшихся в процессе технологической паузы.

Известен способ сварки полимерных материалов, который предотвращает попадание продуктов окисления в шов [5]. Нагретый инструмент — металлическую пластину (лезвие) — помещают между свариваемыми деталями. После того, как теплота от пластины размягчит прижатые поверхности, пластину (лезвие) быстро удаляют без разведения свариваемых кромок. Предложено устройство для сварки встык труб из термопласта этим способом [6], но так как сварка осуществляется только за счет контакта активированных нагретом поверхностей, прочность такого сварного соединения недостаточна.

Повышению прочности сварных соединений способствует применение профилированного нагревательного инструмента, у которого каждый гребень выступа и края каждой впадины образуют замкнутый контур (рис. 2). Нагревательный инструмент 1 выполнен из теплопроводного материала (типа алюминия), рабочая поверхность которого покрыта антиадгезионным слоем 2. Количество контуров зависит от толщины свариваемых деталей, а расстояние между гребнями соседних контуров может изменяться в пределах 0,5... 3 мм. Разогреваться нагревательный инструмент может любым источником энергии.

Устройство работает следующим образом: к разогретому до требуемой температуры профилированному нагревательному инструменту прижимают торцы свариваемых деталей, разогревают их и формируют контуры выступов и впадин. Одновременно материал прогревается на определенную глубину, выводится нагревательный инструмент и свариваемые детали соединяются под давлением. Выступы входят во впадины одновременно на всем протяжении и выдавливают расплав, который перемещается от середины сечения к краям. В замкнутом контуре при одновременном сжатии расплава боковое перемещение вдоль гребня отсутствует и расплав перемещается перпендикулярно к оси гребня, двигаясь под давлением по волнообразному зазору, образовавшемуся между свариваемыми деталями. Резкое изменение направления движения расплава характеризуется турбулентным течением, которое способствует перемешиванию расплава свариваемых

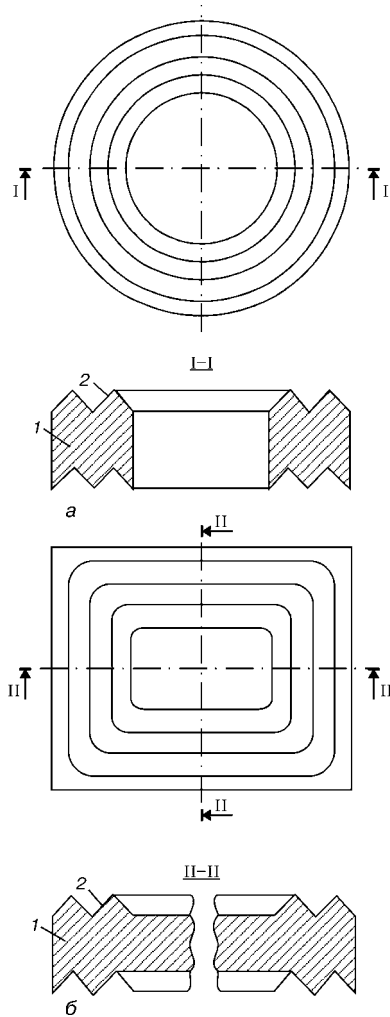


Рис. 2. Схема профилированного нагревательного инструмента для цилиндрических деталей (а) и изделия прямоугольного сечения (б): 1 – нагревательный инструмент; 2 – адгезионный слой

мых деталей, а удлинение пути движения расплава по сравнению со сваркой плоским нагревательным инструментом увеличивает вероятность образования химических связей между материалом свариваемых деталей. Все это способствует повышению прочности сварного соединения. Образцы, сваренные с помощью профилированного нагревательного инструмента, при испытании на растяжение в большинстве случаев разрушались по основному материалу. Для трубы из ПВХ $\sigma_p = 43,4$ МПа.

С целью повышения прочности сварного соединения, особенно трудносвариваемых пластмасс, в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработано устройство для сварки термопласта, обеспечивающее интенсивное механическое перемешивание расплава в процессе сварки [7]. Нагреватель указанного устройства представляет собой две тонкие перемещающиеся пластины, на торцах которых выполнена гребенка с винтообразными зубьями. Они создают механическое перемешивание материала в процессе извлечения нагревательного инструмента при сжатых свариваемых поверхностях. Нагревательный инструмент выполнен из материала с высокоомным сопротивлением (типа нихрома) и покрыт антиадгезионным слоем. Устрой-

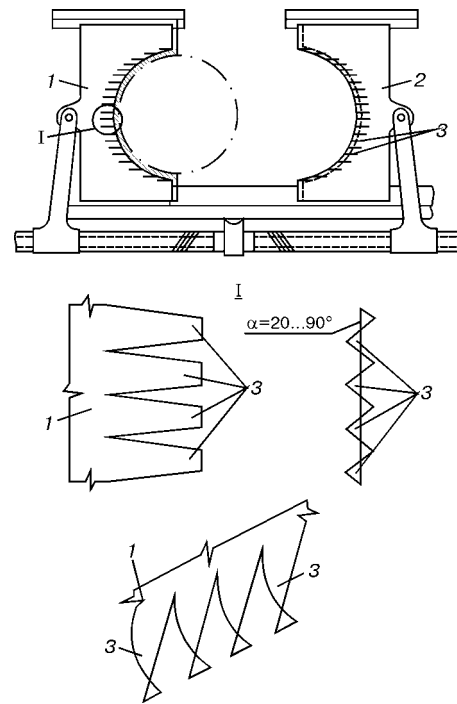


Рис. 3. Схема устройства для сварки встык труб из термопласта (обозначения см. в тексте)

тво для сварки встык труб из термопластов показано на рис. 3. Торцы пластины 1 и 2 нагревательного инструмента оканчиваются гребенкой, зубья 3 которой повернуты относительно своей продольной оси таким образом, что образуют винтовую поверхность. Верхняя кромка каждого зуба повернута относительно плоскости нагревательного инструмента на угол $\alpha = 20...90^\circ$ (угол между проекцией торца зуба и проекцией плоскости нагревательного инструмента на плоскость, перпендикулярную к нагревательному инструменту (рис. 3, узел I). Угол α образуется в результате закручивания торца зуба вокруг его продольной оси, при этом его боковые грани в результате пластического деформирования приобретают форму винтовой линии. В процессе вытягивания нагревательного инструмента зубья входят в расплавленный материал и перемешивают его по принципу эффекта плуга (рис. 4). При перемещении нагревательного инструмента под винтовой поверхностью зубьев 3 создается сжатая зона расплавленного материала, а над зубьями – разряженная. Таким образом, расплав из сжатой зоны перемещается в разряженную, т. е. расплав одного свариваемого торца перемещается в зону другого, и наоборот, что усиливает эффект перемешивания и повышает прочность сварного соединения. Эк-

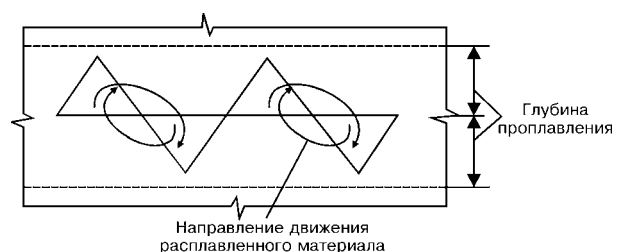


Рис. 4. Схема механического перемешивания



спериментально установлено, что эффективное перемешивание расплава свариваемого полимера зубьями гребенки начинает наблюдаться при угле $\alpha = 20^\circ$. С увеличением угла α возрастают габариты зуба из плоскости нагревательного инструмента, вместе с этим увеличивается и проекция площади зуба на плоскость, перпендикулярную к плоскости нагревательного инструмента, т. е. возрастает площадь зоны перемешивания. Эта площадь, которая представляет собой (для каждого зуба) площадь двух равнобедренных треугольников (см. рис. 3), достигает своего максимального значения при $\alpha = 90^\circ$. С увеличением угла α от 0 до 90° возрастает усилие извлечения нагревательного инструмента. Для получения сварного соединения, равнопрочного основному материалу, для разных полимеров требуется разный объем перемешивания. Изменив угол α , можно добиться оптимальных технологических и прочностных параметров.

С помощью описанного нагревательного инструмента были сварены элементы трубы из ПВХ диаметром 110 мм. Использовали нагревательный инструмент с углом поворота верхнего торца зубьев относительно плоскости нагревательного инструмента $\alpha = 45$ и 60° . Испытания на растяжение сварных соединений и основного материала проводили на машине ZD-10/90. Скорость деформирования была принята 20 мм/мин. При одинаковых параметрах сварки (давление 0,2 МПа, температура нагревательного инструмента $T_n = 250^\circ\text{C}$) были получены соответственно средние значения предела прочности $\sigma_p = 45,2$ и $41,7$ МПа, т. е. нагревательный инструмент с углом поворота зубьев $\alpha = 45^\circ$ дает более прочное сварное соединение. Большинство образцов разрушалось по основному материалу. Сварка (при тех же параметрах) образцов из ПВХ аналогичным нагревательным инструментом, но без зубьев для перемешивания дает среднее

значение предела прочности сварного соединения, не превышающее $\sigma_p = 34,8$ МПа при $\sigma_p = 45,4$ МПа для основного материала.

Выводы

1. Имеется три способа повышения прочности сварных соединений за счет разрушения поверхностного слоя на торце трубы: путем разогрева торцов с помощью ИК-излучения; применения профилированного нагревательного инструмента; путем интенсивного механического перемешивания расплава в процессе сварки.

2. Удаление со свариваемых торцов ингредиентов, как и интенсифицирование реологических процессов в зоне соединения свариваемых поверхностей, повышает свариваемость термопластов.

3. Механическое перемешивание расплава позволяет повысить прочность сварного соединения до прочности основного материала, что особенно актуально при сварке изделий из трудносвариваемых термопластов, например, ПВХ.

1. Зайцев К. И. Контактная сварка встык труб из полиэтилена высокой плотности // Автомат. сварка. — 1976. — № 12. — С. 32–33.
2. Зайцев К. И., Мацюк Л. Н. Сварка пластмасс. — М.: Машиностроение, 1978. — С. 188–197.
3. Пат. 135810 ГДР, МКИ² В 29 С 27/06. Verfahren zum Stumpfschweißen thermoplastischer Halbzeuge und Formteile / W. Tobias, H.-E. Steinicke. — Оpubл. 30.05.79.
4. Пат. 106590 ГДР, МКИ² В 29 С 27/02. Heiselement Schweißwerkzeug / H. Schwarz, W. Tobias. — Оpubл. 26.06.74.
5. Николаев К. И., Ольшанский Н. А. Специальные методы сварки. — М.: Машиностроение, 1975. — С. 194–198.
6. А. с. 448139 СССР, МКИ² В 29 С 27/06. Устройство для стыковой сварки термопластичных труб / Э. А. Вендэ // Открытия. Изобрет. — 1974. — № 40. — С. 38.
7. А. с. 1052402 СССР, МКИ² В 29 С 27/06. Устройство для стыковой сварки термопластичных материалов / В. П. Тарногородский, Г. Н. Кораб, Е. Ю. Колоскова // Открытия. Изобрет. — 1983. — № 41. — С. 47.

Three methods are suggested for increase in strength of welded joints in thermoplastic material pipes such as removing an oxide film by shearing plastics during welding using IR-radiation, profiled hot tool welding and mechanical mixing.

Поступила в редакцию 03.09.2002

КОМПЕТЕНЦИЯ ПЕРСОНАЛА — ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

В. В. ЧЕРНЫХ, канд. техн. наук (Рос. науч.-техн. свароч. об-во, г. Москва, РФ)

Описан опыт взаимодействия Российского научно-технического сварочного общества с аналогичными мировыми европейскими структурами в вопросах подготовки персонала. Показана координационная роль Межгосударственного совета по сварке и родственным технологиям. Приведены положения европейских сертификационных схем по системам качества и управлению окружающей средой.

Ключевые слова: сварочное производство, экология, общественные организации, персонал, интеграция, сертификация

Российское научно-техническое сварочное общество (РНТСО) было учреждено десять лет назад как профессиональное объединение российских специалистов, представляющее интересы организаций и предприятий, фирм, организаций малого бизнеса, а также специалистов, работающих в сфере науки, производства и образования в области сварки и родственных технологий различных регионов и отраслей промышленности, связанных с производством и эксплуатацией сварных конструкций.

Главная задача РНТСО — защита принципов свободы научного и технического творчества, охрана прав, законных интересов и интеллектуальной собственности его членов, создание материальной и социальной базы для реализации их творческого и профессионального потенциала на благо развития сварочной науки, техники и производства.

Основными уставными задачами РНТСО являются деятельность по созданию и гармонизации стандартов и норм, сертификация сварочных материалов, технологий и оборудования, разработка методов экологической безопасности производства, методов испытаний сварных конструкций и др., а также участие в разработке мер по выполнению требований российских, европейских и международных стандартов и норм.

В настоящее время РНТСО является официальным и активным членом ряда неправительственных российских и международных организаций таких, как Международный и Российский союз научных и инженерных организаций, Межгосударственный совет по сварке и родственным технологиям, Международный институт сварки (МИС), Европейская федерация по сварке (ЕФС). РНТСО по договору с Госстандартом принимает участие в работе Международной организации по стандартизации (ISO), имеет соглашения о сотрудничестве с аналогичными общественными объединениями Германии, Франции, США и других стран.

*Этот материал в виде доклада был представлен на международной конференции «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве» (г. Одесса, 11–13 сент. 2002 г.).

В настоящее время работа в МИС и ЕФС приобретает особую актуальность в связи с объединением национальных систем обеспечения качества в сварочном производстве в единую международную систему, сформировавшуюся на базе взаимного признания и сотрудничества, что подтверждено соответствующими нормативными документами. Ведущая роль МИС и ЕФС в научно-техническом сотрудничестве определяется следующими целями и задачами этих организаций:

обмен научной и технической информацией и обеспечение распространения знаний в этой области;

разработка рекомендаций, подготовка обзоров состояния вопроса и руководств в области применения сварки и смежных процессов;

помощь всеми доступными средствами в организации национальных институтов сварки или сварочных обществ в странах, где таковых не имеется;

проведение конгрессов, международных конференций и региональных конгрессов;

разработка регламентирующих и руководящих документов по образованию, обучению, квалификации и сертификации сварочного персонала и правил применения этих документов;

подготовка и помощь в разработке международных стандартов совместно с ISO;

обеспечение и стимулирование разработок по защите окружающей среды.

Результаты работы РНТСО с международными организациями свидетельствуют об эффективном использовании на международном уровне опыта интеграции европейских стран в области науки и техники, стандартизации, подготовки, сертификации и аттестации персонала, защиты окружающей среды, развития и применения систем качества и др. Для реализации такой интеграции по всем перечисленным выше направлениям создаются соответствующие координационные комитеты, рабочие группы и комиссии.

Особое внимание уделяется совместным планам разработки нормативной документации и стандартов, охватывающих все основные направления развития технологий, сварочных материалов, оборудования, проектирования и эксплуатации сварных конструкций.



Страны-члены МИС и ЕФС реализуют процедуру сертификации производств сварных конструкций на базе стандартов ISO 3834 в полном соответствии с основными положениями стандартов серии ISO 9000.

Результатом интеграции стало создание объединенного структурного подразделения МИС и ЕФС по проблемам подготовки, аттестации и сертификации персонала сварочных производств. Генеральная ассамблея МИС на 53-м Конгрессе в 2000 г. утвердила решение о создании Международного органа по аттестации персонала, объединяющего в единую систему действовавшие в рамках МИС и ЕФС системы обучения, подготовки и присвоения квалификации персоналу сварочного производства.

Особая роль по координации наших работ принадлежит Межгосударственному совету по сварке и родственным технологиям. Последнее его заседание на тему «Современные проблемы повышения ресурса и надежности эксплуатации сварных конструкций, сооружений и оборудования» состоялось в ноябре 2001 г. в НПО «ЦНИИТМАШ» совместно с Межгосударственным советом по чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера, рабочей группой при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, РНТСО и Российским обществом неразрушающего контроля и технической диагностики. Заседание прошло под председательством Президента НАН Украины, председателя Межгосударственного совета по сварке и родственным технологиям, академика РАН Б. Е. Патопа. В заседании приняли участие академики и члены-корреспонденты РАН и НАН Украины, специалисты РНТСО и Российского общества неразрушающего контроля и технической диагностики, представители научной общественности Белоруссии, Казахстана и Грузии. Было заслушано 11 докладов, в которых излагались различные аспекты обсуждаемой проблемы в области энергетики, транспорта, химической, нефтехимической и других отраслей промышленности.

В связи с участвующими в мире техногенными катастрофами внимание специалистов было направлено на изучение причин этого, а также поиск методов своевременного их предотвращения. Принятое на сессии решение предусматривает расширение межгосударственной программы «Создание конкурентоспособных на мировом рынке сварных конструкций, ресурсосберегающих технологий, материалов и оборудования для сварочного производства» за счет включения в нее новых проектов и заданий, направленных на решение проблем оценки и продления ресурса работы ответственных конструкций, сооружений и оборудования.

На сессии были выделены следующие первоочередные задачи, требующие безотлагательного решения на национальном и межгосударственном уровнях:

развитие нормативной базы для обоснованного решения проблем оценки и продления ресурса объектов ответственного назначения на основе использования современных средств и методов технической диагностики;

совершенствование системы государственных инспекций, специализирующихся по типам техногенноопасных объектов, с возложением на них обязанностей по сбору, систематизации, анализу информации о техническом состоянии указанных объектов и разработке рекомендаций по их безопасной эксплуатации;

организация на международном уровне системы подготовки и переподготовки кадров в области сварочного производства, технической диагностики, неразрушающего контроля, определения и продления ресурса конструкций и оборудования.

С учетом важности проблем экологической безопасности в Российской Федерации 20 февраля 2002 г. принят федеральный закон «Об охране окружающей среды», в котором впервые определены положения по экологической сертификации (статья 31). В данном случае полезно привести полный текст этой статьи для определения направления дальнейших усилий, которые нужно нам предпринять, исходя из общности интересов каждой человеческой личности и общества в целом.

«Статья 31. «Экологическая сертификация»

1. Экологическая сертификация проводится в целях обеспечения экологически безопасного осуществления хозяйственной и иной деятельности на территории Российской Федерации.

2. Экологическая сертификация может быть обязательной или добровольной.

3. Обязательная экологическая сертификация осуществляется в порядке, определенном Правительством Российской Федерации».

Одновременно в России на правительственном уровне идет активное обсуждение проекта закона «Об основах технического регулирования в Российской Федерации». Проектом предусмотрено принятие технических регламентов в целях охраны жизни, здоровья физических лиц и окружающей среды с реализацией в этих документах обязательных норм и правил в областях, регулируемых законом.

В связи с изложенным выше РНТСО поддержало инициативу 26 стран, входящих в ЕФС, обсудить и принять серию нормативных документов, которые смогут стать базой для проекта технического регламента, предусматривающего особые требования к процессам (методам) производства, эксплуатации и утилизации сварных конструкций различного назначения.

Главное достоинство предлагаемой ЕФС по сварке схемы добровольной (или обязательной) экологической сертификации является то, что она тесно связана с уже реализуемой на протяжении не менее десяти лет системой подготовки, аттестации и сертификации персонала сварочных производств*.

По предлагаемым схемам с учетом опыта работы с персоналом сварочных производств и результатами сертификации предприятий на соответствие требованиям стандарта ISO 3834 (EN 729) предусмотрено формирование в каждой стране неза-

* Бернадский В. Н., Маковецкая О. К., Проценко П. П. Современные Европейская и Международная системы обучения и аттестации сварочного персонала: Обзорная информация ИЭС. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патопа, 2000. — 20 с.

ИСО 9001–2000	ИСО 14001–98
<p>6.2. Человеческие ресурсы</p> <p>6.2.1. Общие положения Персонал, выполняющий работу, влияющую на качество продукции, должен быть компетентным в соответствии с полученным образованием, подготовкой, навыком и опытом</p> <p>6.2.2. Компетентность, осведомленность и подготовка</p> <p>Организация должна:</p> <p>а) определить необходимую компетентность для персонала, выполняющего работу, которая влияет на качество продукции;</p> <p>б) обеспечивать подготовку или предпринимать другие действия с целью удовлетворения этих потребностей;</p> <p>в) оценивать результативность принятых мер;</p> <p>г) обеспечивать осведомленность своего персонала об актуальности и важности его деятельности и вкладе в достижение целей в области качества;</p> <p>д) поддерживать в рабочем состоянии соответствующие записи об образовании, подготовке, навыках и опыте персонала</p>	<p>4.4.2. Обучение, осведомленность и компетентность</p> <p>Организация должна определить свои потребности в обучении персонала. Она должна требовать, чтобы весь персонал, чья работа может в значительной степени повлиять на окружающую среду, прошел соответствующее обучение</p> <p>Организация должна устанавливать и поддерживать в рабочем состоянии процедуры, позволяющие ее служащим или сотрудникам каждого соответствующего подразделения и уровня понимать:</p> <p>а) важность соответствия экологической политике, процедурам и требованиям системы управления окружающей средой;</p> <p>б) существенные, реальные или потенциальные воздействия своей деятельности на окружающую среду и пользу в повышении персональной эффективности для окружающей среды...</p> <p>Персонал, выполняющий работы, которые могут оказать значительное воздействие на окружающую среду, должен обладать компетентностью, обусловленной соответствующими образованием, подготовкой и практическим опытом</p>

висимого органа по сертификации, совмещающего функции сертификации систем качества и систем экологического менеджмента. Такая постановка вопроса вновь возвращает нас к проблемам подготовленности и компетентности персонала, призванного реализовать на практике эти схемы. В этой связи полезно привести формулировки стандартов ИСО 9001–2000 и 14001–98 (таблица), касающихся требований к компетентности персонала, что, на наш взгляд, является определяющим в реализации государственной и внутрифирменной политики в области защиты среды пребывания и производственной деятельности человека.

Как следует из опыта подготовки, аттестации и сертификации персонала сварочных производств, главным в системе профессиональных отношений становятся процедуры подготовки и оценки компетентности персонала, ответственного за реализацию систем качества и систем охраны окружающей среды.

Складывается ситуация, при которой страны-члены СНГ несмотря на свой богатейший опыт производства и эксплуатации ответственных сварных конструкций могут оказаться среди стран, отстающих в реализации основных принципов охраны окружающей среды, принятых международным сообществом.

Развивая в странах СНГ сертификационные схемы по системам качества и системам охраны окружающей среды через соответствующие уполномоченные национальные органы следует руководствоваться «Правилами профессионального поведения», принятыми ЕФС (документ ЕФС-514-01). Приведем ряд положений этого документа.

Experience is described of interaction of the Russian Society of Welders with the world and European structures in the issues of personnel training. The coordination role of Interstate Council on Welding and Allied Technologies is demonstrated. Principles of European certification procedures on systems of quality assurance and environmental management are given.

Все сведения, приведенные в качестве основы для сертификации и ее подтверждения, должны быть правильными и не вводить в заблуждение.

Сертификат должен использоваться только в рамках сертификации и так, как предусмотрено сертификацией.

Прошедшие сертификацию лица должны: предпринимать все меры для подтверждения того факта, что они исполняют свои профессиональные обязанности объективным, глубоким и компетентным образом, гарантируя безопасность остальных; находиться в курсе последних достижений в тех областях технологии, в которых они занимаются профессиональной деятельностью; регистрировать любые жалобы, поданные на них в области, на которую распространяется сертификат.

Прошедшие сертификацию лица и/или их работодатели не должны предпринимать следующее: использовать сертификат или часть его (либо сознательно позволять, чтобы его использовали) таким образом, который может считаться мошенническим; необоснованно ссылаться на сертификационную схему или использовать сертификат вводящим в заблуждение образом в рекламе, каталогах и т. д.

Отказ следовать указанным Правилам может привести к отзыву выданного сертификата.

Этика профессионального поведения предопределяет также необходимость открытой и правдивой информации всех заинтересованных сторон о соответствии сертификационных и/или аттестационных схем международным стандартам, нормам и правилам.

Поступила в редакцию 26.11.2002



ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ В СВАРОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны некоторые особенности разработки и конструирования механизмов импульсной подачи электродной проволоки. Рассмотрены проблемы, возникающие в случае больших ускорений в импульсе и переменных скоростях подачи, которые состоят в необходимости воспроизведения параметров импульсов, задаваемых электродной проволокой при ее взаимодействии с подающими роликами, снижения уровня вибраций механизма, влияющих на механическую надежность механизма и условия ведения сварочного процесса. Показаны способы улучшения работы импульсных механизмов подачи.

Ключевые слова: дуговая сварка, механизированное оборудование, механизм подачи, электродная проволока, импульс

Совершенствование дугового механизированного оборудования, предназначенного для сварки и наплавки как в защитных газах, так и с использованием самозащитных порошковых электродных проволок всегда связано с конструированием механизмов подачи. Использование импульсных механизмов подачи проволоки позволяет комплексно решить задачу совершенствования всей системы подачи, что положительно влияет на технологический процесс.

Существует несколько типов импульсных механизмов подачи, которые в данной работе сгруппированы определенным образом с учетом характера устройств механики, преобразующей движение привода в поступательное движение электродной проволоки. Эти механизмы совершают обратное-поступательное движение, передаваемое по определенному алгоритму односторонним захватам — движителям электродной проволоки [1, 2]. В настоящей статье представлена группа механизмов с преобразованием движения от привода (с использованием электродвигателей), которые в свою очередь можно разделить на две большие группы: с передачей движения односторонним захватам [3] и подающему ролику [4]. Однако данных о применении таких механизмов в литературе недостаточно для разработки оптимальной системы импульсной подачи проволоки.

Целью настоящей работы является обоснование выбора конструкций механизмов, обеспечивающих надежную импульсную подачу проволоки с заданными параметрами в составе оборудования для механизированной сварки.

Задача 1. Оптимизация прижимного устройства для подачи роликовым механизмом электродной проволоки, движущейся с большими ускорениями при реализации импульсной подачи или при резких изменениях скорости (старт или применение модуляции тока) в обычном подающем механизме.

Задача оптимизация прижимного устройства направлена на повышение КПД механизма подачи электродной проволоки, уменьшение ее деформации в зоне контакта с роликами, снижение вероятности пробуксовывания подающего ролика относительно проволоки с потерей заданных параметров движения, определяющих качество технологического процесса [5].

Рассмотрим силы, действующие при подаче проволоки (рис. 1). Условие надежной подачи проволоки можно записать в виде [6]

$$F_{\text{п}} > F_{\text{с}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{п}}$ — усилие подачи, передаваемое подающим роликом проволоке; $F_{\text{с}}$ — совокупное (статическое и динамическое) усилие сопротивления движению проволоки.

Усилие подачи $F_{\text{п}}$ проволоки обеспечивается рядом факторов, которые с некоторым упрощением физических явлений в зоне контакта можно объединить следующим уравнением:

$$F_{\text{п}} = bF_{\text{пр}}/f, \quad (2)$$

где b — запас сцепления для надежной подачи, обеспечиваемый специальным профилированием канавок, нанесением рифления, развитием поверхности подающего ролика и др.; $F_{\text{пр}}$ — усилие

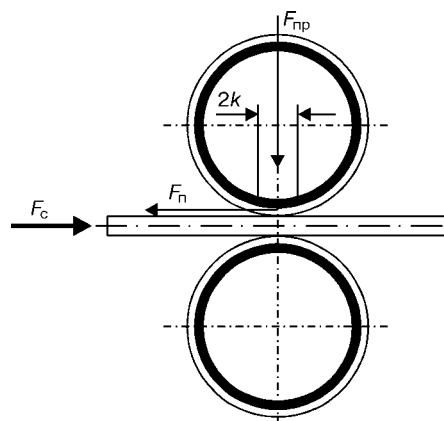


Рис. 1. Силы, действующие в зоне контакта подающего и прижимного роликов при подаче электродной проволоки

прижима подающего ролика; f — коэффициент трения материалов проволоки и ролика.

Условие (1) с учетом уравнения (2) перепишем в виде

$$bF_{\text{пр}}/f > F_c \quad (3)$$

Из анализа условия (3) следует, что усилие подачи $F_{\text{п}} = \text{var}$ и зависит не только от усилия прижима $F_{\text{пр}} = \text{const}$ (т. е. выбрано для данных условий подачи), но и от коэффициента трения f , который является многофакторной величиной и определяется рядом параметров, т. е.

$$f = f(f_{\text{п}}, f_c, f_k, t_b, v_{\text{п}}, v_c),$$

где $f_{\text{п}}, f_c, f_k$ — коэффициенты трения соответственно покоя, скольжения и качения; t_b — время выстоя ролика с проволокой; $v_{\text{п}}$ — скорость подачи проволоки; v_c — скорость скольжения ролика относительно проволоки.

Учесть влияние всех параметров на f не представляется возможным, поэтому в реальных условиях эксплуатации подающих механизмов усилие прижима устанавливается заведомо большим, чтобы исключить колебания f и F_c . Это приводит к увеличению потерь в узле подачи, деформации проволоки, повышению мощности привода, рассчитываемого на длительную повышенную нагрузку. КПД механизма заметно падает из-за потерь, возникающих в зоне фрикционного контакта металла роликов и проволоки, включающие: потери на гистерезис δ_r при качении роликов по проволоке в результате деформации последней роликом при действии усилия прижима, увеличивающейся с возрастанием этого усилия в результате удлинения плеча трения качения k , показанного условно на рис. 1; потери на скольжение δ_c , в данном случае геометрическое, вследствие неодинакового изменения скорости по линии контакта при профилировании роликов, неточностей их установки или изготовления и увеличивающихся при возрастании усилия прижима; потери в подшипнике $\delta_{\text{п}}$ прижимного ролика, а также при изгибе осей подающего и прижимного роликов при действии прижимного усилия.

Если потери определять в относительных единицах, то КПД роликового подающего узла η можно вычислить следующим образом:

$$\eta = 1 - (\delta_r + \delta_c + \delta_{\text{п}}).$$

Автором выполнено экспериментальное оценочное определение суммарных относительных потерь δ ($\delta = \delta_r + \delta_c + \delta_{\text{п}}$) в роликовом механизме подачи полуавтомата ПДГ-516 с двумя типами роликов — с гладкой поверхностью и с клиновидной канавкой при изменении усилия прижима. Результаты оценок для проволоки типа Св-08Г2с диаметром 1,2 мм представлены на рис. 2. Характер обеих зависимостей практически одинаков, но в случае ролика с канавкой потери несколько больше, что, по мнению автора, является следствием больших потерь на

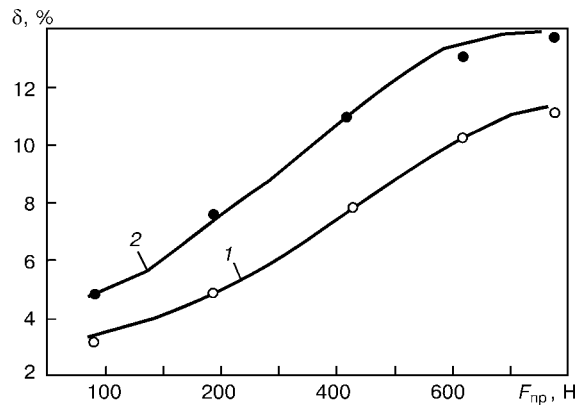


Рис. 2. Зависимость относительных потерь δ в роликовом узле подачи от усилия прижима: 1 — гладкий подающий ролик; 2 — подающий ролик с клиновидной канавкой

скольжение проволоки по обеим стенкам клиновидной канавки. При значительных усилиях прижима происходит стабилизация потерь из-за малого прироста контактной деформации.

Таким образом, для минимизации потерь в роликовом узле подачи целесообразно обеспечить следующее условие:

$$F_{\text{п}}/F_{\text{пр}} = \text{const} \quad (4)$$

Условие (4) обеспечить сложно, в частности из-за наличия гибкого направляющего канала [7]. Для его реализации в ИЭС им. Е. О. Патона разработано и изготовлено экспериментальное устройство, устанавливаемое в систему подачи сварочного полуавтомата. Устройство-регулятор (рис. 3) осуществляет автоматический выбор (регулирование) усилия прижима проволоки прижимным роликом в зависимости от усилия сопротивления подаче. Рассмотрим работу указанного регулятора.

На хвостовике 3 шлангового держателя 1 закреплено упорное кольцо (гайка) 4, а также профилированный нажимный элемент 6 с углом наклона α , направленным против движения электродной проволоки (стрелками указано направление). Шланговый держатель 1 подпружинен относительно корпуса 5 цилиндрической пружиной 2, усилие которой задается положением упорного кольца 4. Прижим электродной проволоки 7 к подающему ролику 8 осуществляется прижимным

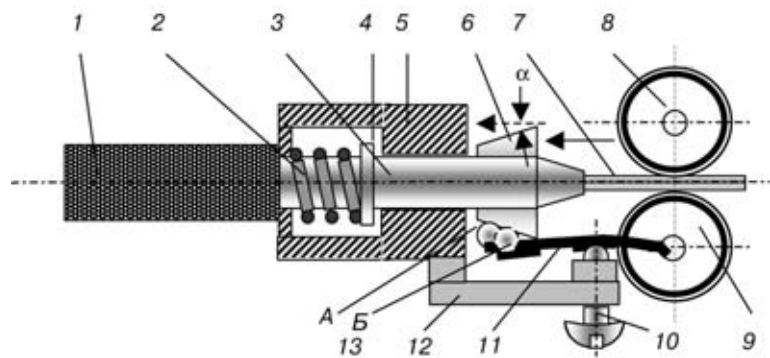


Рис. 3. Вариант конструкции роликового подающего узла с устройством прижима, усилие которого зависит от усилия сопротивления подаче электродной проволоки в элементах шлангового держателя (обозначения позиций см. в тексте)

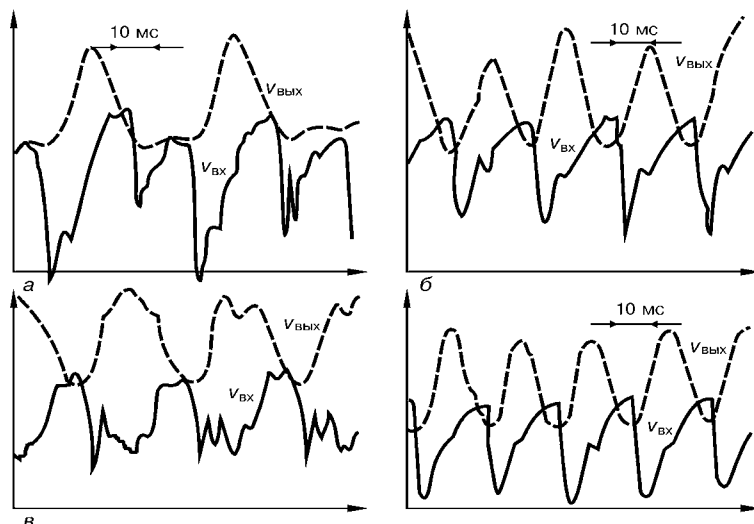


Рис. 4. Характерные осциллограммы скоростей импульсной подачи электродной проволоки: сплошная кривая — на входе механизма $v_{вх}$; штриховая — на выходе из направляющего канала $v_{вых}$

роликом 9, связанным с одним концом упругого элемента, например плоской пружины 11. Плоская пружина 11 опирается на регулирующий элемент 10, выполненный в виде винта и размещенный на кронштейне 12. Другой конец плоской пружины 11 снабжен элементом скольжения или качения 13 (шариком, как в нашем случае, а также возможно использование роликом или подшипником), который взаимодействует с нажимным элементом 6. Настройка устройства заключается в выборе начального усилия пружины 2, обеспечивающего движение электродной проволоки в режиме без сварки и манипулирования держателем. При этом шарик 13 вместе с одним из концов плоской пружины 11 занимает положение А. При этом прогиб пружины 11, обеспечивающий согласно условию (1) необходимое минимальное усилие прижима электродной проволоки роликом 9, регулируется винтом 10. Если усилие сопротивления подаче не меняется, то усилие прижима также неизменно. С увеличением первого, превосходящего усилие пружины 2, начинается поступательное движение шлангового держателя в направлении подачи электродной проволоки, шарик 13 перемещается в положение Б, вызывая увеличение прогиба плоской пружины 11 и тем самым обеспечивая необходимое для данной ситуации увеличение прижимного усилия. При снижении усилия сопротивления подаче процесс развивается в обратном направлении. Таким образом регулятор автоматически поддерживает соотношение усилий в соответствии с выражением (4). Этот регулятор был испытан при подаче порошковых проволок роликами с гладкими подающими поверхностями, исключая деформацию оболочек проволок. Средние значения потерь в роликовом узле за цикл сварки уменьшены в 2...4 раза.

Изучали работу регулятора при импульсной подаче проволоки. На рис. 4, а, в представлены осциллограммы скорости движения при работе механизма с импульсной подачей гладкими роликами. При этом в системе, характеризуемой осциллограммой 4, а, регулятор не устанавливали. Здесь

заметно пробуксовывание подающего ролика относительно проволоки. Экспериментальное изучение явления пробуксовывания в механизмах импульсной подачи привело к следующим заключениям. Предварительно установленное в роликовом подающем узле усилие прижима проволоки в первоначальный момент, как правило, обеспечивает необходимые условия для ее движения из-за достаточно больших значений f (трение покоя, отсутствие скольжения). При увеличении импульсной окружной скорости подающего ролика указанные значения f существенно снижаются, что приводит к пробуксовыванию ролика относительно проволоки. Это явление, как следует из осциллограмм, может носить автоколебательный характер в пределах действия каждого импульса, изменяя его параметры. Осциллограмма (рис. 4, в) получена для случая, когда в систему подачи был

установлен регулятор усилия прижима. Здесь при действии импульса одновременно с движением проволоки начинается некоторое движение хвостовика шлангового держателя с увеличением прижимного усилия. При этом из-за разных инерционных свойств проволоки в канале шлангового держателя проволока продолжает движение в канале, а держатель остается на месте. Применение регулятора приводит к снижению пробуксовывания и к искажению формы выходного импульса — более существенному, чем это обычно бывает в случае прохождения проволоки через канал [8]. Указанное явление должно быть учтено при настройке механизма импульсной подачи.

Осциллограммы на рис. 4, б, г выполнены при применении подающих роликов с насечкой по образующей ролика. На осциллограмме (рис. 4, г) представлен результат работы механизма импульсной подачи без применения регулятора, а на рис. 4, б — с регулятором. В обоих случаях форма выходного импульса приемлема для воздействия на технологический процесс. Разница состоит в том, что регулятор также несколько искажает форму импульса подачи.

Задача 2. Исключение или снижение вибраций в механизмах импульсной подачи проволоки с повышением надежности самого механизма и полуавтомата в целом.

Решение этой задачи представляет особый интерес, поскольку успех широкого распространения дугового механизированного оборудования с импульсной подачей проволоки зависит от того, насколько эффективно будут уменьшены вибрации механизма, а его работа в части характеристик надежности и санитарно-гигиенических норм приближена к работе обычных механизмов подачи.

Повышенный уровень вибраций для механизмов импульсной подачи проволоки с приводом от электродвигателей, как показывают исследования, особенно ощутим на частотах более 20 Гц, т. е. на требуемом для сварки диапазоне частот. Технические решения, связанные с применением виб-

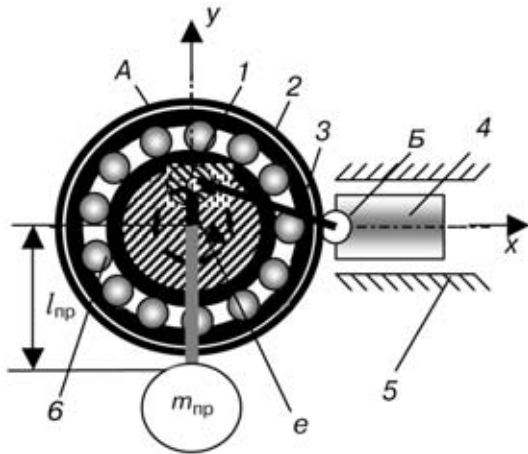


Рис. 5. Механизм импульсной подачи с одним подвижным захватом: 1 — ось эксцентрика; 2 — наружная обойма для крепления шарнира Б захвата 4; 3 — наружная обойма подшипника; 5 — направляющие; 6 — вал электродвигателя; А — условный шарнир между кривошипом и шатуном

ропоглощающих устройств (пружины, упругие прокладки и др.), дают эффект в небольшом диапазоне частот. Более действенным в этом случае может быть применение систем уравнивания механизмов.

Практически в любом механизме с импульсной подачей, имеющем в качестве привода электродвигатель, используется устройство преобразования движения, основу которого составляет кривошипно-шатунная пара как один из наиболее простых и эффективных механизмов. Это объединяющее решение позволяет формализовать задачу и разработать единый подход к конструкторскому решению снижения вибраций в механизмах импульсной подачи.

Математически [9] условия уравнивания любого механизма имеют вид

$$x_s = \text{const}; y_s = \text{const}; \quad (5)$$

$$J_{xz} = \text{const}; J_{yz} = \text{const}, \quad (6)$$

где x_s, y_s — координаты общего центра движущихся масс; J_{xz}, J_{yz} — моменты инерции звеньев.

Из уравнений (5) и (6) следует, что основной и, как показывает опыт, наиболее сложной задачей расчета уравнивания реальных механизмов является определение масс узлов и их координат. Для механизмов импульсной подачи проволоки с односторонними захватами наиболее простым по конструкции является устройство с подшипником, установленным эксцентрично на валу электродвигателя. При этом наружная обойма подшипника шарнирно связана с подвижным односторонним захватом, как на рис. 5, где второй стопорный захват не показан. Система представляет собой кривошип, образованный отрезком между центрами подшипника и эксцентрикового вала (шарнир А), а также шатун в виде отрезка между двумя шарнирами А, Б и ползуном, образованным односторонним захватом с движимой им проволокой (на

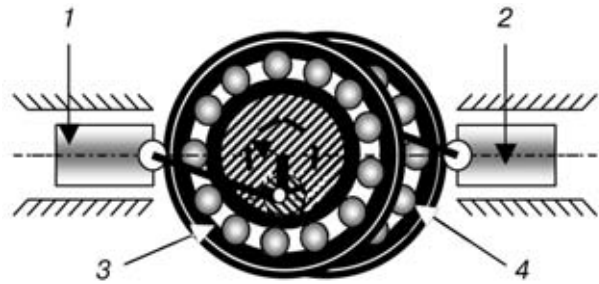


Рис. 6. Механизм импульсной подачи с двумя подвижными односторонними захватами (1, 2); эксцентриковые механизмы (3, 4) для наглядности условно сдвинуты относительно друг друга (рисунке не показана). В этой системе шатун представляет собой некоторое образование без реального конструктива, а следовательно, и массы $m_{ш} = 0$. Масса кривошипа m_k будет состоять из массы подшипника с прикрепленными элементами. Устройство можно рассматривать как эксцентриковый механизм и уравнивать при этом лишь вращающиеся массы.

В соответствии с работой [9] произведем уравнивание, устанавливая на линии, проходящей через центр тяжести механизма, по другую сторону от оси вращения противовес массой $m_{пр}$, определяемой с учетом выражений (5) и (6)

$$m_{пр} = m_k e / l_{пр}, \quad (7)$$

где e — эксцентриситет; $l_{пр}$ — расстояние крепления противовеса от центра масс O .

Из соотношения (7) следует, что при принятии решений об установке противовеса необходимо выбирать или его массу, или расстояния от центра масс механизма. В этом случае удобен противовес в виде диска с массой, близкой к массе преобразователя движения, размещенный на малом регулируемом расстоянии от центра масс в направлении, противоположном эксцентрику.

При конструировании механизмов импульсной подачи зачастую используют конструкцию с двумя движущимися навстречу друг другу захватами. Такой алгоритм работы механизма решает задачу его уравнивания посредством двух симметричных систем подачи (рис. 6). При двух оппо-

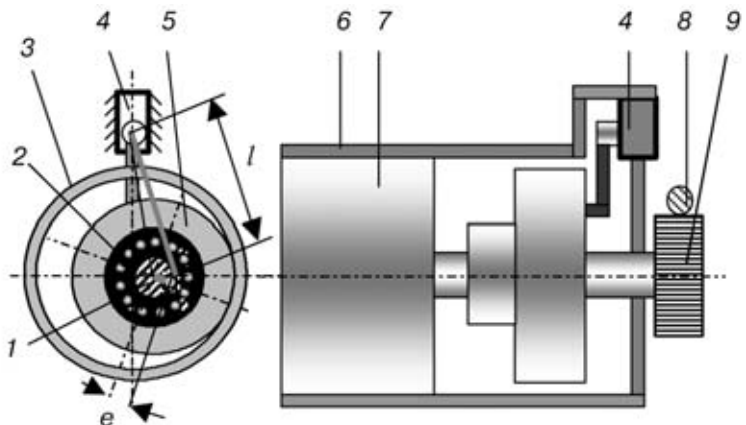


Рис. 7. Схематическое представление механизма импульсной подачи электродной проволоки с КВП: 1 — эксцентриковый вал; 2 — подшипник; 3 — шестерня с внутренним зацеплением; 4 — устройство формирования импульса движения; 5 — шестерня с наружным зацеплением; 6 — корпус; 7 — приводной электродвигатель; 8 — электродная проволока; 9 — подающий ролик



зиционностоящих захватах и эксцентрикковых преобразователях движения конструкция механизма является функционально совершенной.

В механизмах импульсной подачи с квазивольновыми преобразователями (КВП) [4], вариант одного из которых представлен на рис. 7, решить задачу уравнивания существенно сложнее, причиной этому служит двойное приложение усилий в кинематических звеньях механизма: передачи усилия от эксцентрично установленной и перемещающейся шестерни с наружным зацеплением 5 шестерне с внутренним зацеплением 3 и далее подающему ролику 9 с электродной проволокой 8. Кроме того, действуют усилия, управляющие движением шестерни 4 в устройстве формирования импульса движения. Формализуя кинематическую структуру механизма, можно выделить две кривошипно-шатунные системы. Исследовать такой механизм на предмет уравнивания с учетом всех кинематических звеньев практически невозможно, что и не требуется, поскольку основную неуравновешенную массу, как и в предыдущем случае, составляют вращающиеся на эксцентрикэлементы механизма: подшипник 2, шестерня с наружным зацеплением 5, эксцентриквал 1. Следовательно, здесь также уместна приведенная методика уравнивания противовесом согласно выражению (6). К сожалению, до настоящего времени не удалось найти функционально оправданного технического решения с оппозиционностоящими эксцентриками для конструкции с КВП в общем случае. Исключение в этом случае составляет механизм с дополнительным преобразователем движения (второй эксцентрик), описанный в работе [10]. В общем случае нами при разработке и конструировании использовались обычные дисковые противовесы, устанавливаемые на оппозитивных эксцентриситетах, что обеспечивает снижение уровня вибраций, передаваемых на корпус, в 3... 4 раза.

Выводы

1. Установлена возможность снижения вероятности проскальзывания подающих роликов относительно

электродной проволоки при импульсной подаче в результате изменения характеристики трения в зоне контакта путем выбора формы и структуры подающей поверхности роликов или создания оптимальных условий прижима подающих роликов к электродной проволоке.

2. Поскольку вибрация механизма импульсной подачи электродной проволоки любой конструкции с приводом от электродвигателя являются следствием работы устройства преобразования вращательного движения в импульсно-поступательное или импульсно-вращательное, определено, что наиболее простым, доступным и эффективным способом их уменьшения является статическое уравнивание только вращающихся масс, дополняемое вибропоглощающими приспособлениями.

1. Воронай Н. М., Савельев О. Н., Семергеев С. С. Электромагнитные механизмы импульсной подачи электродной проволоки // Автомат. сварка. — 1980. — № 1. — С. 46–49.
2. А. с. 703266 СССР, МПК В 23К 9/12. Механизм для подачи сварочной проволоки / Д. А. Дудко, А. И. Четвертко, Э. М. Святский, В. А. Лебедев. — Оpubл. 15.12. 79; Бюл. № 46.
3. Лебедев В. А., Никитенко В. П. Захваты для импульсной подачи электродной проволоки // Автомат. сварка. — 1984. — № 10. — С. 52–58.
4. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г. Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки // Там же. — 1996. — № 5. — С. 39–44.
5. Воронай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Там же. — 1996. — № 10. — С. 3–9.
6. Бельфор М. Г., Патон В. Е. Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. — М.: Высш. шк., 1974. — 338 с.
7. Лебедев В. А., Светников Б. Г. Учет влияния изгибов направляющего канала и мундштука токоподвода на сопротивление движению электродной проволоки (Элементы статического анализа) // Автомат. сварка. — 1984. — № 9. — С. 35–37.
8. Лебедев В. А. Влияние направляющего канала сварочного полуавтомата на параметры импульсной подачи электродной проволоки // Там же. — 1999. — № 2. — С. 45–48.
9. Шепетьльников В. А. Уравнивание механизмов. — М.: Машиностроение, 1982. — 256 с.
10. Лебедев В. А., Пичак В. Г., Смолярко В. Б. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов // Автомат. сварка. — 2001. — № 5. — С. 31–37.

Some features in development and designing of a mechanism of pulsed wire feed are considered. Serious problems are enumerated, arising at high accelerations in the pulse and variable feed rates, which consist in the need to reproduce the pulse parameters, set by the electrode wire at its interaction with the feed rollers, lowering the level of mechanism vibrations, affecting the mechanical reliability of the mechanism and the conditions of conducting the welding process. Methods and means to improve the operating conditions of the pulsed feed mechanisms are demonstrated.

Поступила в редакцию 02.10.2002,
в окончательном варианте 10.12.2002



УДК 621.791.75.042-492

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ СЕРДЕЧНИКОМ ДЛЯ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

В. Н. ШЛЕПАКОВ, д-р техн. наук, **А. В. БИЛИНЕЦ**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассматриваются вопросы разработки новой порошковой проволоки с металлическим сердечником, сочетающей высокую производительность плавления с большим выходом наплавленного металла. Использование толстостенной оболочки обеспечивает отличную подаваемость проволоки.

Ключевые слова: дуговая сварка, порошковая проволока, металлический сердечник

Сварка порошковой проволокой широко применяется во многих отраслях производства и строительства благодаря высокой производительности процесса и возможности регулирования свойств сварного соединения, а также сварочно-технологических свойств путем введения малых добавок материалов в композицию сердечника. Одной из ее разновидностей, получившей развитие в последние годы, является проволока с металлическим порошковым сердечником для сварки в защитных газах, сочетающая высокую производительность плавления с большим выходом наплавленного металла (95...96%), что присуще сварке проволокой сплошного сечения.

Порошковая проволока с металлическим сердечником при плавлении образует на поверхности шва островки шлака, однако, в отличие от сварки проволокой сплошного сечения, шлаковые корочки легко удаляются с поверхности. Процесс сварки проволокой с металлическим сердечником протекает стабильно, с минимальными потерями металла на разбрызгивание. Благоприятная форма швов и глубокий провар делают эти проволоки предпочтительными для роботизированной и автоматической сварки. Сварку проволоками с металлическим сердечником осуществляют в защитных газах (углекислом или смеси на основе аргона).

В Институте электросварки им. Е. О. Патона выполнены разработки порошковых проволок с металлическим сердечником для сварки в углекислом газе и его смеси с аргоном. Проволоки имеют металлическую оболочку большой толщины, что не вызывает проблем с подачей проволоки при механизированной сварке. Небольшое количество неметаллических материалов в сердечнике используют для улучшения характеристик стабильности дугового разряда и регулирования металлургических и технологических свойств шлака.

Базовая порошковая проволока марки ПП-АН70М диаметром 1,2 (1,4; 1,6) мм предназначена для сварки в углекислом газе или его смеси с аргоном. Проволока диаметрами 1,4 и 1,6 мм рекомендована преимущественно для сварки в нижнем положении. При плавлении на поверхности шва она образует островки шлака, по типу, близкому к рутиловому. Основная система легирования металла кремниевомарганцевая. При сварке в смеси аргона с углекислым газом обеспечиваются лучшие характеристики возбуждения дуги и стабильности ее горения. Выполнение многослойных сварных соединений возможно без удаления островков шлака с поверхности предыдущих проходов.

Порошковая проволока марки ПП-АН72М диаметром 1,2 мм предназначена для сварки в смеси газов низколегированных сталей с повышенными требованиями к вязкопластическим свойствам сварных соединений при низких температурах. Применяется система легирования металла шва кремниймарганецникель. Проволока обеспечивает качественную сварку соединений толстого металла в диапазоне сварочных токов 250...350 А. При использовании меньших значений сварочного тока успешно выполняют сварку на вертикальной плоскости сверху-вниз.

При сварке порошковыми проволоками с металлическим сердечником благодаря использованию толстостенной оболочки обеспечивается отличная подаваемость проволоки, не уступающая по этому показателю проволоке сплошного сечения.

Химический состав наплавленного металла, а также механические свойства металла шва и сварного соединения приведены в табл. 1 и 2.

Содержание диффузионного водорода составляет 3...5 см³ на 100 г наплавленного металла. Стойкость против пористости высокая.

Разработан пилотный образец проволоки с металлическим сердечником, позволяющий сваривать тонкий металл (1...3 мм), а также корневые швы без подкладки.

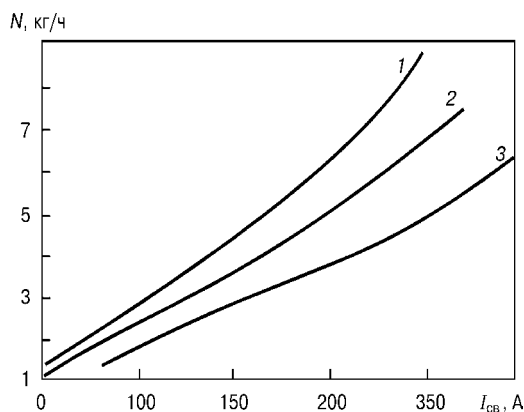
Сопоставление показателей производительности сварки проволоками для механизированной сварки показывает (рисунк), что порошковые проволоки и проволоки с металлическим сердечником благодаря высокой плотности тока позволяют достичь более высоких значений, чем проволоки сплошного сечения.

Таблица 1. Химический состав наплавленного металла

Марка проволоки	Защитный газ	Массовая доля элементов, %					
		C	Mn	Si	Ni	S	P
ПП-АН70М	CO ₂	0,07	1,35	0,55	—	0,012	0,015
ПП-АН70М	Ar + CO ₂	0,07	1,45	0,60	—	0,011	0,016
ПП-АН72М	Ar + CO ₂	0,06	1,442	0,45	1,46	0,012	0,015

Таблица 2. Типичные механические свойства металла шва и сварного соединения

Марка проволоки	Защитный газ	Испытания на растяжение			Испытания на ударный изгиб	
		σ _т , МПа	σ _в , МПа	δ, %	T _{исп.} , °C	KCV _{1,2} , Дж/см ²
ПП-АН70М	CO ₂	525	600	26	-20	110
ПП-АН70М	Ar + CO ₂	530	610	28	-20	120
ПП-АН72М	Ar + CO ₂	535	605	29	-40	95



Производительность наплавки *N* при использовании порошковых проволок и проволочек сплошного сечения диаметром 1,2 мм для механизированной сварки: 1 — порошковая проволока с металлическим сердечником; 2 — то же с рутиловым сердечником; 3 — проволока сплошного сечения



ния. Проволоки с металлическим сердечником позволяют обеспечить глубокий провар основного металла и высокую произ-

водительность, могут успешно использоваться для роботизированной сварки.

Considered are the issues associated with development of a new flux-cored wire with a metal core, combining high productivity and high yield of the deposited metal. The use of a thick-walled sheath provides excellent feed of the wire.

Поступила в редакцию 08.10.2002

УДК 666.1.056

УСТАНОВКА МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ЛИСТОВОЕ СТЕКЛО

М. Л. ЖАДКЕВИЧ, д-р техн. наук, В. Н. ТРОФИМЯК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описана универсальная установка магнетронного распыления для нанесения отражающего и других видов покрытий на листовые материалы.

Ключевые слова: нанесение покрытий, магнетронное распыление, отражающее покрытие, листовое стекло, установка циклического действия, вакуумная камера

Одним из практических применений технологий вакуумных покрытий является нанесение алюминиевого покрытия на стекло с целью получения отражающего слоя на зеркалах. К числу традиционных технологий нанесения таких покрытий относится испарение алюминия в вакууме (0,01 Па) с применением резистивного нагрева. В СНГ эта технология реализуется с использованием установок УВН-15 и УВ-18, разработанных СКБ ВП (Латвия, г. Рига) и изготавливаемых «Вакууммаш» (Россия, г. Казань). Однако она имеет существенный недостаток, связанный со взаимодействием алюминия с материалом испарителя (вольфрамом). Включения интерметаллида могут приводить к потускнению отражающего слоя и его отслоению уже через 1,5...2 месяца эксплуатации. В связи с этим только 15...20 % продукции, выпускаемой на этих установках, соответствует требованиям ГОСТ 17716-91 по отражающим свойствам напыляемого слоя [1]. Кроме того, данное оборудование разработано более 20 лет назад и достаточно устарело.

В последнее время интенсивное развитие получил метод магнетронного распыления, имеющий значительные преимущества в части качества покрытий и скорости их осаждения. Он обеспечивает высокую адгезию осаждаемых покрытий, отсутствие капельной фазы, сохранение стехиометрии распыляемого материала при скоростях осаждения несколько микрометров в минуту. Созданные поточные линии нанесения отражающего алюминиевого покрытия на листовое стекло для производства бытовых зеркал используют этот метод. Линии состоят из 5...7 камер, связывающих всю цепь технологических операций, включающую подготовку поверхности и нанесение покрытий (включая возможность нанесения адгезионного подслоя и многослойного рабочего покрытия), с высоким уровнем автоматизации всего процесса [2]. Такое оборудование предназначено для массового производства продукции с отражающими покрытиями в больших объемах.

Однако использование подобных линий в условиях небольших предприятий затруднительно ввиду их высокой стоимости и значительных габаритов, а также по причине необходимости для таких предприятий быстрого реагирования на запросы заказчиков с выпуском малых партий специализированной продукции. По этой причине в ИЭС им. Е. О. Патона разработана установка магнетронного распыления УМР-15-2 циклического действия для нанесения покрытий на листовые материалы и в первую очередь для нанесения отражающих покрытий на листовое стекло с целью изготовления бытовых зеркал.

Установки циклического действия УМР-15-2 состоят из цилиндрической рабочей камеры объемом 7 м³; группы высоко-

вакуумных диффузионных насосов; двухлинейной системы форвакуумной откачки; системы управления и контроля агрегатов с выносным пультом управления; системы контроля вакуумного состояния элементов; системы подачи и дозировки газовых компонентов; модуля групповой системы магнетронного распыления; источников питания магнетронной распылительной системы; загрузочного модуля с транспортной системой перемещения изделий внутри камеры; транспортной системы перемещения модуля распылительных устройств; наружного элемента транспортной системы загрузочного модуля.

Вакуумная камера герметизируется сдвижной крышкой с электроприводом и пневматической системой прижима. Вдоль образующей цилиндра камеры, расположенной горизонтально, внизу размещена транспортная система распылительного устройства. Собственно групповой распылительный модуль скомпонован из двух распылительных устройств и установлен вертикально на тележке транспортной системы, обеспечивающей возвратно-поступательное перемещение модуля по всей длине камеры. По обе стороны транспортной системы распылительного модуля располагаются заготовки изделий, в нашем случае — листовое стекло (подложки) (рисунок). Перемещаясь между плоскостями подложек, распылительный модуль обеспечивает одновременную обработку поверхностей обеих подложек. Для обеспечения равномерности покрытия по всей площади двух обращенных к модулю подложек магнитные системы распылительных устройств трансформированы таким образом, чтобы зоны эрозии, образуемые петлей разряда при распылении катода, имитировали два линейных источника распыления, обращенных соответственно каждый на «свою» подложку. Реализация такой схемы распылительного устройства позволяет удвоить площадь обработки изделий за один проход распылительного модуля. Групповой модуль распыления, скомпонован-



Установка магнетронного распыления УМР-15-2

© М. Л. Жадкевич, В. Н. Трофимьяк, 2003



ный в данном случае из двух распылительных устройств с отдельным электропитанием, обеспечивает возможность выполнения операции ионной обработки, нанесения адгезивного подслоя (при необходимости), нанесения функционального и защитного покрытия в непрерывной последовательности. Конструкция магнетронов позволяет проводить быструю замену распыляемой мишени (20... 30 мин).

Применение загрузочного модуля с собственной транспортной системой перемещения изделий позволило увеличить количество загружаемых подложек и тем самым повысить коэффициент использования рабочего объема камеры. Для установок периодического действия эта величина представляет собой отношение суммарной площади металлируемых поверхностей подложек к объему рабочей камеры

$$K_{н.к} = S_n N / V_k,$$

где S_n — площадь металлизации подложки; N — количество подложек; V_k — объем рабочей камеры.

Для УМР-15-2 при максимальной загрузке $K_{н.к} = 4,7$ (для УВМ-15 $K_{н.к} = 2,6$).

Технические характеристики установки

Производительность за смену, м ²	65
Режим работы	трехсменный
Толщина покрытия, мкм	0,01... 0,5
Численность обслуживающего персонала, чел.	3
Максимальные размеры подложек, м	2,5×1,5
Габариты, м	3,5×4,5×2,5

Установка УМР-15-2 может быть использована предприятиями, ориентированными на металлизацию листовых изделий из стекла, керамики и пластиков, но прежде всего для получения отражающего покрытия на листовом стекле в производстве бытовых и декоративных зеркал.

Хотя установка в основном предназначена для нанесения отражающего покрытия на листовое стекло, однако она имеет принципиальные возможности получения таких покрытий из немагнитных металлов и сплавов и реализации режима реактивного распыления для нанесения покрытий из оксидов, нитридов и т. п., а в качестве подложки использование пластиков и керамики.

1. Сердюк В. И., Гнатюк О. В. Совершенствование способов повышения качества покрытий, осаждаемых в вакууме // Автомат. сварка. — 2001. — № 8. — С. 59–60.
2. Данилин Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — С. 63–114.

Versatile magnetron sputtering unit for deposition of reflection and other types of coatings on sheet materials is described.

Поступила в редакцию 08.11.2003

Разработано в ИЭС

СПОСОБ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРОГРАММИРУЕМЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ И МОДУЛЯЦИЕЙ СВАРОЧНОГО ТОКА

Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программируемой подачей защитных газов в зону дуги позволяет решить задачи по управлению процессами, протекающими на торце электрода, в дуге и сварочной ванне. Разработанное оборудование для автоматической и механизированной сварки включает специализированный источник питания, блок модуляции вида защитных газов с различными физико-химическими свойствами и устройство синхронизации протекающего через дугу сварочного тока с конкретным видом защитного газа. Указанный комплекс позволяет получать соединения из различных типов сталей малой, средней и большой толщины на токе 80... 300 А.

Применение нового способа сварки позволяет повысить энергетические и технологические характеристики дуги, расширить возможности механизированных способов сварки, достичь экономии сварочных материалов и электроэнергии. Новая технология по сравнению с традиционной (сварка в углекислом газе, смесях на основе аргона, импульсно-дуговая сварка в смеси Ar + CO₂) имеет следующие преимущества: повышение механических свойств, в частности, ударной вязкости, при отрицательных температурах на 30 %; уменьшение в 2,5... 3,0

раза расхода аргона; улучшение товарного вида сварных швов; возможность управления глубиной и формой провара; уменьшение на 30 % разбрызгивания; выполнение качественной сварки навесу тонколистового металла.

Благодаря перечисленным преимуществам нового способа сварки плавящимся электродом возможна разработка высокоэффективных и экономных технологий сварки металлоконструкций малой толщины, а также многопроходной сварки металлоконструкций средней и большой толщины.

Автоматическая и механизированная сварка и наплавка плавящимся электродом низкоуглеродистых, низколегированных конструкционных сталей, сплавов на основе алюминия может применяться в области судостроения, химическом, нефтяном и пищевом машиностроении.

На разработанный способ сварки (Б. Е. Патон, В. К. Лебедев, П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, С. А. Шевчук) получен патент Украины на изобретение № 43424.

За дополнительной информацией обращаться по телефону: (044) 227 44 78; 261 52 31



ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

О. Г. Кузьменко (ИЭС) защитил 22 января 2003 г. кандидатскую диссертацию на тему «Восстановление инструмента для горячей объемной штамповки электрошлаковой наплавкой некомпактными материалами».

В работе соискателем определены условия образования качественного соединения слоев при электрошлаковой наплавке некомпактными материалами (ЭШН НМ). Показано, что определяющим фактором являются теплофизические свойства применяемого флюса. Им в полной мере отвечает низкокремнистый флюс АН-15М.

Экспериментально и методом математического моделирования исследована основная закономерность нагрева поверхности основного металла при ЭШН НМ с использованием нерасходуемых электродов и разработаны оптимальные энергетические и технологические параметры процесса: графитовые электроды должны подключаться к разным фазам источника питания; при наплавке большей поверхности штампа отдельные электроды в группе должны располагаться так, чтобы расстояние между осями соседних электродов не превышало четырех диаметров; требуемая мощность процесса должна составлять $(150...180) \cdot 10^4$ Вт/м².

Диссертантом с помощью физической (холодной) модели и метода математического моделирования исследована кинетика переноса и появления частичек НМ. Установлено, что определяющую роль в плавлении частичек играют границы раздела фаз воздух–расплав шлака и расплав шлака–расплав металла. На основании расчета теплового баланса процесса ЭШН НМ при дозированной подаче частичек НМ в виде стружки инструментальной стали 5ХНМ определена массовая скорость их подачи, которая составляет 0,3...0,7 кг/ч на 1 кВт подводимой мощности.

Результаты проведенных исследований легли в основу разработанной технологии восстановления и упрочнения штампов ЭШН НМ, проектирования специализированных и универсальных установок для ее реализации. Внедрение новой технологии на ОАО «Токмакский кузнечно-штамповочный завод» и АО «Ростсельмаш», где созданы специализированные участки, позволило практически полностью использовать для восстанови-

тельной наплавки штампов отходы инструментального производства (стружку, изношенные штампы и др.), повысить в 1,5...3,0 раза стойкость штампов и снизить их себестоимость на 30 %.



А. Г. Покляцкий (ИЭС) защитил 22 января 2003 г. кандидатскую диссертацию на тему «Особенности образования и методы предупреждения оксидных включений в швах при сварке алюминиевых сплавов пульсирующей дугой».

В работе установлено, что при аргодуговой сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом при образовании зазора в стыке в результате инжекции воздуха, затекания расплавленного металла в головную часть сварочной ванны и ухудшения условий катодного разрушения оксидной пленки резко возрастает интенсивность окисления металла сварочных кромок, что приводит к образованию оксидных включений в швах.

Автором проведен сравнительный анализ влияния различных технологических факторов на протяженность включений оксидной пленки в швах при сварке сплава АМг6 толщиной 6 мм в условиях интенсивного окисления кромок при наличии установленного критического размера зазора в стыке (1,2 мм). Установлено, что наиболее эффективными способами предупреждения оксидных включений в швах являются дополнительная защита обратной стороны стыка аргоном и сварка алюминиевых сплавов пульсирующей дугой.

Диссертантом теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования с целью повышения качества швов импульсно-дуговой и плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным прямоугольным током. Определены оптимальные параметры режимов сварки, обеспечивающие максимальную чистоту металла шва по включениям оксидной пленки.

По разработанным техническим требованиям и техническому заданию фирма «Фрониус» (Австрия) изготовила для ИЭС им. Е. О. Патона специальный источник питания РТ-450 АС/ДС, позволяющий реализовать процесс плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным прямоугольным током со сквозным проникновением плазменной струи.

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ дуговой наплавки неплавящимся электродом, отличающийся тем, что присадочную проволоку предварительно электроизолируют, причем присадочную проволоку подают в сварочную ванну при появлении разности потенциалов между присадочной проволокой и наплавляемой деталью и прекращают подачу присадочной проволоки при исчезновении разности потенциалов. Патент РФ 2190509. И. И. Столяров (ОАО «Пермский моторный завод») [28].

Устройство для электродуговой сварки, отличающееся тем, что устройство имеет блокирующий диод и дополнительный зарядный тиристор, а зарядный дроссель выполнен секционированным, при этом к одному из выводов секционированного зарядного дросселя подключен анод дополнительного зарядного тиристора, а катод его соединен с катодом силового тиристора, коммутирующий конденсатор соединен параллельно с цепью, состоящей из зарядного дросселя, первого зарядного тиристора и перезарядного диода, и последовательно с цепью, состоящей из зарядного дросселя, первого зарядного тиристора и блокирующего диода, катод которого подключен к отрицательному выводу источника. Патент РФ 2190510. А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, Н. Ю. Крампит и др. (Томский политехнический университет) [28].

Горелка для дуговой сварки в защитных газах, отличающаяся тем, что в канале подвода защитного газа установлены детурбулизирующие конусные втулки: первая с углом конусности

*Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетенях РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2002 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



$2\beta_1 = 20...40^\circ$, а вторая и третья, образующие симметричный кольцевой цилиндрический канал диффузорного типа, с углами конусности $2\beta_2 = 16^\circ$ — для внешней стенки и $2\beta_3 = 12^\circ$ — для внутренней, причем общая длина детурбулизирующих втулок составляет не менее $L = 3D$. Патент РФ 2190511. В. Т. Федько, С. С. Киянов (ОАО «Юргинский машзавод») [28].

Способ получения термитного сварочного стержня, отличающийся тем, что для получения смеси используют порошок алюминия с размером частиц $0,05...0,25$ мм и предварительно прокаленный при $550...600^\circ\text{C}$ в течение $2...3$ ч порошок закиси-оксида железа с размером частиц $0,1...0,3$ мм, взятые в соотношении алюминий-закись-оксид железа $1:(3,1...3,5)$, добавляют к смеси $10...11$ мас. % $10...12$ %-го раствора поливинилового спирта в воде, сушат при $20...50^\circ\text{C}$ в течение $2...4$ ч, при этом прессование производят при давлении $2500...2800$ кг/см², а затем обжигают полученные стержни при $150...250^\circ\text{C}$ в течение $1...2$ ч. Патент РФ 2190512. С. В. Бережной, Б. Я. Бриндаров, А. В. Гарбуз [28].

Коммутатор автомобильного сварочного агрегата, отличающийся тем, что он снабжен датчиком тока в цепи сварки, подключенным с возможностью подачи сигнала через элемент задержки сигнала на управляющий вход коммутирующего элемента при отсутствии тока в цепи сварки, при этом пороговый датчик сигнала включения коммутирующего элемента включен между выводами для подключения положительного и отрицательного полюсов генератора и выполнен с уровнем напряжения срабатывания не менее 75 В. Патент РФ 2191098. И. Б. Белоносов (ФГУП «Челябинский автоматомеханический завод») [29].

Способ дугоконтактной приварки крепежных деталей, отличающийся тем, что дополнительно определяют интегрированное значение мгновенной мощности и его сравнивают с пороговым для данной комбинации «диаметр детали — толщина листа» значением, достаточным для формирования сварочной ванны, после чего выдают сигнал на завершение цикла сварки, при этом сварочный ток выключают через некоторый промежуток времени после поступления сигнала о коротком замыкании. Патент РФ 2191099. Д. Г. Рузаев, А. В. Полянцев, Ю. Ф. Миннахметов (ОАО «Автоваз») [29].

Способ импульсной дуговой сварки плавящимся электродом, при котором на нормально горящую дугу накладывают кратковременные импульсы сварочного тока для отрыва капли расплавленного металла электрода и переноса ее в сварочную ванну, отличающийся тем, что в интервале между импульсами, непосредственно перед каждым импульсом ток нормально горящей дуги ограничивают в пределах $20...30$ А в период времени $1...3$ мс. Патент РФ 2191665. А. Ф. Князьков, В. Т. Федько, А. Г. Крампити и др. (ОАО «Юргинский машзавод») [30].

Сварочный агрегат, состоящий из двигателя внутреннего сгорания, кинематически связанного с трехфазным генератором переменного тока, содержащим трехфазный выпрямитель, один выход которого подключен к держателю электродов, второй — к сварочному столу, регулятор напряжения или тока и диодный ключ. Приведены отличительные признаки агрегата. Патент РФ 2191666. В. Т. Барабаш, В. В. Сазонов, Д. В. Барабаш, М. В. Половицкая (Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта) [30].

Горелка для дуговой сварки в защитных газах, отличающаяся тем, что сопло горелки выполнено длиной L , определяемой по формуле $L = \frac{(D_2 - D)}{(D_2 - D_1)} L_2$, где D — диаметр выходного отверстия сопла; D_1 и D_2 — внутренний и внешний диаметры кольцевого канала соответственно; L_2 — длина основной части сопла, представляющей собой кольцевой цилиндрический канал, а длина L_1 конусной части сопла $L_1 = 2D$, угол конусности β_2 внешних стенок выходной части сопла не больше угла конусности внутренних, последний из которых равен $\beta_1 = 8^\circ$. Патент РФ 2191667. В. Т. Федько, С. С. Киянов (ОАО «Юргинский машзавод») [30].

Горелка для дуговой сварки в защитных газах, отличающаяся тем, что в основную часть сопла, представляющую собой цилиндрический кольцевой канал, установлена решетка или сетка,

имеющая коэффициент просвета $0,480...0,554$, а диаметр отверстий в сетке или решетке $D = (0,73...0,78)L$, где L — расстояние между центрами отверстий. Патент РФ 2191668. В. Т. Федько, С. С. Киянов (То же) [30].

Способ плакирования металлических поверхностей сваркой взрывом, при котором плакирующей и плакируемой листы располагают с зазором друг над другом, собирают в пакет и закрепляют лентой, подвешивают на опоры за нависающие края плакирующего листа, на котором располагают заряд взрывчатого вещества и инициируют его. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2191669. Б. С. Злобин, А. А. Штерцер (ООО «НПП «МЕТЕМ») [30].

Способ контроля качества косостыкового сварного или паяного соединения разнородных материалов, отличающийся тем, что толщину бурта на наружной поверхности соединяемых деталей вычисляют по формуле $\Delta = C_1 D_1 / 4 [1 - (D_1 / D_2)^2]$, где Δ — толщина бурта; C_1 — затабулированный коэффициент, определяемый отношением D_2 / D_1 ; D_1 — диаметр бурта в месте выхода соединения на боковую поверхность бурта, наиболее удаленного от оси деталей; D_2 — наружный диаметр бурта, нагружают часть бурта выше соединения равномерно распределенной нагрузкой параллельно оси деталей в направлении, противоположном выходу соединения на наружную поверхность деталей, и качественным считают соединение при разрушении бурта в приграничной зоне соединения. Патент РФ 2191670. В. Н. Елкин, Н. Г. Фролов, С. В. Онищенко, Е. Ю. Ривкин (ФГУП НИКИ энерготехники им. Н. А. Доллежалы) [30].

Способ электродуговой наплавки износостойкими композиционными материалами с зернистой упрочняющей фазой, при котором на поверхности изделия создают ванну расплавленного металла, наносят слой армирующих частиц, а процесс ведут в среде защитных газов, отличающийся тем, что ванну расплавленного металла создают под слоем армирующих частиц. Патент РФ 2192337. Ю. Н. Сараев, В. Г. Полнов, А. В. Козлов и др. (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН) [31].

Плазматрон для воздушно-плазменной резки, отличающийся тем, что охлаждающая полость в нем выполнена в виде тора, образованного двумя канавками, одна из которых расположена в теле сопла, а другая — в соплодержателе, причем каналы для ввода и вывода охлаждающего воздуха выполнены в теле соплодержателя тангенциально поперечному круговому сечению тора и размещены попарно и равномерно чередуясь по окружности, соответствующей наружному диаметру тора с одинаковым угловым смещением между парами упомянутых каналов. Патент РФ 2192338. В. А. Старцев, В. Н. Глуховский, А. Н. Гамошкин, В. В. Тимофеев (АООТ «НИТИ») [31].

Устройство для центровки двух профильных заготовок, в частности рельсов, в машине для контактной стыковой сварки, отличающееся тем, что устройство дополнительно содержит тиристорный реверсивный пускатель с двумя дискретными входами, а формирователь сигнала рассогласования содержит два компаратора, объединенные входы которых соединены с выходом дифференциального усилителя, а отдельные входы — с разнополярными задатчиками зоны нечувствительности соответственно, первую и вторую схемы И-НЕ и схему ИЛИ, входы которых подключены через диоды к выходам соответствующих компараторов, генератор тактовых импульсов, вход которого соединен с выходами первой и второй схем ИЛИ, а выход генератора соединен с объединенными входами первой и второй схем И-НЕ, при этом выходы последних соединены с соответствующими дискретными входами тиристорного реверсивного пускателя асинхронного двигателя механизма корректировки. Патент РФ 2192339. С. И. Кучук-Яценко, В. П. Кривонос, Б. Л. Грабчев, М. В. Богорский (ИЭС им. Е. О. Патона) [31].

Способ изготовления малогабаритных трубчатых переходников из разнородных металлов, отличающийся тем, что наружную заготовку выполняют в виде диска с отверстиями, в каждое из которых устанавливают стержень, сдавливают стержни по торцам одновременно между двумя нажимными плас-



тинами, а перед механической обработкой сваренную заготовку разрезают на части, каждая из которых содержит один стержень. Патент РФ 2192340. А. Н. Семенов, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев и др. (ФГУП «НИКИ энерготехники им. Н. А. Доллежаля») [31].

Способ прошивки прецизионных отверстий лазерным излучением, отличающийся тем, что генерируют излучение с *s*- или

p-поляризацией, направляют его в элемент, который пропускает излучение только в направлении обрабатываемой заготовки, а в процессе управления интенсивностью лазерного излучения увеличивают интенсивность импульсов в дуге по мере заглубления канала отверстия. Патент РФ 2192341. Т. Т. Басуев, А. А. Гаврилов, В. В. Осико [31].

ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ЖУРНАЛАМ*



(Румыния), 2002. — № 2
(Iunie/June), (рум. яз.)

Campurean A., Panaitescu S., Ritiu S., Schiop L. Сварка трубопроводов большого диаметра с использованием процесса импульсной механизированной сварки МАГ с поперечным перемещением горелки, с. 33–39.

Joni N., Kunz K. Конструктивные аспекты сварных соединений, выполненных роботизированной дуговой сваркой, с. 42–50.

Petrescu M. G., Neasca A., Petrescu D. Вклад в исследование процесса общей термообработки применительно к сферическим резервуарам. Ч. II, с. 54–57.



(Великобритания), 2002. —
№ 119 (англ. яз.)

Bridges K. Новые будущие стандарты в области сварки рельсов, с. 1.

Thomas W., Staines D., Nicholas D., Norris I. Вариант сварки трением с перемешиванием с наклоном инструмента, с. 3.

Froment I. Сварка трением пластмасс, с. 4–5.



(Югославия), 2002. —
Let. 51, № 1 (словен. яз.)

Tomas J. Описание течения защитных газов через мундштуки при сварке МИГ/МАГ и ТИГ, с. 3–10.

Corkic A., Diaci J., Esmail E.A., Polajnar I. Акустический контроль выплеска расплавленного металла, с. 11–16.

(Югославия), 2002. —
Let. 51, № 2 (словен. яз.)

Gorkic A., Diaci J., Kariz Z., Polajnar I. Многоканальная система сбора данных, спроектированная для экспериментального исследования управления в реальном масштабе времени процессом контактной точечной сварки, с. 43–51.

Schultze S., Gollner J., Bouaifi B., Herold H. Стойкость к коррозии дуплексных сталей, с. 52–55.



(Германия), 2002. —
№ 3 (англ. яз.)

Trommer G. Сварка двумя электродными проволоками — состояние и перспективы оптимизации дуговой сварки металлургическим электродом в защитных газах, с. 122–125.

Lutz W. Сварка МАГ для изготовления опрокидывающихся кузовов самосвалов политика качества для обеспечения лучшей конкурентоспособности, с. 126–128.

Kirchheim A., Schaffner G., Staub R., Jeck N. Усилие на электродах как важный технологический параметр при контактной точечной сварке, с. 130–131.

Новшества в области сварочных технологий в 2001 году — основные материалы и разработка присадочных металлов, с. 132–151.

Mecke H., Dobbelin R., Winker T. et. al. Электромагнитная совместимость контактных сварочных машин. Ч. 1: Исходное состояние и методика измерений, с. 152–156.

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона. Более полно библиография представлена в Сигнальной информации (СИ) «Сварка и родственные технологии», издаваемой в ИЭС и распространяемой по заказам (заказ по тел. (044) 227-07-77, НТБ ИЭС.

Wielage B., Schnick T., Hofmann U. Применение метода синхронной термографии для оценки качества термических покрытий, с. 157–160.

Rosert R., Winkelmann R. Пайка высокопрочной листовой стали, с. 161–164.

Matthes K.-J., Alalus K., Riedel F. Использование метода конечных элементов для оптимизации плазменно-дуговой порошковой наплавки при производстве формовочных инструментов, пригодных к использованию при высоких усилиях, с. 165–169.

Irmer W., Karpenko M. Резка плавлением с использованием газов, содержащих азот, с. 170–175.

(Германия), 2002. —
№ 4 (англ. яз.)

Jenter U., Metting G. Единственный защитный газ даже для высоколегированной стали — смешанный газ преимущественно с кислородом и углекислым газом, с. 188–189.

Schimmack H., Silmer H., Henning A. Высокопрочный листовой прокат и высокое качество реза — обрезка листового проката с помощью лазера, с. 190–192.

Seliger P., Schinkel H. Предел ползучести сварных соединений из стали X10CrMoVNb9-1 (P91), с. 194–199.

Mecke H., Dobbelin R., Winkler T. et. al. Электромагнитная совместимость машин для контактной сварки. Ч. 2: Факторы влияния и измерения снижения шума, с. 199–205.

Adamiec P., Dziubinski J. Водородное растрескивание стальных сварных труб. Ч. 1: Образование и параметры, с. 206–209.

Новшества в области сварочных технологий в 2001 году, с. 210–222.



(США), 2002. — Vol. 81,
№ 4 (англ. яз.)

Spinella J., Van Otteren R., Boresnik B., Patrick E. P. Односторонняя рельефная сварка алюминиевых листов, с. 22–26.

Iasconne R., Menzemer C. Восстановление прочности на сдвиг сварных угловых швов из алюминиевого сплава, с. 29–31.

Shribman V., Stern A., Livshitz Y., Gafri O. Применение магнитно-импульсной сварки для выполнения высокопрочных алюминиевых швов, с. 33–37.

Полная защита сварщиков (с ног до головы), с. 69.

Anderson T. Изучение основных характеристик алюминиевых сплавов, с. 77–80.

Основные критерии выбора сварочных источников питания, с. 81–84.

Quinn T. P. Исследование процесса сварки МИГ применительно к алюминию и стали, с. 55–60.

Atkins G., Thiessen D., Nissley N., Adonyi Y. Влияние способа сварки при испытании на свариваемость стали, с. 66–68.



(США), 2002. —
Vol. 81, № 6 (англ. яз.)

Sammonds M. Ведомство военно-морских сил США модернизирует трубопроводные системы судов, с. 31–33.

Bews R. O. Применение способа ТИГ для обеспечения высококачественной сварки труб при прокладке подводных трубопроводов в Анголе, с. 36–39.

Орбитальная сварка трубопроводов гидравлических систем транспортных самолетов Citation X, с. 40–43.



Многоэлектродная сварка повышает качество и производительность стальных труб, с. 44–48.

Still J. R., Speck J. B. Оценка качества морских трубопроводных систем, с. 54–58.

Qian Y. Y., Ma X., Yoshida F. Характеристики поля напряжений на поверхностных соединениях паяного монтажа при термоциклировании — влияние температуры и ее оценка, с. 85–89.

Wei Q., Hu Q., Guo F., Xiong D. J. Исследование склонности к образованию пор в швах, выполненных с помощью самозащитных порошковых электродов, с. 90–94.

Redding C. J. Модель образования дымов в процессе дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа, с. 95–103.

Cho Y., Rhee S. Контроль динамического сопротивления первичной цепи и его применение при оценке качества контактной точечной сварки, с. 104–111.

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ИНСТИТУТА СВАРКИ

V. van der Mee (Lincoln Electric Europe Br). II-1437-01, II-A-082-01. Влияние условий хранения порошковых проволок, используемых для сварки в защитных газах, на содержание диффузионного водорода в металле шва, 14 с.

Koteski D. J. (The Lincoln Electric Company). II-1438-01, II-C-195-00. Разбавление металла шва и вид мартенсита при сварке разнородных металлов, 10 с.

Balmforth M. C. и др. (США). II-1439-01, II-C-205-01. Структурная диаграмма новой ферритно-мартенситной нержавеющей стали, 24 с.

Farrar J. C. M. и др. (UK). II-1440-01, II-C-209-01, IXH-512-01. Предварительный итоговый отчет по комплексному измерению (Round Robin) количества феррита и прогнозированию его содержания в реальных соединениях, 29 с.

II-1445-01, II-E-362-01 (ревизия II-E-347-01) ISO TC 44/SC 3N. 2001-04-30 ISO/WD 3580. Сварочные материалы. Покрытые электроды для ручной дуговой сварки сталей, стойких к ползучести. Классификация, 21 с.

Herold H. и др. (Германия). II-1450-01, IX-2000-01, II-C-220-01. Предотвращение кристаллизационных трещин при односторонней сварке, с. 12 с.

II-1451-01, II-E-366-01, ISO/TC 44/SC3N, 2001-05-17, ISO/WD 18275. Сварочные материалы. Покрытые электроды для ручной дуговой сварки высокопрочных сталей. Классификация, с. 25.

II-1452-01. Международные индексы классификаций присадочных материалов. Рабочий отчет — AWS IFS: 2001, 17 табл.

Farrar C. II-C-220-01. Проект Pr EN ISO 17641. Тест на образование горячих трещин в сварных изделиях, 3 с.

Rogne T. и др. (Норвегия). II-C-206-01. Определенные склонности к щелевой коррозии нержавеющей сталей. Новые методы и влияние геометрии щели, 8 с.

Jin Suk Kim и др. (Корея) II-C-207-01. Влияние модификации вольфрамом двухфазных нержавеющей сталей на образование вторичных фаз и коррозионное растрескивание под напряжением, 9 с.

Woollin P. (UK). II-C-208-01. Влияние образования интерметаллидных фаз в супердвухфазном металле трещин в виде, содержащей CO₂, H₂S и Cl⁻, 9 с.

КОМИССИЯ III. КОНТАКТНАЯ СВАРКА И СМЕЖНЫЕ СВАРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ

III-949-88, 29.05.01, ISO/DJS14323. Сварка. Контактная точечная и рельефная сварки. Испытания швов с разрушением образца. Размеры образцов и методики ударных испытаний со сдвигом и поперечных с растяжением, 23 с.

Satonaka S. и др. (Япония). III-1180-01. Точечная сварка разнородных листовых материалов, 7 с.

КОМИССИЯ IV. СВАРКА С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПОТОКА ЭНЕРГИИ

Matsuda F. (Япония). IV-787-01, ISO/TC44. Действующие и перерабатываемые стандарты ISO по электронно-лучевым и лазерным способам сварки и резки (состояние на 2001 год), 6 с.

IV-788-01. Испытания сварных образцов с разрушением из металлических материалов — определение твердости сварных соединений с узким проваром, выполненных лазерной и электронно-лучевой сваркой (Определение твердости по Vickers Knoop) (Проект The Japan Welding Engineering Society) WG1 ISO/TC 44/SC5, 8 с.

IV-789-01, WG STANDARD. Приемные испытания оборудования для сварки Nd: YAG-лазером. Ч. 1. Оборудование с использованием волоконно-оптических систем (Проект The Japan Welding Engineering Society Laser International Standard Committee новой редакции ISO/TC 44/SC10), 17 с.

IV-789-01, WG STANDARD. Приемные испытания оборудования для сварки и резки CO₂-лазером. Использование 2D передвижных оптических систем (Проект The Japan Welding Engineering Society Laser International Standard новой редакции ISO/TC44/SC10), 6 с.

Ikedo T. и др. (Япония). IV-791-01, IE-338-01. Использование управляемой водяной струи для лазерной обработки вальцевальной конструкции, 8 с.

Matsunawa A. и др. (Япония). IV-792-01. Влияние давления окружающей среды на динамику проплавления типа «замочная скважина» и ванны при лазерной сварке, 12 с.

КОМИССИЯ V. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

Dobmann G. (Германия). V-1194-01. Оценка в реальном времени мало- и многоциклового усталости обычных углеродистых и аустенитных нержавеющей сталей с помощью микромагнитного неразрушающего контроля, 10 с.

Ewert U. и др. (Германия). V-1198-01, VA487-01. Новые детекторы и перспективы промышленной радиологии, 1 с.

H. Heidt и др. (Германия). V-1182-01, VA486-01. Современное состояние европейской и международной стандартизации по радиологическим методам неразрушающего контроля, 12 с.

Стеглов О. И. (Россия). V-1200-01. Оценка напряженно-деформационного состояния трубопроводов с помощью методов неразрушающего контроля (NDT), 2 с.

Blasiis D. de и др. (Италия). V-1201-01. Электрооптические датчики, встроенные в пост для дуговой сварки для контроля процесса с использованием контроллера, 2 с.

КОМИССИЯ VI. ТЕРМИНОЛОГИЯ

VI-739-00. Пересмотр ИВ-тезауруса, 1 с.

VI-740-00. Термины. Ч. 3. Дуговая сварка, 15 с.

VI-752-01. МСТ. Ч. 5: Термическая резка, 56 с.

VI-753-01. МСТ. Ч. 5: Термическая резка. Список аббревиатур, 1 с.

КОМИССИЯ VIII. ЗДОРОВЬЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ

CVIII 1921-01. Изучение зрения у сварщиков Франции, 3 с.

Hudson H. J. и др. (UK). CVIII 1922-01. Влияние параметров процесса на допамин и олигид активность выделением аэрозолей в качестве оценки потенциала нейротоксичности, 7 с.

CVIII 1923-01. Здоровье и безопасность в Англии. Мп и его неорганические соединения, 4 с.

Sqiegel-Ciobanu V.-E. (Германия). CVIII 1924-01. Пилотный проект по токсичности сварочных аэрозолей, содержащих Al, 3 с.

Sqiegel-Ciobanu V.-E. (Германия). CVIII 1925-01. Альтернатива от продолжительного контакта с аэрозолями при сварке Al, 5 с.

CVIII 1926-01. Отчет Института никеля — нержавеющей стали и сварочные аэрозоли, 7 с.

CVIII 1927-01. Здоровье и безопасность в Англии. Док. HSE 668/28: Контроль аэрозолей, выделяемых при электродуговой сварке нержавеющей сталей, 19 с.

McMillan G. (Председатель). CVI II 1928-01. Оценка 2001 года легких заболеваний при электродуговой сварке, 11 с.

Matusiak J. и др. (Польша). CVIII 1929-01. Развитие плазменных процессов резки требует усиления охраны окружающей среды, 6 с.

Hewitt P. J. (UK). CVIII 1930-01. Стратегия оценки риска и контроля при сварке: перспективы для развивающихся стран, 5 с.



Dennis J. H. и др. (УК). CVIII 1931-01. Модель для прогнозирования скорости образования аэрозолей при дуговой сварке плавящимся электродом на постоянном токе прямой полярности с учетом капельного и струйного переноса, 10 с.

Iregren A. и др. (Швеция). CVIII 1932-01. Влияние контактов на нервную систему различных групп рабочих, 9 с.

Szigel-Ciobanu V.-E. (Германия). CVIII 1933-01. Оценка опасности для здоровья, связанная с выделением вредных веществ при сварке, 8 с.

Milacic R. и др. (Словения). CVIII 1934-01. Хром в сварочных аэрозолях, 16 с.

Gueneil P. и др. (Франция-Дания). CVIII 1936-01. Профессиональные факторы риска, ультрафиолетовое излучение и глазная меланома — излучение во Франции, 6 с.

Pacette V. A. и др. (США). CVIII 1937-01. Влияние сварки на перкинсонизм-клинические симптомы, лечение и патофизиология, 2 с.

Mattorano D. и др. (США). CVIII 1938-01. Воздействие металла при ремонте и демонтаже судов, 12 с.

Hong Li H. и др. (КНРСША-Дания). CVIII 1940-01. Влияние выделения Cr(VI) на качество спермы: изучение на людях и животных, 8 с.

Международная конференция «КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И РЕСУРС ОБОРУДОВАНИЯ АЭС»

Киев, Украина 20 - 22 мая 2003 г.

Конференция «РЕСУРС - 2003» состоится в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины при содействии и поддержке Национальной академии наук Украины, Минтопэнерго Украины, НАЭК «Энергоатом», Научного совета по проблеме «Механика деформируемого твердого тела», Научно-координационного и экспертного совета по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин, Ассоциации «Надежность машин и сооружений».

В настоящее время Оргкомитет получил более 100 заявок на участие ведущих организаций Украины (Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАНУ, Института ядерных исследований НАНУ, Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, Института технической механики НАН и НКА, Института черной металлургии им. З.И.Некрасова, Днепропетровского национального университета, Государственного научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности, Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, ФМИ им. Г. В. Карпенко НАН Украины и др.), России (Института машиноведения РАН, Росэнергоатома, ЦНИИТМАШ, НИКИЭТа, ВНИИАЭСа, ФГУП ОКБ «Гидропресс», ЦНИИКМ «Прометей»), Азербайджана (Азербайджанского технического университета, Сумгаитского государственного университета), известных европейских организаций (Framatome ANP GmbH, Tractebel Energy Engineering, ЕС/JRC-IE, Tecnatom S.A, Nuclear Research Institute Rez near Prague), а также представителей атомных станций Украины.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- критерии предельного состояния материалов при статическом, динамическом, мало- и многоцикловом нагружении;
- методы учета влияния технологических и эксплуатационных дефектов на предельное состояние материалов и элементов конструкций;
- оценка деградации структуры и свойств материалов в процессе эксплуатации;
- методы оценки конструкционной прочности;
- методы оценки ресурса, в том числе остаточного;
- экспертиза разрушения элементов конструкций;
- продление сроков эксплуатации оборудования атомной энергетики.

По вопросам проведения конференции просьба обращаться по

тел. 38 (044) 295-81-47, факс 38 (044) 296-16-84.

E-mail: info@ipp.adam.kiev.ua, conf2003@ukr.net

Адрес: Украина, 01014, г.Киев, ул.Тимирязевская, 2.

Институт проблем прочности НАН Украины им. Г. С. Писаренко
Оргкомитет Международной конференции «Ресурс - 2003». www.ipp.adam.kiev.ua