

СИСТЕМНЫЙ ПОСТАВЩИК В СФЕРЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Критический анализ конъюнктуры рынка и последующий акцент на преимуществах уникальной, технологически передовой продукции и услуг непременно приводят к успеху. Изучение бизнес-ситуации, сложившейся в компании J&K из Нижней Саксонии, которая поставляет оборудование для машино- и судостроения, позволило установить, что данная стратегия защищает и от обусловленного кризисом падения сбыта. Такие выводы были сделаны по результатам опроса ведущих мировых предприятий в области энергомашинно- и судостроения, а также работ в

Тяжеловесные и объемные сварные компоненты из стали и алюминия обычно используются в местах, подверженных атмосферным влияниям (влаге, ветру и другим неблагоприятным условиям). Компания J&K Industriemechanik предлагает металлические листы толщиной до 250 мм, длиной 20 м и массой до 5000 т. В силу особых условий на море к монтажным конструкциям предъявляются высокие требования: в частности, они должны выдерживать химическую, климатическую, динамическую и прочую нагрузки. Очень длинные швы соединений, подвергшиеся термической обработке, должны при проверке показывать определенный класс прочности, минимальное корб-

Машинный парк J&K представлен одиннадцатью сварочными аппаратами TransSynergic 4000, двумя аппаратами TransSynergic 5000 и семью TransPuls Synergic 5000 с максимальным значением сварочного тока 5000 А. Они используются для процессов MIG (Metall Inertgas) и MAG (Metall Schutzgas) при толщине металлического листа до 250 мм. Для предварительной обработки и прихватывания Кремер применяет системы меньшей мощности.

При широких диапазонах мощности достигается экономное потребление энергии. Так, инвертор TransPuls Synergic 5000 воспринимает примерно 100 Вт (энергопотребление на холостом ходу), а обычный инвертор, включаемый поэтапно, 2000 Вт. Другим преимуществом источников тока цифровой серии является то, что они могут использоваться с разными совместимыми компонентами и дополнительными принадлежностями. Следовательно, можно оптимизировать многочисленные процессы на стройплощадке и обеспечить высокую гибкость.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОТ ФИРМЫ «BOEHLER»

Порошковые проволоки для сварки экономнолегированных марок дуплексных (двухфазных) сталей

Компания разработала новые порошковые проволоки для сварки новых экономнолегированных дуплексных сталей: BOEHLER CN 24/9 LDX-FD, BOEHLER CN 24/9 LDX PW-FD. Они разработаны специально для сварки дуплексной стали марки 1.4162/или по классификации UNS S 32101. Так как эта дуплексная сталь содержит большое количество марганца и азота (в качестве аустенизирующих элементов), то вязкость шлака и, как следствие, его растекаемость предопределяют более длительное время кристаллизации расплава ванны сварного соединения. Это приводит к форми-



открытом море на предмет использования специальных сборных компонентов, предлагаемых компанией из Леэ. Специалисты J&K располагают редким набором ноу-хау в области сварочных технологий, а ведь эта область весьма строго контролируется законом, и, чтобы занять достойное место в ней, необходимо получить разрешение. При этом управляющий компанией Герхард Кремер считает одним из факторов успеха высококачественное цифровое сварочное оборудование. Исключительно на основе собственного опыта он делает ставку на системы Fronius.

ление материала и иметь ровную поверхность без дефектов.

Благодаря бескомпромиссному качеству продукции предприятию удается заключать крупные контракты, переманивая к себе клиентов более «дешевых» конкурирующих компаний. Этому способствуют высокая производительность, надежность и качественный сервис — обеспечиваемые компанией Fronius. Характерные количественные показатели иллюстрируют производство J&K производит примерно 2000 т стали, 100 т алюминия и свыше 50 т сварочной и порошковой проволоки.

рованию очень ровного и гладкого сварного шва.

Экономнолегированные duplex-стали и соответствующие материалы, пригодные для их сварки, имеют достаточно универсальное применение прежде всего в химической (например, в производстве биотоплива), целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности.

*Целлюлозные электроды
для сварки трубопроводов:
BOEHLE FOX CEL 70-P,
BOEHLE FOX CEL 80-P*

На протяжении десятилетий компания «BOEHLER WELDING» является ведущим мировым брендом в области сварки трубопроводов. Сегодня она предлагает потенциальным клиентам продукты первоклассного качества, являющиеся результатом постоянного развития производства в соответствии с современными



требованиями, предъявляемыми к технологиям сварки трубопроводов. Это стало движущей силой при разработке двух новых типов целлюлозных электродов: BOEHLER FOX CEL 70-P, BOEHLER FOX CEL 80-P. Эти электроды находятся в идеальном соответствии с существующим ассортиментом целлюлозных электродов BOEHLER FOX CEL 75/85/90.

Сварщики, предпочитающие стабильную дугу с хорошим смачиванием, выбирают уже известные типы CEL 75 и CEL 85.

Новые электроды BOEHLER FOX CEL 70-P and FOX CEL 80-P характеризуются хорошим горением дуги и равномерным растеканием по ванне расплава. Мощная дуга FOX

CEL 70-P и CEL 80-P позволяет легко заменить конкурирующие марки продуктами BOEHLER. Электродами BOEHLER FOX CEL 70-P выполняют корневой проход при сварке сталей класса прочности X65, а электродами BOEHLER FOX CEL 80-P — класса прочности X70.

НОВЫЙ СВАРОЧНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ МИГ/МАГ СВАРКИ

Международный производитель сварочного оборудования компания Kemppi Oy (Финляндия) начал производство принципиально нового компактного сварочного аппарата FitWeld 300 для сварки МИГ/МАГ, являющегося оптимальным решением при выполнении прихваточных швов и обеспечивающим до 57 % экономии входной мощности по сравнению со стандартными аппаратами MMA.

Компактный, легкий, удобный в эксплуатации (габариты FitWeld: 457x226x339 мм, масса: 14,5 кг) и в то же время надежный трехфазный аппарат FitWeld 300 (400 В 50/60 Гц) был разработан с целью замены процессов выполнения прихваточных и сварных швов методом MMA (достигается повышение скорости сварки в два раза по сравнению с аппаратами MMA). Новый аппарат идеально подходит для использования на судостроительных заводах и предприятиях тяжелой промышленности.

Номинальная нагрузочная способность аппарата 300 А при рабочем цикле 20 % и напряжении холостого хода 43 В позволяет его использовать со сплошной сварочной проволокой из малоуглеродистой стали, порошковой сварочной проволокой, а также с проволокой из нержавеющей стали и алюминия диаметром от 0,8 до 1,2 мм.

Аппарат имеет следующие функции: QuickArc — чистое зажигание дуги с минимальным количеством брызг и быструю стабилизацию дуги; новейшую функцию GT Wire-Drive, обеспечивающую быст-

рый отклик на сигналы кнопки сварочного пистолета, а также большой ресурс включений для зажигания дуги; функцию GasGuard, обеспечивающую автоматическую блокировку сварки при отсутствии защитного газа или случайном отключении его подачи в аппарат, а также функцию встроенной подсветки Brights — абсолютно новую уникальную функцию сварочного оборудования Kemppi, повышающую безопасность и облегчающую замену катушек сварочной проволоки и регулировку параметров в условиях слабого освещения.

Другие управленческие и конструктивные особенности, включая панель управления с простой настройкой значений напряжения и параметров дуги, относящихся к скорости подачи проволоки, выбор 2- или



4-тактного режима работы сварочной горелки, прочные ручки для захвата держателя бобины сварочной проволоки, регулировку скорости подачи защитного газа и простую смену полярности, дающей возможность сварки на положительном или отрицательном токе, призваны обеспечить повышение скорости, удобств и безопасности сварочных операций.

В течение долгого времени MMA являлся традиционным процессом для выполнения прихваточных швов в тяжелой промышленности, однако он характеризуется высокими трудозатратами, что связано с низкой скоростью сварки по сравнению со скоростью выполнения сварных и прихваточных швов методом

МИГ/МАГ. Сварочные аппараты MMA потребляют значительно больше электроэнергии, чем оборудование МИГ/МАГ. Кроме того, сварка МИГ/МАГ чище и быстрее.

С точки зрения безопасности электроды при MMA сварке могут быть потенциально опасными, поскольку, находясь в держателе электродов, они теоретически остаются под напряжением, а следовательно, необходимо соблюдать повышенную осторожность.

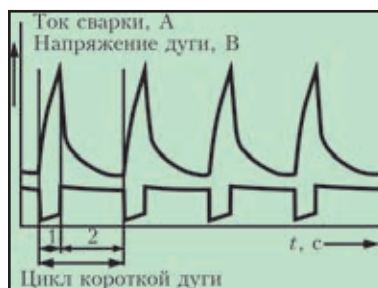
QSET™ – ПРОРЫВ В ТЕХНОЛОГИИ МИГ/МАГ СВАРКИ КРОТКОЙ ДУГОЙ

Функция QSet™ является последней разработкой ЭСАБ в области источников МИГ/МАГ сварки, способной навсегда изменить сварку короткой дугой.

Правильное соотношение между скоростью подачи проволоки и временем отжига проволоки является основой успешной сварки короткой дугой. Для этого напряжение дуги и скорость подачи проволоки должны точно подходить друг другу. Опытный сварщик сначала выбирает приблизительные параметры и далее регулирует напряжение дуги и скорость подачи проволоки до тех пор, пока не будут найдены их оптимальные значения. В этом случае процесс сварки проходит при нужной частоте короткой дуги, сопровождающейся характерным звуком.

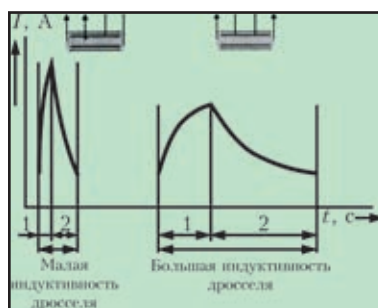
Такая процедура подбора параметров должна повторяться при сварке в различных пространственных положениях, различных толщинах листа, типах проволоки или типах защитного газа, поскольку все перечисленные параметры влияют на частоту короткого замыкания. На частоту короткого замыкания также влияет вылет проволоки и индуктивность.

Установка индуктивности дросселя, напряжения дуги и скорости подачи проволоки влияют и на тепловложение. При большей индуктивности

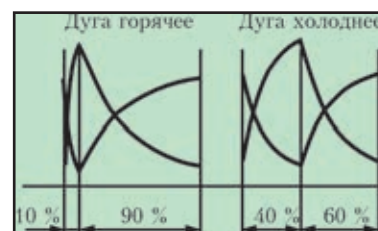


увеличивается продолжительность периода горения дуги, уменьшается частота коротких замыканий и возрастает тепловложение. С уменьшением индуктивности дросселя уменьшается период горения дуги, возрастает частота коротких замыканий и снижается тепловложение.

Современная электроника позволяет инженерам разрабатывать программное обеспечение, помогающее сварщикам



в управлении процессом сварки. В настоящее время большой объем памяти позволяет сохранять и вводить оптимальные параметры сварочного процесса. Функция QSet™ — последняя разработка ЭСАБ в области интеллектуальной цифровой сварки. Одного нажатия на клавишу QSet достаточно, чтобы сварочный аппарат автоматически выбрал оптимальную частоту короткого замыкания для данной комбинации газ/проволока при пробной сварке, когда сварщик подбирает скорость подачи проволоки для данных конкретных условий



сварки. При этом необходимо всего несколько секунд пробной сварки. Такая процедура повторяется при изменении типа или диаметра проволоки и/или при изменении типа защитного газа. Каждый раз аппарат сам находит оптимальные параметры.

Что может быть проще! Сварщики экономят ценное время на настройку параметров и концентрируют свое внимание и опыт на выполнении качественной сварки. Время экономится и на зачистке сварных швов, поскольку идеальная регулировка дуги сводит к минимуму образование брызг.

Порошковая проволока для сварки труб с принудительным формированием

Предприятием «Арксел» (г. Донецк, Украина) совместно с фирмой «Drahtzug Stein Wire & Welding» (Германия) разработана порошковая проволока MegafilR 715B-A для сварки с принудительным формированием шва в полевых условиях. Она имеет герметичную оболочку и не требует предварительной прокалки перед употреблением даже в условиях монтажа и прокладки трубопроводов при повышенной влажности окружающего воздуха. Проволока имеет флюсовый сердечник основного типа, что в сочетании с традиционным низким содержанием диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле позволяет обеспечить отличные механические свойства металла кольцевых швов труб, сваренных в неповоротном положении.

Проволока используется в технологии высокопроизводительной односторонней сварки неповоротных стыков труб в условиях монтажа, разработанной ПИИ СИТ «Нефтегазстройизоляция». Комплект оборудования для осуществления технологии включает стакан для подготовки кромок 1 и са-

моходный центратор с медным подкладным кольцом 2, обеспечивающий совмещение операций стыковки кромок и установки подкладного формирующего кольца, позволяет выполнять одностороннюю сварку неповоротных стыков порошковой проволокой без предварительной подварки корня шва и без прихваток. При этом трубы с толщиной стенки до 10 мм можно сваривать за один



проход, обеспечивая требуемые механические свойства металла сварного шва и сварного соединения в целом.

Простая сварочная головка оригинальной конструкции и небольшой массы 3 обеспечивает выполнение сварки стыков труб порошковой проволокой MegafilR 715B-A со скоростью примерно вдвое быстрее, чем при сварке в защитных газах рутиловой порошковой проволокой со свободным формированием шва и втрое, вчетверо быстрее, чем при сварке покрытыми электродами. Порошковую проволоку MegafilR 715B-A серийно производят на предприятии «Арксел» и рекомендуют для сварки неповоротных стыков

труб в комплексе с оборудованием предприятия ПИИ СИТ «Нефтегазстройизоляция» для подготовки кромок и сварки в условиях монтажа и прокладки трубопроводов в любых климатических условиях. Гарантийный срок хранения проволоки в сухом складе 24 мес. Возможный срок использования порошковой проволоки MegafilR 715B-A на монтажной площадке без какой-либо дополнительной подготовки к сварке при отсутствии прямого попадания влаги на проволоку — один месяц.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Известный производитель сварочного оборудования «Heli» (Италия) предлагает новинку в серии оборудования для МИГ/МАГ сварки — трехфазные источники питания SILVERMIG 229 и SILVERMIG 409, оборудованные микропроцессорной панелью управления двигателем для МИГ/МАГ сварки и пайки. Они идеальны для применения в сварочных мастерских и особенно в случае сварки нержавеющей стали, алюминия или оцинкованных сталей. Оснащены дисплеем для визуализации сварочного тока. Идеальны для использования двумя сварочными горелками и двумя барабанами для намотки проволоки (15 кг для сварки сталей, 5 кг для пайки Cu-Si при-

поем, 0,3 кг для сварки алюминия), что обеспечивает быстрое и простое использование. Эти выпрямители оснащены удобной для пользователя контрольной панелью для выбора типа горелки и рабочей системы, которая может быть полностью автоматической (синергетическая система) или ручной для работы более опытными сварщиками. Установки особенно хорошо подходят для сварки алюминия при помощи SPOOL GUN.

Технические характеристики SILVERMIG 229 (409)

Напряжение источника питания, В	230/400, 50/60 Гц
Поглощаемая мощность, кВт	3,5 (19)
Напряжение холостого хода, В	16,5...32,5 (18...45)
Диапазон тока, А	30...190 (30...400)
Стандартный ток, А	25% 190 (60% 130)
Положение регулировки, к-во	8 (24)
Диаметр стальной электродной проволоки, мм	0,6...1 (0,6...1,6)
Диаметр нержавеющей электродной проволоки, мм	0,8...1 (0,8...1,2)
Диаметр алюминиевой электродной проволоки, мм	0,8...1 (0,8...1,6)
Диаметр проволоки-припоя, мм	0,8 (0,8...1,2)
Тип изоляции	Н
Уровень защиты	IP22, IP23
Размер, мм	850x460x560, (1000x555x810)
Масса, кг	62 (131)





РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

Ю. С. Борисов, Г. М. Григоренко,
А. Т. Зельниченко, А. Я. Ищенко,
В. И. Кирьян, И. В. Кривцун,
С. И. Кучук-Яценко (зам. гл. ред.),
Ю. Н. Ланкин,
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, О. К. Назаренко,
В. Д. Позняков,
И. К. Походня, И. А. Рябцев,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунгов, К. А. Ющенко

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Н. П. Алешин (Россия)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
В. И. Лысак (Россия)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Г. А. Туричин (Россия)
Чжан Янмин (Китай)
Д. фон Хофе (Германия)

УЧРЕДИТЕЛИ:

Национальная академия наук Украины,
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ,
Международная
ассоциация «Сварка»

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ
Тел.: (38044) 287 6302, 529 2623
Факс: (38044) 528 3484, 529 2623
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, Т. В. Юштина
Электронная верстка:
А. И. Сулима, И. С. Баташева,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001

**Журнал входит в перечни
утвержденных ВАК Украины
и Российской Федерации изданий
для публикации
трудов соискателей
ученых степеней**

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет
Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<i>Максимова С. В.</i> Формирование паяных соединений алюминидов титана	7
<i>Скульский В. Ю.</i> Термокинетические особенности образования холодных трещин в сварных соединениях закаливающихся теплоустойчивых сталей	14
<i>Кучук-Яценко В. С., Швеи В. И., Сахацкий А. Г., Наконечный А. А.</i> Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминидов-титановых фольг	19
<i>Шонин В. А., Машин В. С., Мурашов А. П., Зеленин В. И., Демьянов И. А., Пашуля М. П., Теплюк В. М.</i> Роль защитного покрытия в сварных соединениях алюминидового сплава на сопротивление усталости	23

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<i>Титаренко В. И., Ткаченко О. В., Матико Д. Ю., Пилипко В. И., Мудранинец И. Ф., Мудранинец И. И.</i> Опыт разработки и изготовления сварочно-наплавочных установок	27
<i>Шатан А. Ф., Андрианов А. А., Сидоренко В. Н., Жерносеков А. М.</i> Эффективность стабилизации дуги переменного тока при сварке покрытыми электродами	31
<i>Шаломеев В. А., Цивирко Э. И., Петрик И. А., Лукинов В. В.</i> Заварка поверхностных дефектов лития из сплава Мл-10 скандийсодержащим материалом	34
ИЗ ИСТОРИИ СВАРКИ	
<i>Литвинов А. П.</i> Развитие сварки в инертных газах (Обзор)	39

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Онацкая Н. А., Демиденко Л. Ю.</i> Электрогидроимпульсная обработка для упрочнения поверхности крестовин из стали 110Г13МЛ	45
Диссертация на соискание ученой степени	47
Патенты в области сварочного производства	47
По страницам журнала «Welding & Cutting»	49

ХРОНИКА

Наши поздравления	53
Памяти Д. А. Дудко	54

ИНФОРМАЦИЯ

Производители сварочных материалов, имеющие сертификат соответствия в системе УкрСЕПРО, выданный в НТЦ «Сепроз» (по состоянию на 01.01.2008)	57
--	----

Avtomaticheskaya Svarka

№ 3 (671)

March 2009

Published since 1948

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

Yu. S. Borisov, G. M. Grigorenko,
A. T. Zelnichenko,
A. Ya. Ishchenko, I. V. Krivtsun,
S. I. Kuchuk-Yatsenko (vice-chief ed.),
V. I. Kiryan, Yu. N. Lankin,
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
V. I. Makhnenko,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
V. D. Poznyakov, I. A. Ryabtsev,
B. V. Khirovskaia (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Diltthey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
V. I. Lysak (Russia)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
G. A. Turichin (Russia)
Zhang Yanmin (China)

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

Address of Editorial Board:

11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine

Tel.: (38044) 287 63 02, 529 26 23

Fax: (38044) 528 04 86

E-mail: journal@paton.kiev.ua

http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushtina

Electron galley:

I. S. Batasheva, A. I. Sulima,

I. R. Naumova,

I. V. Petushkov

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

NEWS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Maksimova S. V.* Formation of brazed joints of titanium aluminide 7
- Skulsky V. Yu.* Thermokinetic peculiarities of cold crack formation in welded joints of hardening heat-resistant steels 14
- Kuchuk-Yatsenko V. S., Shvets V. I., Sakhatsky A. G., Nakonechnyi A. A.* Resistance welding of titanium aluminides using nanolayer aluminium-titanium foils 19
- Shonin V. A., Mashin V. S., Murashov A. P., Zelenin V. I., Demjanov I. A., Pashulya M. P., Teplyuk V. M.* Role of protective coating in fatigue resistance of aluminium alloy welded joints 23

INDUSTRIAL

- Titarenko V. I., Tkachenko O. V., Matiko D. Yu., Pilipko V. I., Mudraninets I. F., Mudraninets I. I.* Experience in development and manufacture of welding-surfacing equipment 27
- Shatan A. F., Andrianov A. A., Sidorets V. N., Zhernosekov A. M.* Effectiveness of AC arc stabilization in welding with covered electrodes 31
- Shalomeev V. A., Tsivirko E. I., Petrik I. A., Lukinov V. V.* Repair of surface defects of casting of alloy MI-10 using scandium-containing material 34
- FROM HISTORY OF WELDING**
- Litvinov A. P.* Progress of inert-gas welding (Review) 39

BRIEF INFORMATION

- Onatskaya N. A., Demidenko L. Yu.* Electro-hydro-pulsed treatment for surface strengthening of 110G13ML steel frogs 45
- Thesis for scientific degree 47
- Patents in the field of welding 47
- Review of journal «Welding & Cutting» 49

NEWS

- Our congratulations 53
- In memory of Dudko D. A. 54

INFORMATION

- Manufacturers of welding consumables, having Certificate of conformity in system UkrSepro, issued by STC «SEPROZ» (as for 01.01.2008) 57

*Journal «Avtomaticheskaya Svarka» is published in English under the title
«The Paton Welding Journal»*



ФОРМИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИДА ТИТАНА

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

Исследованы особенности формирования паяных соединений алюминидов титана, полученных при радиационном нагреве в вакууме с использованием припоев на базе системы Ti–Zr, легированных другими элементами. Отмечено, что применение припоев, содержащих медь и никель, не позволяет получить однородную структуру металла паяных швов. Легирование системы Ti–Zr железом, марганцем и другими элементами обеспечивает паяным соединениям структуру и свойства, близкие паяемому материалу.

Ключевые слова: вакуумная пайка, алюминид титана, припой, адгезионно-активные сплавы, структура, эвтектика, химическая неоднородность

Композиции на основе системы Ti–Al являются характерными представителями высокопрочных и жаропрочных интерметаллидных сплавов нового поколения [1]. Они перспективны для использования в области авиастроения при изготовлении ряда деталей горячего тракта газотурбинных двигателей [2]. По своим жаропрочным характеристикам при температуре 700...750 °C они могут конкурировать с высоколегированными никелевыми сплавами благодаря низкому удельному весу [3], что позволит уменьшить массу газотурбинного двигателя на 30 %.

Последние десятилетия непрерывно ведутся широкие исследования свойств титановых жаропрочных сплавов на интерметаллидной основе и разрабатываются технологические процессы получения неразъемных соединений. Использование традиционных способов сварки (нагрев с высокой погонной энергией, применение давления) во многих случаях не приемлемо.

Предпочтительным способом соединения интерметаллидных сплавов является пайка. Однако при этом возникает ряд трудностей. С одной стороны, технологический процесс пайки позволяет избежать высоких остаточных напряжений в соединениях, расплавления основного металла, образования трещин и сохранить механические свойства основного металла без нарушения его структурного состояния. С другой стороны, получение паяных соединений сплава γ -TiAl и выбор состава припоев ограничиваются узкими интервалами содержания легирующих элементов, в пределах которых не происходит ухудшение механических свойств и служебных характеристик основного материала. При этом скорость диффузии многих компонентов припоев может существенно замедляться за счет образования интерметаллид-

ных фаз с алюминием. Кроме того, интерметаллидные сплавы отличаются по составу, и каждый сплав требует индивидуального подхода при выборе припоев и температуры пайки.

Известно, что компоненты системы Ti–Al [4, 5] значительно отличаются электронным строением атомов и образуют ряд соединений — Ti_3Al , TiAl и $TiAl_3$. Механические свойства сплавов на основе системы Ti–Al зависят от содержания в них алюминия. Максимальную пластичность имеют не однофазные сплавы γ -TiAl, а сплавы доэвтектического состава Ti–46...49 ат. % Al (далее — ат. %). Они находятся в двухфазной ($\alpha_2 + \gamma$)-области, α_2 -фаза представлена интерметаллидом Ti_3Al [4]. Сплавы, в которых объемная доля α_2 -фазы составляет 10...15 %, характеризуются максимальным уровнем пластичности [6]. Максимальное сопротивление ползучести при повышенных и низких температурах имеет место у сплавов с полностью lamellarной крупнозернистой структурой (пластины-ламели α_2 в γ -матрице).

Основным недостатком рассматриваемых сплавов на основе системы Ti–Al, имеющих упорядоченную решетку типа $L1_0$, является их низкая пластичность ($\delta = 0,2...0,5$ %) при комнатной температуре, обусловленная особенностями движения дислокаций в гранцентрированной тетрагональной решетке. Предел текучести увеличивается при повышении температуры приблизительно до 800 °C.

В области технологии соединения интерметаллидных сплавов с помощью пайки пока сделаны лишь первые шаги. Критерии выбора того или иного способа соединения пока еще не выработаны. В связи с этим можно говорить только об отдельных исследованиях, которые, однако, не всегда отвечают основной цели — обеспечить работоспособность соединений в условиях эксплуатации.

При вакуумной пайке [7] титанового интерметаллидного сплава Ti–37,5 % Al, структура которого представлена пластинчатыми $\gamma(TiAl)$ - и



α_2 (Ti₃Al)-фазами, с использованием алюминиевой фольги толщиной 15 мкм прилагают сжимающее усилие и осуществляют выдержку при температуре 700 или 900 °С, что способствует прохождению диффузионных процессов и образованию интерметаллидов TiAl₂ (или TiAl₃) в металле паяного шва. Проведение длительной термообработки паяных соединений при 1300 °С с выдержкой 3,84 кс не позволило достичь образования пластинчатой γ/α_2 -фазы и прочности паяных соединений на уровне основного металла. Временное сопротивление σ_b при температуре 20 °С составило примерно 220 МПа [7]. К недостаткам данного технологического процесса следует отнести его трудоемкость и значительную продолжительность. Кроме того, приложение сжимающего усилия обусловлено конструктивными особенностями конкретного паяного изделия, а поэтому не является универсальным способом получения неразъемных соединений.

В случае вакуумной пайки при температуре 990 °С в течение 30 мин использование в качестве припоя серебра не способствовало получению работоспособных соединений, поскольку отсутствовала диффузия элементов основного металла в паяный шов, а серебра в основной металл. В паяном шве образовывались дефекты в виде пор. Применение сплава на основе системы Cu–Ni в качестве припоя также не дало положительных результатов [8].

Повысить прочность паяных соединений до 343 МПа удалось благодаря использованию серебряного припоя ВAg-8 [9]. Отмечено, что серебро не вступает в реакцию с TiAl (основой) [9], а медь, наоборот, активно с ней взаимодействует. Так, при температуре пайки 950 °С на границе раздела между припоем и паемым материалом образуются фазы типа AlCuTi и (AlCu)₂Ti.

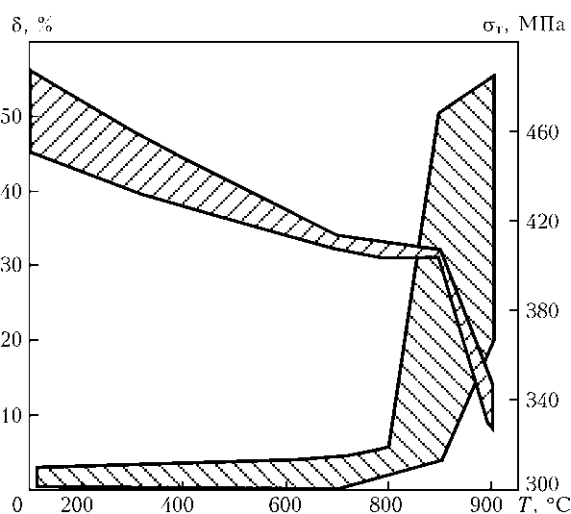


Рис. 1. Изменение механических свойств (пластичности δ и предела текучести σ_T) сплава Ti–48Al–2Cr–2Nb в зависимости от температуры

Скорость роста первой из них значительно выше, чем второй. Следует обратить внимание на то, что титановые интерметаллидные сплавы TiAl предназначены для эксплуатации при повышенных температурах, поэтому применение серебряных припоев нецелесообразно из-за повышенных требований к жаростойкости.

Классическим примером интерметаллидных титановых сплавов является сплав Ti–48Al–2Cr–2Nb, основной структурной составляющей которого является упорядоченная γ -фаза (TiAl), по границам которой выделяется незначительное количество α_2 -фазы (Ti₃Al) в виде пластинчатых зерен. Благодаря такой слоистой микроструктуре данный сплав отличается хорошим балансом пластичности и прочности при повышенной температуре (рис. 1), а также стойкости к окислению [10]. При диффузионной пайке такого сплава [11] использовали фольгу из чистой меди толщиной 5 и 50 мкм и заготовки композиционных закладных элементов из сплава TiAl–Cu (при пайке с широким зазором).

В обоих случаях после короткого времени пайки с последующей термообработкой можно получить структуру металла паяного шва, близкую к основному металлу [11]. При использовании традиционных закладных элементов (медных) толщиной 50 мкм время пайки увеличивается, а достаточная прочность на срез не обеспечивается. При пайке с широким зазором (350...500 мкм) с использованием медных фольг толщиной 5 мкм или композиционных прослоек из сплава TiAl–Cu прочность паяных соединений несколько повышается (250 МПа), но не достигает уровня паемого материала.

Анализ упомянутых выше работ позволил сделать вывод, что получение паяных соединений интерметаллидных титановых сплавов требует длительной выдержки при пайке (или термообработке). Однако даже сложные и продолжительные технологические процессы получения неразъемных паяных соединений не обеспечивают их равнопрочность с паемым материалом.

В настоящей работе в исследованиях использовали интерметаллидный сплав Ti–45Al–2Nb–2Mn + 0,8 об. % TiB₂, который в исходном состоянии (состоянии поставки) характеризуется наличием ламельной структуры. По границам основной структурной составляющей упорядоченной γ -фазы (TiAl) выделяется незначительная объемная доля α_2 -фазы (Ti₃Al) в виде светлых пластинчатых формирований (рис. 2). Изредка встречаются игловидные бориды шириной 1 мкм, длиной до 30 мкм, содержание бора в них достигает 75 %, что подтверждают результаты исследований химической неоднородности сплава (табл. 1). Следует отметить, что указанный сплав



получен способом порошковой металлургии и характеризуется наличием пористости, что усложняет процесс пайки.

Для достижения хорошего смачивания паяемого материала и оптимальных свойств паяных соединений в качестве основы припоя обычно выбирают химический элемент, являющийся основным в паяемом материале. Композиция химических элементов припоя должна иметь такой температурный интервал, который подходит к конкретному паяемому материалу, не ухудшает его свойства и образует химические соединения с основным металлом. В качестве припоев применяли титановую фольгу, а также сплавы следующих систем: Ti–30Zr–25Cr (A); Ti–30Hf–25Fe (B); Ti–30Zr–25Fe (C); Ti–30Zr–xMn (D) ($x = 0 \dots 40$ % Mn); Ti–7,31Zr–20,06Cu–11,3Ni (E).

При использовании промышленного припоя Ti–7,31Zr–20,06Cu–11,3Ni (E) при температуре пайки 1250 °C (в течение 60 мин) в паяных швах наблюдается наличие зональной химической неоднородности. По оси паяного шва и в галтельных участках, как правило, кристаллизуется эвтектика, которая является источником зарождения и распространения трещин (рис. 3, а, б) и ухудшает механические свойства паяных соединений. В структуре центральной части образца на фоне светлой сетки эвтектики кристаллизуются зерна ограниченной формы, содержание в них алюминия равно 36,34 %, что соответствует соединению $TiAl_2$. Зерна оторочены светлой фазой, состав которой определить не удалось из-за ее малого размера (рис. 3, в). Таким образом, структура металла паяного шва состоит из трех фазовых составляющих. Эти структурные особенности характерны только для паяных соединений, полученных с помощью промышленного припоя E.

Использование в качестве припоев адгезионно-активных сплавов на основе системы Ti–Zr привлекательно тем, что эта система характеризуется наличием непрерывного ряда твердых растворов во всем интервале концентраций. Можно ожидать, что указанная особенность сплавов данной системы положительно скажется на свойствах паяных соединений титановых сплавов. Кроме того, применение адгезионно-активных элементов

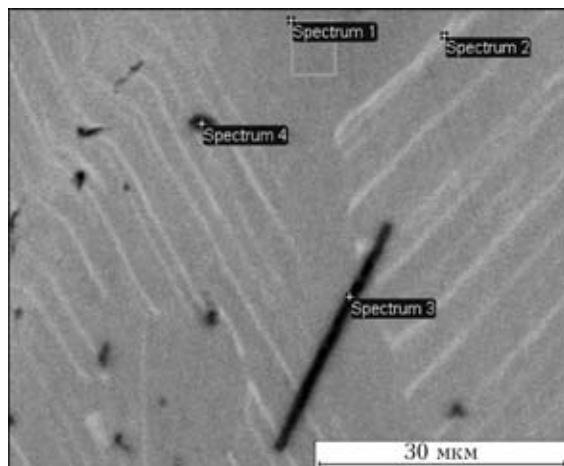


Рис. 2. Микроструктура интерметаллидного сплава Ti–45Al–2Nb–2Mn + 0,8 об. % TiB₂

Таблица 1. Содержание химических элементов в локальных участках сплава Ti–45Al–2Nb–2Mn + 0,8 об. % TiB₂

Исследуемый участок (спектр)	Ti	Al	Mn	Nb	B
1	48,00	48,65	1,51	1,85	0
2	53,25	42,74	1,94	2,07	0
3	18,52	5,54	0,18	0,74	75,02
4	22,18	7,04	0,29	0,82	69,67

способствует улучшению смачивания паяемой подложки. Легирование сплавов системы Ti–Zr другими элементами позволило существенно понизить температуру их плавления благодаря образованию легкоплавких эвтектик. Перспективными в плане создания припоев являются сплавы систем Ti–Zr–Mn и Ti–Zr–Fe. В бинарных системах Ti–Mn, Ti–Fe, Zr–Mn и Zr–Fe между твердыми растворами $\beta(Ti)$ и $\beta(Zr)$ и богатыми титаном и цирконием интерметаллидами образуются относительно легкоплавкие эвтектики (температура плавления 1180, 1085, 1135 и 928 °C) [4, 12–14].

Типичная эвтектическая микроструктура показана на примере литого сплава Ti–30Zr–25Fe (рис. 4, а–в). При охлаждении жидкого сплава сначала кристаллизуются первичные дендриты твер-



Рис. 3. Микроструктура металла паяного соединения, полученного с использованием промышленного припоя Ti–7,31Zr–20,06Cu–11,3Ni: а — трещина; б, в — эвтектика и структура центральной части шва

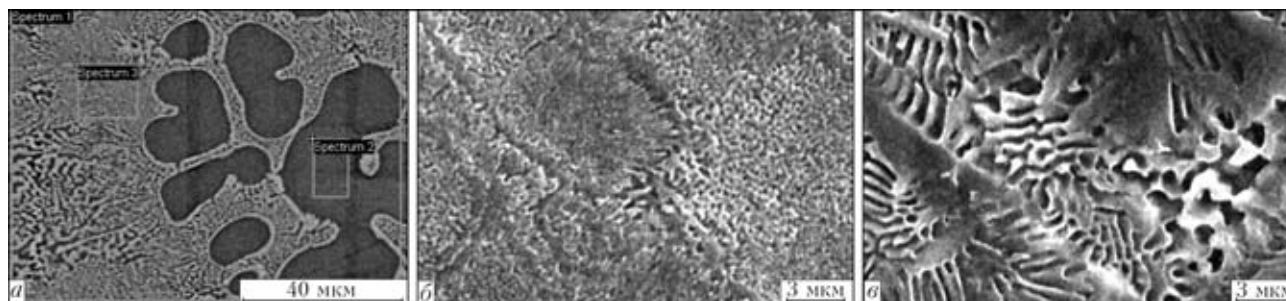


Рис. 4. Микроструктура припоя Ti-30Zr-25Fe в литом виде (см. объяснения в тексте)

Таблица 2. Содержание химических элементов в локальных участках литого сплава Ti-30Zr-25Fe

Исследуемый участок (спектр)	Ti	Zr	Fe
1	63,05	18,34	18,61
2	73,79	15,33	10,88
3	56,56	20,09	23,36

лого раствора на основе титана (спектр 2 в табл. 2, рис. 4, а), затем происходит зарождение, рост и формирование стержневых эвтектических колоний (спектр 3 в табл. 2, рис. 4, б). Среднее содержание циркония в эвтектике составляет 20,09 % (табл. 2). При детальном исследовании морфологических особенностей и химического состава структурных составляющих эвтектики определено, что обе фазы содержат цирконий, причем в светлой фазе его содержание максимальное (24,81 %). Можно предположить, что это циркониевый интерметаллид и он является основной фазой при кристаллизации сплава. Вторая фаза представляет собой твердый раствор, который содержит больше титана (67,93 %) и меньше циркония (16,45 %). Морфологическое строение данной эвтектики характеризуется упорядоченным расположением составляющих фаз в виде стерженьков. Согласно классификации эвтектик по Шайлю [15], такой вид эвтектик относится к нормальным эвтектикам с ячеистой субструктурой (рис. 4, б). В зависимости от скорости охлаждения встречаются и их другие морфологические формы, например, скелетного типа (рис. 4, в), в которых составляющие колонию зерна эвтектических фаз растут в виде тонкоразветвленных дендритов. Такие структурные особенности сплава Ti-30Zr-25Fe не сказываются на свойствах паяных соединений.

Эвтектические сплавы на основе системы Ti-Zr хорошо смачивают титановый интерметаллидный сплав. В паяных соединениях образуются прямые и обратные галтели. Металлографические исследования и изучение химической неоднородности нахлесточных паяных соединений показали, что между основным металлом и жидким при-

поем активно протекают диффузионные процессы. Во время пайки алюминий диффундирует из основного металла в металл паяного шва. Даже при использовании в качестве припоя титановой фольги (температура $T_{\text{п}} = 1250^\circ\text{C}$ и время $\tau_{\text{п}} = 90$ мин пайки) толщиной 0,01 мм формируется паяный шов, в котором содержание алюминия соответствует его содержанию в паемом материале. На границе с основным металлом кристаллизуется фаза (рис. 5, а) на основе титана в виде дискретных формирований, содержащая 11,28 Al. В соответствии с диаграммой состояния Ti-Al такой состав характерен для α -фазы (твердого раствора алюминия в титане).

При вакуумной пайке нахлесточных соединений алюминид титана припоем Ti-30Zr-25Fe формируются плотные паяные швы с прямой и обратной галтелью, основной металл сохраняет ламельную структуру (рис. 5, б-е). Галтельные участки и широкие паяные швы представлены двумя фазами (рис. 5, е-з). В результате диффузионных процессов, протекающих на межфазной границе основной металл-расплав припоя, в галтельном участке вдоль границы раздела кристаллизуется темная фаза в виде сплошной полосы, а также отдельных зерен в объеме расплавленного припоя, содержащая 43 % Al (припой С). В светлой матрице содержание алюминия меньше (31 %) (рис. 5, е). Процесс кристаллизации паяных швов имеет свои особенности, обусловленные наличием малых зазоров, неравновесных условий кристаллизации, подложки из паемого материала, а также градиента концентраций составляющих химических элементов припоя и основного металла. Во время пайки наблюдается насыщение жидкого металла паяного шва элементами основного материала, в частности, алюминием. Со временем происходит пресыщение металла шва алюминием, и тогда начинают зарождаться и расти первичные кристаллы γ -фазы TiAl в виде темных зерен как на подложке паемого материала, так и в объеме расплава в центральной части паяного шва (рис. 5, ж, з). Фаза α_2 -Ti₃Al кристаллизуется позже, она заполняет пространство между кристаллами TiAl и содержит 32 % Al (рис. 5, б-з). Ширина шва является величиной пе-

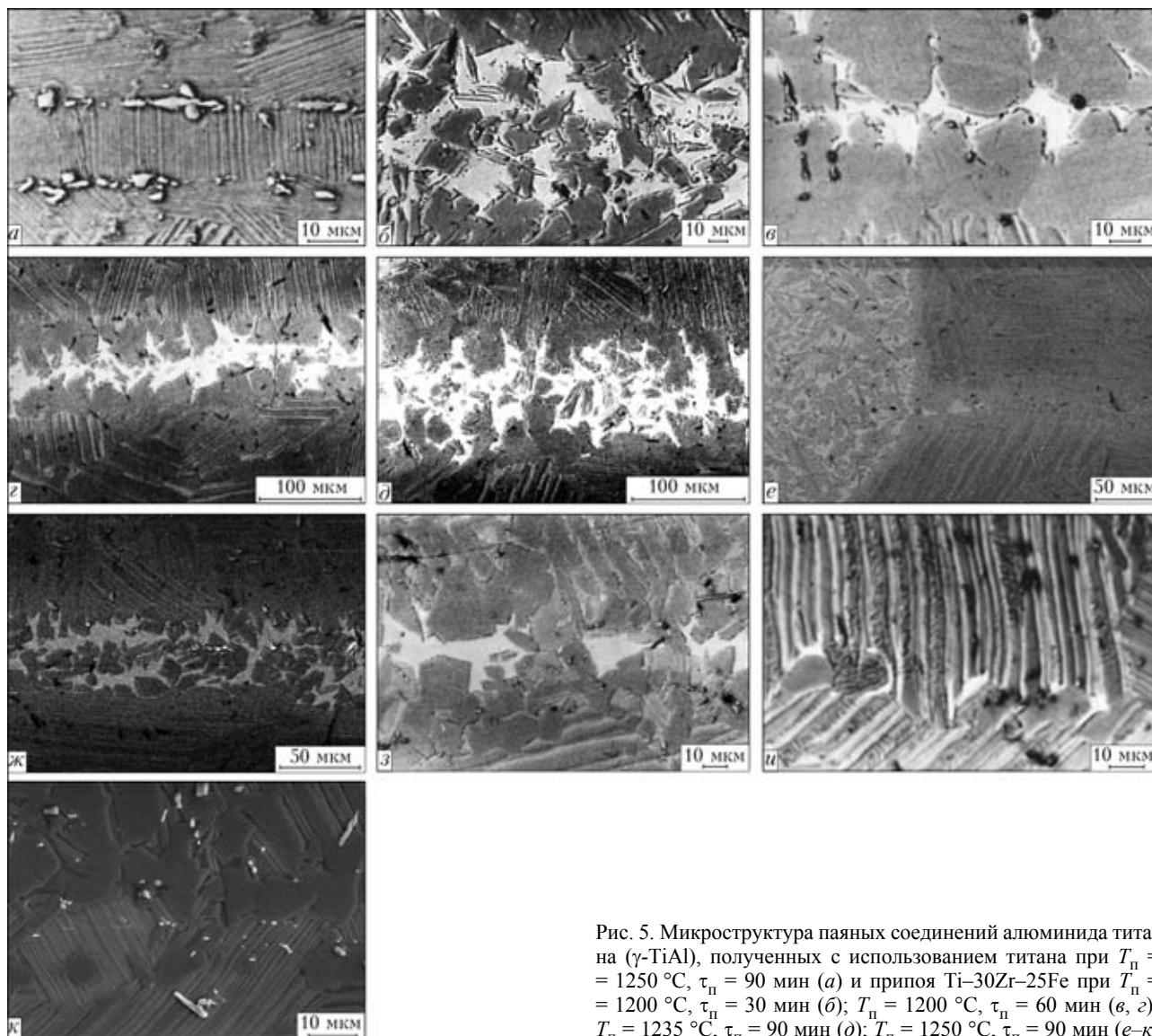


Рис. 5. Микроструктура паяных соединений алюминидов титана (γ -TiAl), полученных с использованием титана при $T_{\text{п}} = 1250^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{п}} = 90$ мин (а) и припоя Ti-30Zr-25Fe при $T_{\text{п}} = 1200^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{п}} = 30$ мин (б); $T_{\text{п}} = 1200^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{п}} = 60$ мин (в, г); $T_{\text{п}} = 1235^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{п}} = 90$ мин (д); $T_{\text{п}} = 1250^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{п}} = 90$ мин (е-к)

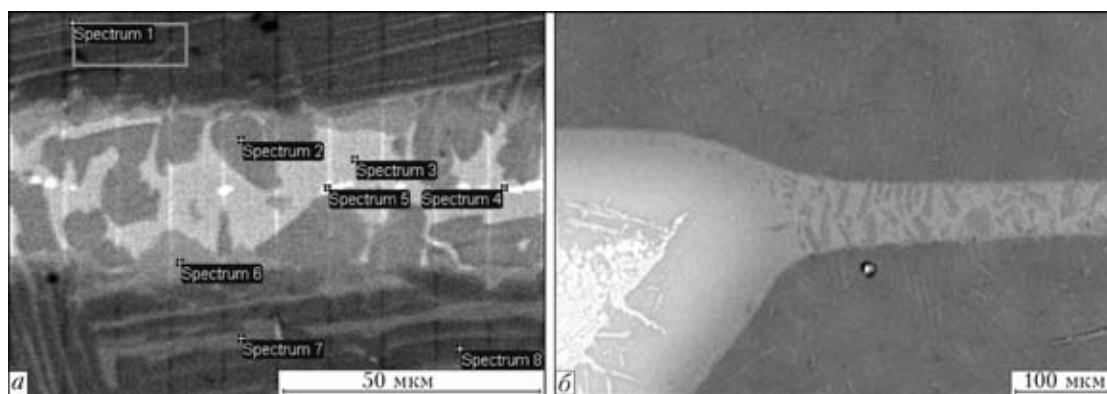


Рис. 6. Микроструктура металла паяного соединения (а) и галтельного участка (б), полученные с использованием припоя системы Ti-Zr-Cr

ременной и зависит от многих параметров: от ширины паяльного зазора, массы припоя, температуры пайки, времени выдержки и скорости растворения паяемого материала. Есть участки с шириной шва 50 и 20 мкм (рис. 5, ж, з). Наблюдаются участки соединения, где шов как таковой отсутствует, а имеются сросшиеся зерна основ-

ного металла, в которых содержание алюминия увеличивается до 46 %, что идентично основному металлу. Металл паяного шва характеризуется в основном пластинчатой (ламельной) структурой, близкой к структуре основного металла (рис. 5, и, к). Химический состав металла паяного шва обусловлен процессами, происходящими на меж-

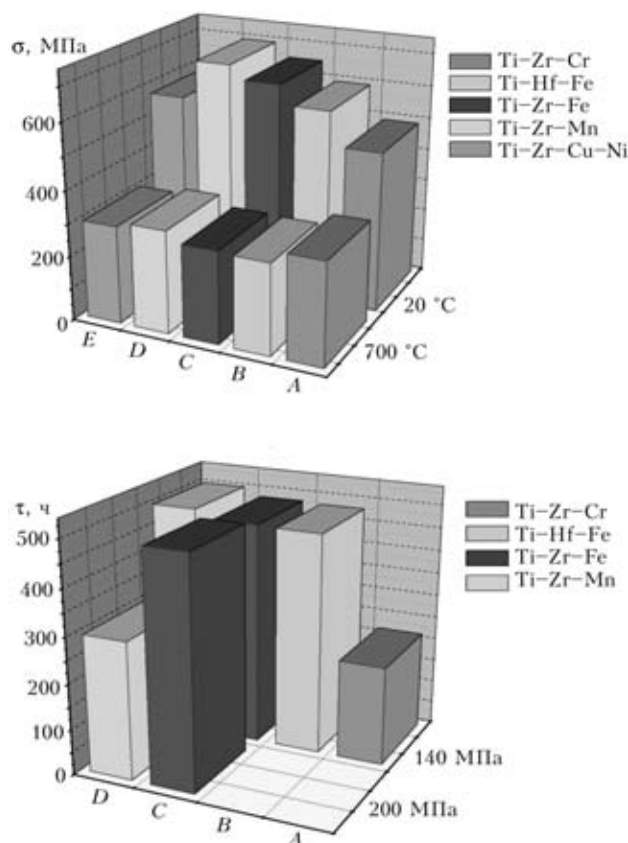


Рис. 7. Механические свойства паяных соединений: *a* — кратковременная прочность на разрыв σ при $T = 20$ и 700 °C; *б* — длительная прочность при $T = 700$ °C и нагрузке 140 и 200 МПа

фазной границе твердый материал–расплав припоя, и существенно отличается от состава припоя в исходном состоянии.

Даже при $\tau_n = 5$ мин и $T_n = 1180$ °C припоем системы Ti–Zr–Cr в металле швов имеют место диффузионные процессы, что подтверждают результаты исследования химической неоднородности (табл. 3). Содержание алюминия в основном металле (в зоне прилегающей ко шву) и в темных зернах металла шва (фаза TiAl) примерно оди-

Таблица 3. Содержание химических элементов в металле паяного соединения

Исследуемый участок (спектр)	Al	Ti	Cr	Mn	Zr	Nb
1	42,14	55,21	—	0,71	—	1,94
2	43,55	49,14	1,43	0,54	3,60	1,75
3	32,20	56,83	4,45	1,70	2,83	2,00
4	32,64	52,07	2,51	0,63	10,97	1,17
5	33,40	51,68	2,50	0,55	10,82	1,05
6	37,55	55,71	1,69	0,80	2,21	2,04
7	37,96	58,72	—	1,12	—	2,19
8	43,88	53,09	—	0,94	—	2,09

наково (42,14...43,55 %). Как следует из изложенного выше, зерна фазы TiAl (спектры № 2, 6, табл. 3, рис. 6, *a*), расположенной в металле шва, имеют максимальное содержание алюминия. Они образуются как на подложке паяемого металла (рис. 6), так и в центральной части шва, в их составе выявлено незначительное содержание элементов паяемого материала. Такие особенности формирования швов характерны для паяных соединений, полученных с помощью рассматриваемых экспериментальных сплавов на основе системы Ti–Zr. Отличительной особенностью паяного шва при использовании сплава системы Ti–Zr–Cr является наличие в его центральной части дисперсных выделений фазы в виде достаточно мелких единичных точек или пластин, обогащенных цирконием (спектры № 4, 5, табл. 3, рис. 6, *a*).

В галтельном участке, расположенном вдоль границы с основным металлом, кристаллизуется фаза, содержащая 32...37 % Al, центральная часть данного участка представлена эвтектикой с меньшим содержанием алюминия и большим циркония.

Следует отметить, что при использовании припоев системы Ti–Zr содержание циркония в металле паяного шва уменьшается с увеличением времени выдержки при температуре пайки, что обусловлено взаимной растворимостью в системе Ti–Zr [3]. В галтельных участках присутствует больше жидкого припоя, чем в швах, протяженность линии контакта между припоем и паяемым материалом меньше, диффузионные процессы протекают менее эффективно. Таким образом, в галтельных участках содержание циркония больше, чем в металле паяных швов. Фаза TiAl кристаллизуется в виде узкой сплошной полосы (шириной около 25 мкм), расположенной вдоль паяемого металла.

Анализ полученных результатов показывает, что при пайке интерметаллидного сплава γ -TiAl припоями на основе системы Ti–Zr металл паяного шва существенно обогащается алюминием, т. е. его содержание такое же, как в фазах TiAl и Ti₃Al. Применение припоев систем Ti–Zr–Fe (C) и Ti–Zr–Mn (D) обеспечивает формирование качественных бездефектных швов, в которых отсутствует эвтектическая составляющая. Результаты механических испытаний при комнатной температуре показали, что максимальной кратковременной прочностью (рис. 7, *a*) характеризуются образцы, полученные с помощью припоев D и C. При повышении температуры испытаний до 700 °C прочность паяных соединений практически одинакова. Установлено, что при испытаниях на длительную прочность при температуре 700 °C и нагрузке 140 МПа прочность паяных соединений, полученных с помощью припоя Ti–Zr–Cr (A) минимальна (рис. 7, *a*), образцы разрушались по паяному шву. Образцы, полученные с исполь-



зованием припоев *D* и *C*, не разрушались не только при заданной (140 МПа), но и при повышенной (200 МПа) нагрузке (рис. 7, б).

Выводы

1. При пайке алюминидов титана Ti-45Al-2Nb-2Mn + 0,8 об. % TiB₂ припоем на основе системы Ti-Cu-Zr-Ni в металле паяных швов наблюдается зональная химическая неоднородность с кристаллизацией трех фазовых составляющих: эвтектики и двух фаз на основе титана, отличающихся содержанием алюминия.

2. Применение адгезионно-активных припоев на основе системы Ti-Zr позволило избежать формирования эвтектической составляющей и получить паяные швы с двухфазной структурой TiAl и Ti₃Al, характерной для основного металла.

3. Максимальные значения кратковременной и длительной прочности паяных соединений обеспечили припои на основе систем Ti-Zr-Fe и Ti-Zr-Mn.

1. Каблов Е. Н. ВИАМ — сердце авиационной материаловедческой науки // Вест. воздуш. флота. — 2003. — № 4. — С. 6.
2. Бочвар Г. А., Саленков В. С. Исследование сплава на основе алюминидов титана с орторомбической структурой // Технология легких сплавов. — 2004. — № 4. — С. 44–46.
3. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1981. — 416 с.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справ. — В 3 т.: — Т. 3, кн. 1 / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1999. — 880 с.

5. Binary alloy phase diagrams / Ed. T. B. Massalski. — Ohio: ASM International, Materials Park, 1990. — CD.
6. Механические свойства литых сплавов γ-TiAl / О. А. Банных, К. Б. Поваров, Г. С. Браславская и др. // Металловедение и терм. обработка мет. — 1996. — № 4. — С. 11–14.
7. Uenishi Keisuke, Sumi Hiroyuki, Kobayashi Kojiro F. Joining of intermetallic compound TiAl by using Al filler metal // Z. Metallik. — 1995. — 86, № 4. — P. 270–274.
8. Diffusion brazing of TiAl alloy / Q. Xu, M. C. Chaturvedi, N. L. Richards, N. Goel // Intern. brazing & soldering conf. proc., Apr. 2–5, 2000, Albuquerque, New Mexico. — Ohio: ASM International, Materials Park, 2000. — P. 57–64.
9. Chen S. Y., Wu S. K., Shiue R. K. Infrared brazing of TiAl intermetallic using Bg-8 braze alloy // Acta Mater. — 2003. — 51, № 77. — P. 1991–2004.
10. Helmut C. Intermetallic γ-TiAl based alloy sheet materials. Processing and mechanical properties // Zeitschrift fuer Metallkunde. — 1995. — 86, № 12. — S. 814–822.
11. Diffusion brazing of titanium aluminide — wettability, microstructural development and mechanical properties / W. F. Gale, X. Wen, Y. Shen et al. // Intern. brazing & soldering conf. proc., Apr. 2–5, 2000, Albuquerque, New Mexico. — Ohio: ASM International, Metals Park, 2000. — P. 42–49.
12. Хорунов В. Ф., Максимов С. В., Иванченко В. Г. Получение паяных соединений гамма алюминидов титана и исследование их свойств // Адгезия расплавов и пайка материалов. — 2004. — № 37. — С. 88–95.
13. Khorunov V. F., Maksymova S. V. Structure and properties of intermetallic alloy brazed joints // Proc. of national welding conf., China, Hefei, Oct., 2007. — P. 348–352.
14. Khorunov V. F., Maksymova S. V. Intermetallic alloy gamma-TiAl brazing // Proc. of the 3rd Intern. brazing and soldering conf., USA, San Antonio, Texas, 2006. — Ohio: ASM International, Materials Park, 2000. — P. 288–292.
15. Таран Ю. Н., Мазур В. И. Структура эвтектических сплавов. — М.: Металлургия, 1978. — 312 с.

Studied were the features of formation of brazed joints of titanium aluminide produced at radiation heating in vacuum using braze alloys based on Ti-Zr system, alloyed with other elements. It is noted that application of an alloy based on Ti-Zr system containing copper and nickel, as braze alloy, does not allow producing a uniform structure of braze welds. Alloying of this system with iron, manganese and other elements gives the braze joints the structure and properties close to those of the brazed material.

Поступила в редакцию 21.10.2008



ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ

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

С использованием установки для испытаний по методу «Implant», оснащенной системой автоматического нагрева и контроля температуры, проведено изучение трещиностойкости сварных образцов из сталей с мартенситным и мартенситно-бейнитным превращением в изотермических условиях при различных температурах нагрева. Показано, что опасность появления холодных трещин в соединениях мартенситных сталей возникает при охлаждении после сварки, начиная с температур 140...120 °С. Сварные соединения стали с бейнитно-мартенситной структурой становятся склонными к трещинообразованию при температуре ниже 80 °С.

Ключевые слова: дуговая сварка, теплоустойчивые стали, сварные соединения, холодные трещины, замедленное разрушение, влияние температуры, структура, мартенсит, бейнит

В сварных соединениях современных комплекснолегированных теплоустойчивых сталей с относительно низким содержанием углерода (~ 0,08...0,12 %) холодные трещины зарождаются и развиваются в течение определенного периода, т. е. их образование имеет замедленный характер. В многочисленных исследованиях установлено, что замедленное разрушение является следствием ослабления прочности межатомных связей закаленного металла под влиянием водорода и наличия достаточных для разрушения напряжений (структурных, формирующихся в результате закалки, и сварочных, развивающихся при остывании соединения) [1–9]. Начальной стадией замедленного разрушения является локальная микропластическая деформация под влиянием напряжений, возникающая в более податливых для движения дислокаций зонах (обычно у границ зерен). Захват дислокациями диффузионного водорода в виде протонов и транспортировка его дислокациями в зону их скопления у препятствий, которыми, в частности, являются большеугловые границы, ведет к созданию локального критического состояния (предельной концентрации водорода и плотности дислокаций), при котором возникают зародыши будущей трещины. В результате инициируемые водородом трещины развиваются вдоль границ зерен и в некоторых случаях вдоль субграниц в теле зерна.

Несмотря на большое количество работ, посвященных проблеме холодных трещин и подтверждающих рассмотренные закономерности замедленного разрушения, отдельные положения механизма этого явления требуют уточнения. В час-

тности, недостаточно изучены особенности влияния температуры на склонность к образованию холодных трещин. В литературных источниках проявляют склонность к замедленному разрушению, определена недостаточно точно. Так, согласно различным данным, трещины могут образовываться при температурах 300 °С и ниже [10], 200 °С и ниже [11, 12], ниже 130 °С [11], ниже 120...150 °С [12], при 100 °С и ниже [13, 14], при 50...70 °С [14] и при комнатной температуре [11–15]. В то же время уточнение температуры, ниже которой возникает опасность появления трещин, имеет важное практическое значение. В некоторых случаях при использовании трудносвариваемых сталей целесообразно приступать к нагреву для выполнения отпуска сварных соединений, не дожидаясь их остывания ниже опасной температурной границы (например, ниже 100 °С для соединений мартенситной стали типа 20X12МФ).

Целью настоящей работы являлось исследование термокинетических особенностей образования холодных трещин с оценкой граничной температуры (в интервале ниже температуры фазового превращения), при которой сварные соединения закаливающихся сталей при их охлаждении проявляют склонность к замедленному разрушению.

В исследованиях трещиностойкости применен известный метод «Implant» [16, 17]. Для цилиндрических образцов-вставок, привариваемых к пластине и моделирующих опытные соединения, использованы стали, закаливающиеся с образованием мартенситной (P91 (типа 10X9МФБ), 25X2НМФА, 38ХНЗМФА) и бейнитно-мартенситной структуры (10ГН2МФА). Для получения соединений сталей 10X9МФБ, 25X2НМФА применяли электроды FOX C9MV, стали 38ХНЗМФА — опытные электроды, обеспечивающие аналогичное легирование наплавленного металла,

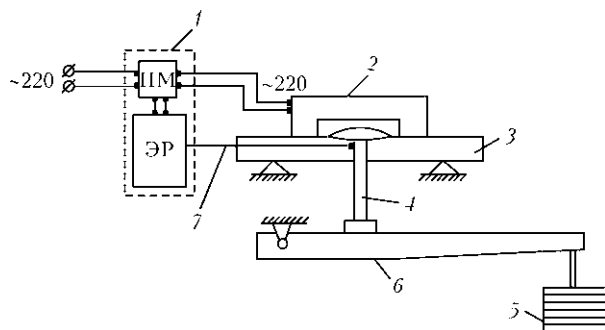


Рис. 1. Принципиальная схема испытания «Implant» с нагревом сварного соединения: 1 — блок управления нагревом (ЭР — электронный регулятор температуры, ПМ — пускатель магнитный); 2 — нагреватель; 3 — пластина; 4 — образец (Implant); 5 — блок грузов; 6 — рычаг; 7 — термопара

10ГН2МФА — электроды ТМЛ-3У. В процессе испытаний разрушение происходило в закаленном металле ЗТВ, для инициирования разрушения образцы на поверхности имели концентратор напряжений V-образного профиля, выполненный в виде спирали. Испытания проводили при поддержании постоянной температуры в зоне сварного соединения, для чего использовали устанавливаемый на пластину 3 с опытным соединением нагреватель сопротивления 2 (рис. 1), подсоединенный к электронному регулятору 1 автоматического слежения за температурой и включением нагрева. Для измерения температуры использовали термопару 7 типа ХА, пропускаемую через просверленное в пластине отверстие и привариваемую (конденсаторной разрядной машиной) к образцу 4 в области ЗТВ. Автоматический подогрев включался при остывании образца после сварки до температуры, установленной в блоке управления 1. Испытания выполняли при температурах в интервале от окружающей ($\sim 20^\circ\text{C}$) и до температуры, при которой отсутствовала склонность к образованию трещин. Для нагружения сварного соединения использовали блок сменных грузов 5, подсоединяемых к рычагу 6 установки.

Экспериментальные результаты представлены на рис. 2–4. Из полученных результатов следует, что у сварных соединений низкоуглеродистых мартенситных сталей типа 10Х9МФБ склонность к замедленному разрушению начинает проявляться при температуре около 140°C и ниже (рис. 2). Уровень верхней температурной границы появления склонности к трещинообразованию снижается с уменьшением внешних нагружающих макронапряжений в сварном соединении и колеблется в пределах $140...120^\circ\text{C}$. Эту температурную область можно считать переходной от области отсутствия склонности к холодным трещинам (при $T > 140^\circ\text{C}$) к области потенциальной склонности к трещинообразованию (при $T < 120^\circ\text{C}$). При температурах около $100...80^\circ\text{C}$ сварные соединения имеют минимальную стойкость против образова-

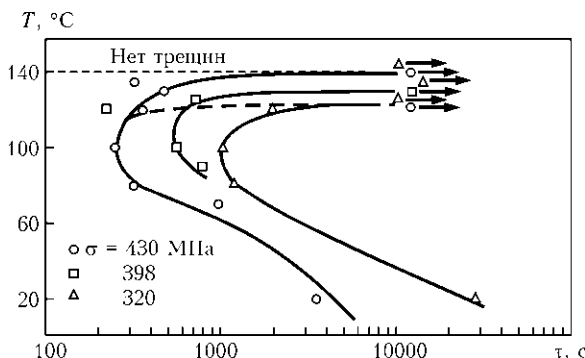


Рис. 2. Влияние температуры и напряжений на время развития замедленного разрушения сварных соединений мартенситной стали 10Х9МФБ (типа Р91)

ния трещин, чему соответствует минимальная длительность развития разрушения. При более низких температурах длительность процесса замедленного разрушения возрастает.

Во всех случаях проявляется чувствительность закаленного металла к нагружающим макронапряжениям — их увеличение ведет к возрастанию степени общего напряженно-деформированного состояния (суммарному действию микро- и макронапряжений) и более быстрому разрушению.

Аналогично изменялась трещиностойкость сварных соединений сталей 25Х2НМФА и 38ХНЗМФА (рис. 3, 4). К общим особенностям развития замедленного разрушения, за исключением некоторых различий, можно отнести: отсутствие склонности к образованию трещин при температурах выше $130...140^\circ\text{C}$; трещинообразование в зависимости от уровня действующих напряжений развивается при температурах ниже 140°C ; состояние с минимумом трещиностойкости возникает при температурах от 100 до 80°C ; при комнатных температурах длительность разрушения возрастает.

Эксперименты показали, что сварные соединения стали 38ХНЗМФА имеют высокую чувствительность к приложенным напряжениям —

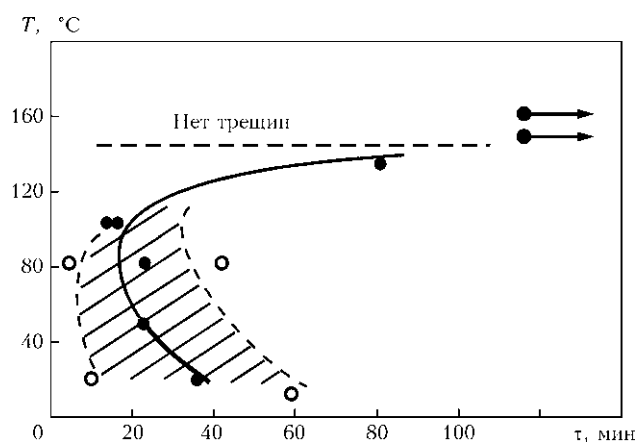


Рис. 3. Влияние температуры на время замедленного разрушения сварных соединений мартенситной стали 25Х2НМФА ($\sigma = 400 \text{ МПа}$)



разрушение проходило гораздо быстрее и при меньших нагружающих напряжениях, чем соединений стали с 9 % Сг. В данном случае в большей степени сказываются микронапряжения, возникшие при фазовом наклепе в легированной стали 38ХНЗМФА с повышенным содержанием углерода, в результате чего для инициирования трещинообразования достаточно было приложения меньших напряжений.

Фазовый наклеп, как известно, является следствием развития внутри объема металла разнонаправленных микросдвиговых деформаций в результате неравновесного (мартенситного) превращения переохлажденного аустенита. В зависимости от температуры превращения M_s на стадии дальнейшего охлаждения в той или иной степени может успеть произойти частичный отпуск (иногда называемый самоотпуском) мартенсита, что несколько повышает его пластичность. С увеличением степени легирования металла, особенно содержания углерода, повышается стабильность аустенита в условиях переохлаждения, что ведет к снижению температуры M_s . В результате возрастает степень упрочнения закаленного мартенсита (мерой которого может служить твердость) и ухудшается свариваемость. У низкоуглеродистых

материалов с малым содержанием легирующих элементов превращение слабоупрочненного аустенита происходит при относительно высокой температуре, при которой, кроме мартенситного, возможно частичное развитие равновесного $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения. При охлаждении такого металла самоотпуск закаленных микроучастков может достичь большей степени. В подобных условиях, характерных для образования мартенситно-бейнитной структуры, металл приобретает меньшую степень упрочнения, чем в случае образования чисто мартенситной структуры при более низкой температуре. Отмеченные закономерности проявляются в свойствах исследуемых сталей, для которых характерны следующие температуры начала мартенситного превращения и значения твердости в состоянии закалки: 10ГН2МФА — $M_s = 430^\circ\text{C}/HV\ 380$; 25ХНЗМФА — $375^\circ\text{C}/HV\ 450$; 10Х9МФБ (Р91) — $380^\circ\text{C}/HV\ 450$; 38ХНЗМФА — $300^\circ\text{C}/HV\ 600$.

Кроме того, роль структурного фактора в проявлении закаленным металлом различной склонности к образованию трещин, имеет следующие особенности. Известно, что наклеп при деформации сопровождается увеличением количества дислокаций в металле. Плотность дислокаций, равная $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$, является предельной — превышение ее как результат дополнительной деформации ведет к разрушению поликристаллических материалов [18]. Фазовый наклеп при мартенситном превращении сопровождается формированием плотности дислокаций такого же порядка ($10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$) [19, 20]. Следовательно, мартенситное превращение приближает металл к состоянию предразрушения. Поскольку дислокации распределяются неравномерно (существуют области с высокой и низкой плотностью дислокаций), металл в зависимости от исходной степени упрочнения при закалке может характеризоваться определенным запасом пластичности и иметь податливость для развития локальной деформации перед инициированием разрушения. Поэтому в низкоуглеродистом мартенситном металле требуется еще некоторая пластическая деформация для достижения предельной плотности дислокаций в какой-либо микрообласти для возникновения трещины. В присутствии водорода разрушение зарождается при плотности дислокаций меньшей предельной, характерной для сильнодеформированного металла. Такое состояние в наших опытах достигалось с помощью внешней нагрузки. Мартенсит в металле с высоким содержанием углерода, вследствие большей тетрагональности кристаллической решетки и большей степени упрочнения, приобретает большую жесткость при плотности дислокаций, еще более близкой к критической. Видимо поэтому в сильнозакаленном металле с повышенной жесткостью

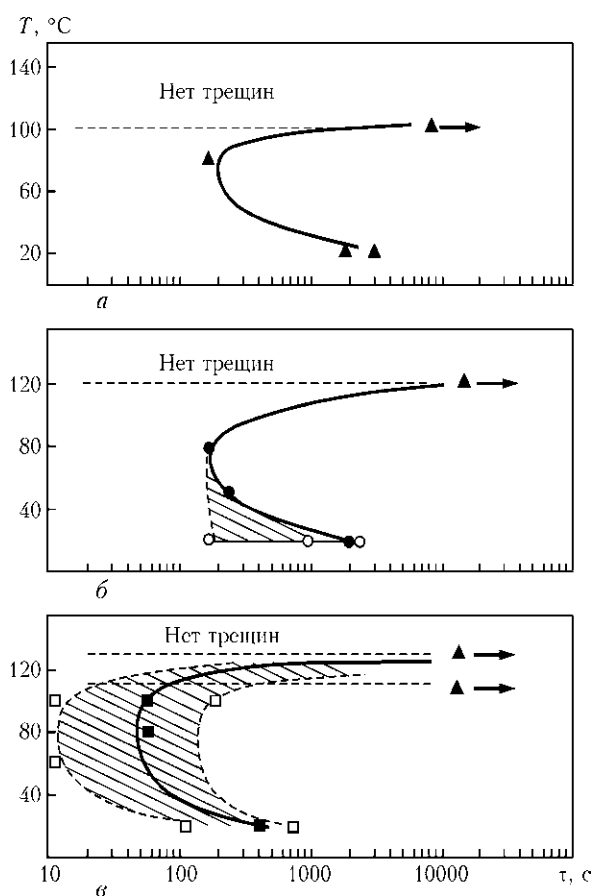


Рис. 4. Влияние температуры и нагружающих напряжений на изменение длительности замедленного разрушения сварных соединений мартенситной стали 38ХНЗМФА: а — $\sigma = 170 \text{ МПа}$; б — 218; в — 290

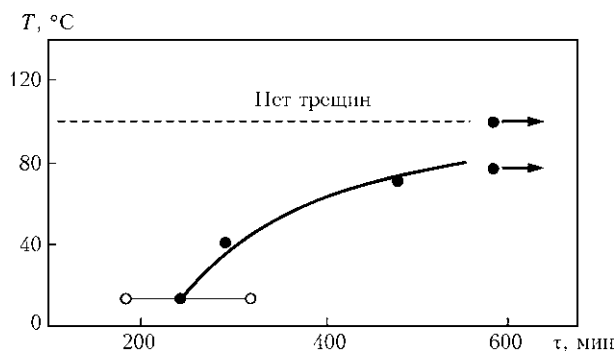


Рис. 5. Влияние температуры на длительность замедленного разрушения сварных соединений стали 10ГН2МФА ($\sigma = 320$ МПа)

матрицы микродеформация под влиянием напряжений носит более сосредоточенный характер, чем в менее упрочненном низкоуглеродистом мартенситном металле, и для образования трещин достаточно меньших приложенных напряжений и начальной деформации.

Вследствие меньшей степени упрочнения металл сварных соединений с бейнитно-мартенситной или бейнитной структурой имеет большую сопротивляемость развитию замедленного разрушения. Как видно из рис. 5, соединения стали 10ГН2МФА становятся склонными к образованию трещин при температуре ниже 80 °С. Однако отрицательным фактором, в определенной степени ухудшающим трещиностойкость металла с бейнитным превращением, может быть структурная неоднородность, связанная с образованием подобных мартенситу жестких микроструктур и менее прочных ферритных микроучастков. Возможность легкого развития сконцентрированной деформации в более мягких составляющих микроструктуры облегчает зарождение и развитие трещин [9]. В целом, судя по экспериментальным наблюдениям, сварные соединения с бейнитно-мартенситной или бейнитной структурой отличаются лучшей свариваемостью, чем со структурой мартенсита.

С учетом существующих представлений о микромеханизме развития замедленного разрушения можно полагать, что выявленная зависимость склонности к трещинообразованию от температуры связана с состоянием структуры, которое определяет характер развития начальной микропластической деформации под действием напряжений и быстроту достижения в определенных микроучастках критических концентраций дислокаций и водорода, достаточных для инициирования разрушения.

Таким образом, с помощью испытаний «Implant» образцов из стали 10Х9МФБ, выполненных при различных температурах, установлено, что склонность к образованию холодных трещин у сварных соединений мартенситных сталей на стадии охлаждения после фазового превращения

начинает проявляться при температуре 140 °С и ниже. Уровень верхней температурной границы зависит от общего напряженно-деформированного состояния металла сварного соединения и колеблется в пределах примерно от 140 до 120 °С. Ниже 120 °С сварные соединения становятся потенциально склонными к образованию трещин. При температурах в интервале 100...80 °С сварные соединения мартенситных сталей имеют минимальную стойкость против образования холодных трещин, что проявляется в минимальной длительности развития замедленного разрушения. С понижением температуры длительность разрушения увеличивается.

Аналогичная зависимость трещиностойкости от температуры сохраняется у сварных соединений трудносвариваемых мартенситных сталей с повышенным содержанием углерода, что показано на примере стали 38ХН3МФА. Однако возрастание степени упрочнения мартенсита при закалке в результате увеличения легирования стали углеродом (а также другими легирующими элементами) ведет к повышению чувствительности сварных соединений таких сталей к макронапряжениям, особенно при наличии концентраторов напряжений, и значительному снижению стойкости против образования холодных трещин.

На основании испытания образцов из стали 10ГН2МФА показано, что сварные соединения с бейнитно-мартенситной структурой с меньшей степенью упрочнения при сварке характеризуются более высокой трещиностойкостью, чем соединения мартенситных сталей. Склонность к замедленному разрушению сварных соединений стали с бейнитно-мартенситной структурой проявляется при температуре 80 °С и ниже.

1. Касаткин Б. С., Мусияченко В. Ф. Механизм образования интеркристаллитных холодных трещин в околошовной зоне сварного соединения закаляющихся сталей // Пробл. прочности. — 1974. — № 10. — С. 3–9.
2. Касаткин Б. С., Бреднев В. И. Особенности процесса образования холодных трещин в сварных соединениях низколегированных высокопрочных сталей // Автомат. сварка. — 1985. — № 8. — С. 1–6, 18.
3. Касаткин О. Г. Особенности водородного охрупчивания высокопрочных сталей при сварке // Там же. — 1994. — № 1. — С. 3–7.
4. Влияние водорода на склонность к образованию трещин в ЗТВ с концентратором напряжений / Б. С. Касаткин, О. Д. Смиян, В. Е. Михайлов и др. // Там же. — 1986. — № 11. — С. 20–23.
5. Водородная хрупкость и образование холодных трещин при сварке стали 25Х2НМФА / Б. С. Касаткин, Г. Н. Стрижиус, В. И. Бреднев, А. К. Царюк // Там же. — 1993. — № 8. — С. 3–10.
6. Kikuta Y., Araki T. Microscopic redistribution behaviors of hydrogen and fracture morphology of HAZ cold cracking in high strength steel. — [1980]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-927–80).
7. Бреднев В. И., Касаткин Б. С. Удельная работа образования очагов холодных трещин при сварке низколегированных высокопрочных сталей // Автомат. сварка. — 1988. — № 11. — С. 3–8, 11.



8. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами* / И. К. Походня, И. Р. Явдошин, А. П. Пальцевич и др. — Киев: Наук. думка, 2004. — 445 с.
9. *Hydrogen embrittlement and heat-affected zone cracking in low-carbon alloy steels with acicular microstructures* / T. Boniszewski, F. Watkinson, R. G. Baker, H. F. Tremlett // *British Welding J.* — 1965. — **12**, № 1. — P. 20–42.
10. *Касаткин Б. С., Мусяченко В. Ф.* Низколегированные стали высокой прочности для сварных конструкций. — Киев: Техніка, 1970. — 188 с.
11. *Макара А. М., Мосендз Н. А.* Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техніка, 1971. — 140 с.
12. *Suzuki H.* Cold cracking and its prevention in steel welding. — [1978], — 10 p. — (*Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-1074–78*).
13. *Terasaki T., Hall G. T., Parteger R. I.* Cooling time and prediction equation for estimating hydrogen diffusion in CTS test welds // *Trans. Jap. Weld. Soc.* — 1991. — **22**, № 1. — P. 53–56.
14. *Cottrell A. H.* A note on the initiation of hardened zone cracks // *Welding J.* — 1944. — **23**, № 11. — P. 584–586.
15. *Підгаєцький В. В.* Пори, включення і тріщини в зварних швах. — К.: Техніка, 1970. — 418 с.
16. *Granjon H.* The «Implant» method for studying the weldability of high strength steels // *Metal Constr. and British Weld. J.* — 1969. — **1**, № 11. — P. 509–515.
17. *Касаткин Б. С., Бреднев В. И., Волков В. В.* Методика определения деформаций при замедленном разрушении // *Автомат. сварка.* — 1981. — № 11. — С. 1–7, 11.
18. *Белоус М. В., Браун М. П.* Физика металлов. — Киев: Вища шк., 1986. — 343 с.
19. *Krauss G., Marder A. R.* The morphology of martensite in iron alloys // *Metallurgical Trans.* — 1971. — **2**, № 9. — P. 2343–2357.
20. *Kehoe M., Kelly P. M.* The role of carbon in the strength of ferrous martensite // *Scripta Metallurgica.* — 1970. — **4**, № 6. — P. 473–476.

Crack resistance of welded samples of steels with martensite and martensite-bainite transformations under isothermal conditions at different heating temperatures was studied by using the Implant-test machine equipped with the automatic heating and temperature monitoring system. It is shown that the risk of cold cracking of welded joints on martensitic steels is run in cooling after welding, starting from temperatures of 140...120 °C. The welded joints on steel with the bainitic-martensitic structure become sensitive to cracking in a temperature range below 80 °C.

Поступила в редакцию 03.12.2008

ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ» (Славполиком)

1–5 июня 2009 г.

г. Ялта Крым, Украина

Организаторы: УИЦ «Наука. Техника. Технология» при содействии Минпромполитики, Национального космического агентства Украины, Российского космического агентства, АНТК «Антонов», ГKB «Южное», ЗМКБ «Прогресс» и участии ФГУП «ОНПП «Технология», ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина, НПП «Полет», ОАО «Композит», ГК НПЦ им. М. В. Хруничева и др.

Работа конференции включает обзорные выступления ученых и специалистов организаций, презентации ведущих фирм.

УИЦ «Наука. Техника. Технология»:

тел./факс: +38(044) 573 30 40,

E-mail: office@conference.kiev.ua



ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИДОВ ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСЛОЙНЫХ АЛЮМИНИЕВО-ТИТАНОВЫХ ФОЛЫГ

В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, В. И. ШВЕЦ, кандидаты техн. наук,

А. Г. САХАЦКИЙ, А. А. НАКОНЕЧНЫЙ, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности и перспективы применения контактной сварки алюминидов титана. Показано, что использование нанослойных фольг системы Ti–Al в качестве закладных элементов позволяет обеспечить однородность нагрева изделия, улучшить формирование и свойства соединений.

Ключевые слова: контактная сварка сопротивлением, алюминид титана, наноструктурная фольга, микроструктура, высококонцентрированный нагрев, зона термического влияния, околошовная зона

Интерметаллидные сплавы способны сочетать в себе уникальные свойства металлических материалов и химических соединений, что в последнее время используется в работах по разработке новых конструкционных материалов, обеспечивающих работоспособность изделий в экстремальных условиях. Наибольшее количество работ посвящено созданию интерметаллидных сплавов на основе алюминидов титана, которые в температурном интервале 650...850 °С превосходят применяемые жаропрочные материалы на основе титана, железа, никеля по удельной жаропрочности, удельному модулю упругости, характеризуются высокой жаростойкостью и склонностью к возгоранию (таблица). Эти сплавы эффективно используются как материал для деталей газотурбинных двигателей, обшивки летательных аппаратов, деталей силового набора изделий авиакосмической и других отраслей техники [1].

Основным недостатком алюминидов титана является хрупкость при комнатных температурах и связанные с этим трудности его обработки.

Перспективы использования интерметаллидных сплавов на основе алюминидов титана ограничены отсутствием надежных способов соединения между собой и другими конструкционными материалами.

Диффузионной сваркой в температурном интервале 1000...1100 °С с выдержкой около 3 ч под давлением 20...40 МПа получены бездефектные соединения, однако прочностные характеристики их значительно уступают таковым основного металла [2]. Соединения, полученные электронно-лучевой сваркой, склонны к растрескиванию, развивающемуся от линии сплавления [3].

При прессовой сварке [4] в вакуумной камере и температуре 750...850 °С прочность крайне низкая из-за строчечных выделений по линии соединения. При использовании в качестве прослойки фольги алюминия в шве возникают дефекты в виде микропустот и трещин, которые также резко снижают прочность. Фольга титана позволяет получать бездефектные соединения высокой прочности, однако при этом в шве формируется слой фазы α_2 (TiAl), который не отвечает требованиям жаропрочности.

В отличие от прессовой контактная стыковая сварка сопротивлением обеспечивает локальное высокоскоростное введение тепла и локальную деформацию [5]. Этот способ сварки представляется перспективным для соединения тугоплавких материалов с низкой пластичностью, таких как сплавы на основе алюминидов титана. Учитывая опыт предыдущих разработок по контактной стыковой сварке алюминиевых сплавов с использованием в качестве закладных элементов нанослойных фольг системы Al–Cu и Al–Ni [6], сварку сплавов на основе алюминидов титана предложено проводить с помощью нанослойных фольг.

Наноструктурные фольги разработаны и изготавливаются в ИЭС им. Е. О. Патона способом электронно-лучевого испарения и последующей конденсации компонентов. В данной работе использовали фольги, представляющие собой мно-

Свойства алюминидов титана

Интерметаллид	E , ГПа	δ_{20} , %	$T_{пл}$, °С	ρ , г/см ³	T_p , °С
Ti ₃ Al	141	2...5	1600	4,20	815
TiAl	180	1...2	1460	3,91	1040
Ti ₂ NbAl	130	3...5	—	6,90	800

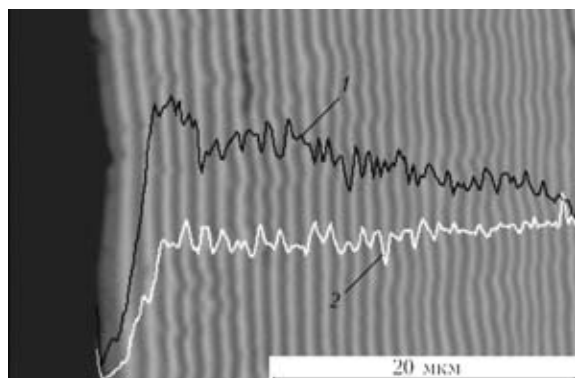


Рис. 1. Микроструктура ($\times 2000$) и микрораспределение титана (1) и алюминия (2) в фольге системы Ti–Al. Колебания содержания Al, мас. %: 44,23...54,99; Ti, мас. %: 45,01...52,84

гослойную композицию из алюминия и титана, средний состав которых соответствует стехиометрическому составу γ -TiAl фазы системы Ti–Al. Микроструктура и распределение титана и алюминия в фольге представлены на рис. 1. Нагрев такой фольги до температуры примерно 300 °C приводит к взаимодействию титана с алюминием с образованием интерметаллида [7]. Реакция взаимодействия развивается с большой скоростью и сопровождается выделением тепла: фольга разогревается до «красного каления».

В экспериментах по сварке использовали сплав Ti–47Al–1,5Cr–2Nb (ат. %), изготовленный электронно-лучевой плавкой в ИЭС им. Е. О. Патона.

Сварку проводили на специализированной стыкосварочной машине К-766 (рис. 2). Особенность этой установки заключается в отсутствии общего массивного корпуса и сбалансированности подвижной колонны, усилие смещения которой составляет 0,5...0,7 Н. Это обеспечивает эффективную работу механизма передачи давления, что особенно важно на стадии нагрева сопротивлением с использованием фольг.

Металлографические исследования и анализ химической неоднородности соединений проводили на оптическом микроскопе «Неофот-32» и растровом электронном микроскопе JSM-840 с микроанализатором Link-systems.

Прочностные свойства соединений оценивали по анализу распределения микротвердости, измеряемой на твердоме фирмы «LECO», и по механическим испытаниям на растяжение.

Исследования проводили на модельных образцах размером 15×15×110 мм. Параметры предварительно подобранного режима сварки следующие: давление при нагреве 1,6...2,0 МПа, давление при

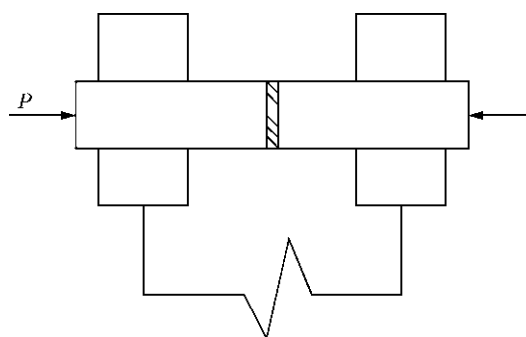


Рис. 2. Схема контактной стыковой сварки сопротивлением интерметаллидного сплава Ti–47Al–1,5Cr–2Nb с использованием фольги (заштрихованная часть)

осадке 40,0...45,0 МПа, время сварки 2,0...2,5 с. Выполнена как прямая сварка образцов, так и через фольгу толщиной 100 и 160 мкм.

В начале провели контактную сварку интерметаллида без использования наноструктурных фольг по классической технологии. Исследование макроструктуры полученных сварных соединений показало наличие микро- и макротрещин в шве, металле ЗТВ и в прилегающем к ней основном металле (рис. 3, б). Механическая обработка этих сварных соединений при изготовлении образцов для механических испытаний привела к их разрушению.

При контактной сварке с использованием нанослойных фольг наблюдается интенсивное выделение тепла в зоне контакта, благодаря чему время сварки уменьшается в среднем на 0,5...0,7 с по сравнению с обычной сваркой. Лучшие результаты получены при использовании фольги толщиной 60...100 мкм.

Металлографические исследования показали, что соединения, полученные с применением фольг, имеют стабильную макроструктуру (рис. 3, а).

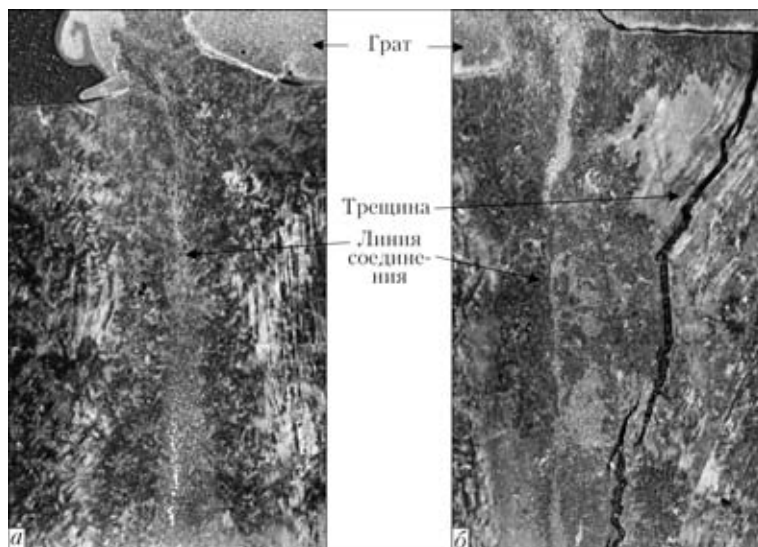


Рис. 3. Макроструктура ($\times 25$) соединений интерметаллидного сплава Ti–47Al–1,5Cr–2Nb, полученных контактной стыковой сваркой с использованием фольги системы Ti–Al (а) и без использования нанослойной фольги (б)

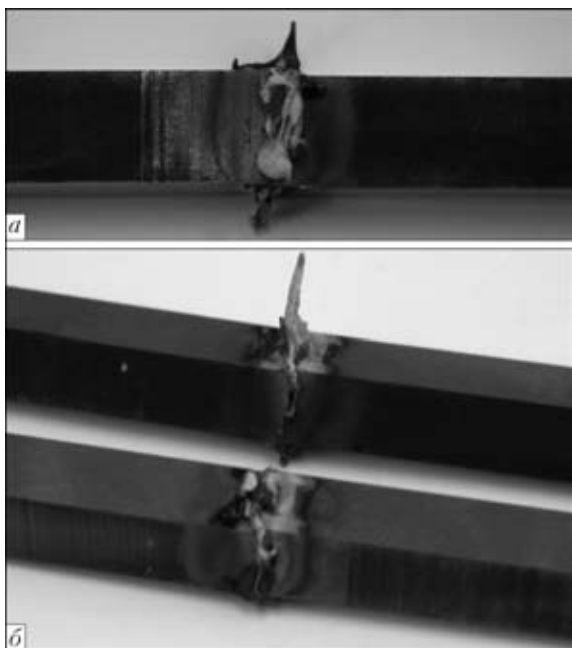


Рис. 4. Образцы соединений интерметаллидного сплава Ti-47Al-1,5Cr-2Nb, полученных контактной стыковой сваркой без использования фольги (а) и с использованием нанослойной фольги системы Ti-Al (б)

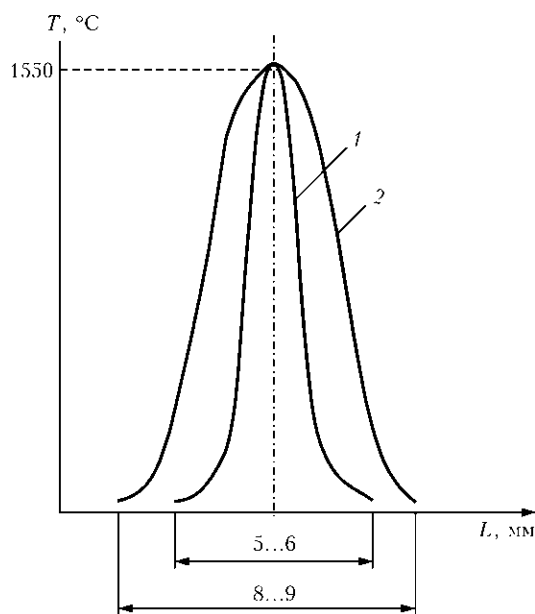


Рис. 5. Распределение температур при контактной стыковой сварке интерметаллидного сплава Ti-47Al-1,5Cr-2Nb с фольгой (1) и без фольги (2)

Визуальный контроль образцов (рис. 4) показал, что при сварке с использованием фольги ЗТВ и объем грата уменьшаются. Из анализа макроструктуры получено представление о распределении температур при сварке. Как видно из рис. 5, использование фольги обеспечивает более высококонцентрированный нагрев.

Сплав Ti-47Al-1,5Cr-2Nb имеет преимущественно ламелярную структуру, представляющую

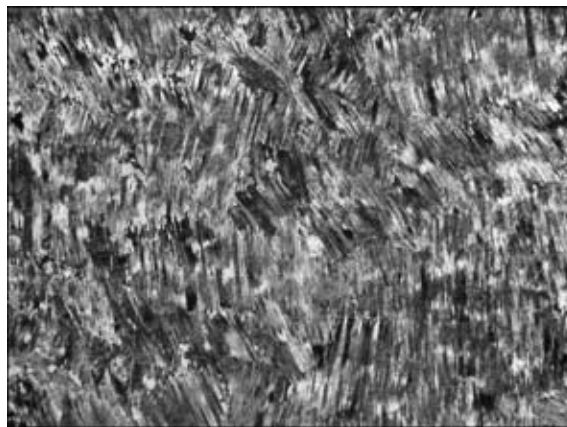


Рис. 6. Микроструктура (X100) интерметаллидного сплава Ti-47Al-1,5Cr-2Nb

собой чередующиеся пластины γ -TiAl и α_2 -Ti₃Al фаз (рис. 6). Встречаются глобулярные зерна γ -фазы размером 100...150 мкм.

Сварное соединение, полученное с использованием фольги, отличается четко выраженным строением ЗТВ (см. рис. 3, а). На границе с основным металлом ламелярная структура становится более светлой (рис. 7, участок 1). По-видимому, это вызвано частичным растворением темнотравящейся α_2 -фазы. Далее следует слой с измельченной ламелярной структурой (рис. 7, участок 2). По линии соединения формируется полоса с измельченной равноосной структурой: зерна γ -фазы, окантованные выделениями α_2 -фазы (рис. 7, участок 3).

Продукты реакции взаимодействия в фольге оптически обнаружены не были. ЗТВ прямого соединения включает те же структурные составляющие, однако расположение их бессистемно (см. рис. 3, б). Очевидно, это связано с температурными условиями сварки — неоднородностью температурного поля по длине соединения. Термические напряжения, возникающие при этом, могут быть причиной образования трещин в металле ЗТВ.

Анализ распределения твердости в соединении, полученном с использованием фольги (рис. 7), показал, что на участке с измельченной ламелярной структурой микротвердость возрастает по сравнению с микротвердостью интерметаллидного сплава от HV 0,5-2500 МПа до HV 0,5-3500...4500 МПа. На участке с измельченной равноосной структурой твердость снижается и составляет примерно HV 0,5-3000 МПа.

Механические испытания соединений на растяжение проводили на цилиндрических образцах МИ-12 при комнатной температуре. Прочность на разрыв составила 295...310 МПа. Разрушение образцов происходило по основному металлу.

При использовании наноструктурной фольги толщиной 160 мкм экзотермическая реакция проходит не полностью, поэтому в шве присутствуют

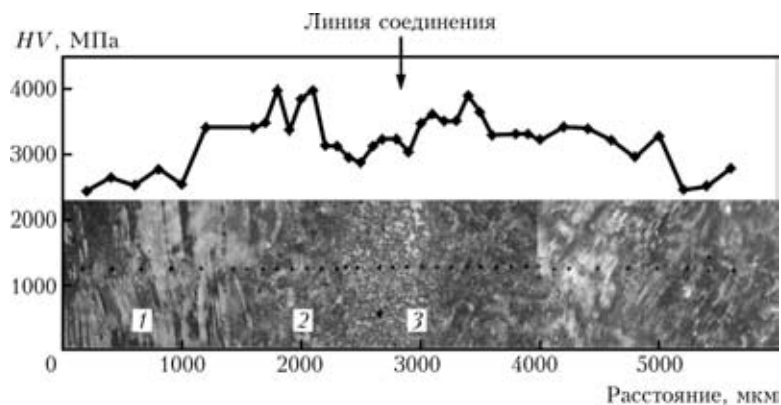


Рис. 7. Микроструктура ($\times 100$) и распределение микротвердости (нагрузка 4,9 Н) в металле соединения интерметаллидного сплава Ti-47Al-1,5Cr-2Nb, полученного контактной стыковой сваркой сопротивлением с использованием фольги системы Ti-Al: 1 — ламелярная структура основного металла; 2 — измельченная ламелярная структура; 3 — равноосные зерна α -фазы, окаймленные выделениями γ_2 -фазы

остатки фольги. Разрушение таких сварных соединений при механических испытаниях на разрыв происходит по околошовной зоне ($\sigma_{\text{в max}} = 270 \dots 280$ МПа).

Выводы

1. Контактная стыковая сварка сопротивлением характеризуется локальным высокоскоростным введением тепла и соответственно локальной деформацией, что определяет ее перспективность для получения соединений тугоплавких материалов с низкой пластичностью (сплавы на основе алюминидов титана).

2. Использование нанослойных фольг системы Ti-Al толщиной 60...100 мкм в качестве закладных элементов при контактной стыковой сварке сопротивлением улучшает формирование и свойства соединений сплавов на основе алюминидов титана благодаря обеспечению однородности нагрева изделия.

3. При использовании нанослойных Ti-Al фольг толщиной более 150 мкм необходимо применить более жесткие режимы сварки.

Peculiarities and prospects of application of resistance welding of titanium aluminides are considered. It is shown that nano-layer foils of the Ti-Al systems used as embedded elements provide uniform heating of workpiece and improve formation and properties of the joints.

Поступила в редакцию 03.10.2008

1. Поварова К. Б., Банных О. А. Структура и свойства сплавов на основе алюминидов титана // *Металловедение и технология легких сплавов*. — М.: ВИАЛ, 2001.
2. Gam G., Bohm K. N., Kocak M. Diffusionsschweißen fein gegossener Titanaluminide // *Schweißen und Schneiden*. — 1999. — № 8. — S. 470–475.
3. Titanium aluminide: electron beam weldability / R. A. Patterson, P. L. Martin, B. K. Damkroger, L. Christodoulou // *Weld. Res. Supplement*. — 1990. — № 1. — P. 39–44
4. Сварка давлением интерметаллидного сплава γ -TiAl / А. Н. Юштин, В. Н. Замков, В. К. Сабокар, П. Н. Чвертко // *Автомат. сварка*. — 2001. — № 1. — С. 33–37.
5. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
6. Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швец, А. Г. Сахакский, А. Г. Наконечный // *Сварочн. пр-во*. — 2007. — № 9. — С. 12–14.
7. Твердофазные реакции при нагреве многослойных фольг Ti-Al, полученных методом электроннолучевого осаждения / А. И. Устинов, Л. А. Олиховская, Т. В. Мельниченко, А. Е. Шишкин // *Совр. электрометаллургия*. — 2008. — № 2. — С. 21–28.



РОЛЬ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ

В. А. ШОНИН, В. С. МАШИН, А. П. МУРАШОВ, В. И. ЗЕЛЕНИН, кандидаты техн. наук,
И. А. ДЕМЬЯНОВ, М. П. ПАШУЛЯ, В. М. ТЕПЛОК, инженеры
 (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние газотермического покрытия алюминия на механические свойства стыковых соединений сплава АМгб с продольным швом, выполненным МИГ сваркой, и модуля упругости покрытия на долговечность.

Ключевые слова: несущие конструкции, сварные соединения, алюминиевые сплавы, защитное покрытие, модуль упругости, сопротивление усталости

Алюминиевые сплавы в атмосферных условиях характеризуются высокой общей коррозионной стойкостью, однако с повышением их прочности они склонны к точечной коррозии [1–3]. Для несущих металлоконструкций из деформируемых алюминиевых сплавов средней и высокой прочности основную опасность в накоплении локализованного усталостного повреждения в поверхностных слоях металла, особенно в зонах концентраторов напряжений и сварных соединениях, представляют окружающая среда и переменность нагрузок при эксплуатации [4–7]. Сопротивление усталости конструктивного элемента имеет максимальные значения в вакууме при минимальной шероховатости поверхности [8], что в реальных конструкциях недостижимо. Для защиты поверхности листового проката из высокопрочных алюминиевых сплавов от атмосферного воздействия применяют плакирование слоем алюминия или его сплава с цинком толщиной 2...4 % толщины основного металла (ОМ) [9]. Сплошной защитный слой отличается меньшим чем ОМ сопротивлением усталости и способствует некоторому снижению долговечности плакированного металла. К тому же, при сварке плавлением образуется незащищенная поверхность шва и нарушается защитное покрытие в околошовной зоне, что представляет одну из проблем эффективного применения сварки, особенно для высокопрочных плакированных сплавов. Защита сварного соединения от атмосферного воздействия является важной задачей, при этом покрытие не должно являться причиной или источником зарождения усталостного разрушения соединения.

Для условий совместного деформирования покрытия и основы решение данной задачи воз-

можно, когда значение предельной упругой деформации металла защитного слоя выше, чем металла сварного соединения. Это условие можно выразить неравенством:

$$\frac{\sigma_{0,01}^p}{E^p} < \frac{\sigma_{0,01}^c}{E^c} \text{ или } \frac{\sigma_{R_\sigma, N}^p}{E^p} < \frac{\sigma_{R_\sigma, N}^c}{E^c}, \quad (1)$$

где $\sigma_{0,01}$ — условный предел упругости; $\sigma_{R_\sigma, N}^p$ — предел усталости для данного значения коэффициента асимметрии цикла R_σ и базовой долговечности N ; E — модуль упругости, а индексы p, c — соответственно для основы и покрытия.

Одним из путей повышения деформационной способности металлического покрытия является снижение модуля упругости защитного слоя, что достигается при увеличении его дискретности при различных способах напыления металла [10–12].

Целью работы является обоснование перспективности применения защитных покрытий, наносимых напылением коррозионностойким материалом на сварные соединения алюминиевых сплавов, эксплуатируемых в условиях циклической нагрузки. В этой связи в работе исследовано влияние защитного газотермического покрытия на механические свойства сварного соединения.

Исследовали сопротивление усталости сварного соединения сплава АМгб толщиной 2 мм с продольным швом в исходном состоянии после сварки и после применения металлизации алюминия. Стыковое соединение выполняли сваркой плавящимся электродом СвАМгб диаметром 1,2 мм в аргоне (MIG Pulse) на режиме: $I_{св} = 90...95$ А; $U_{д} = 17,7...18,0$ В; $v_{св} = 50$ м/ч; $v_{п.п} = 335$ м/мин. Базовое значение тока I_6 (А) и частоты прохождения импульсов $F_{имп}$ (Гц) определяли, как: $I_6 = I_{св}/(1,5...2,0)$; $F_{имп} = KI_6$, где $K = 0,9...1,1$. Покрытие сварного соединения толщиной 0,17...0,26 мм выполняли проволокой диаметром 2 мм из

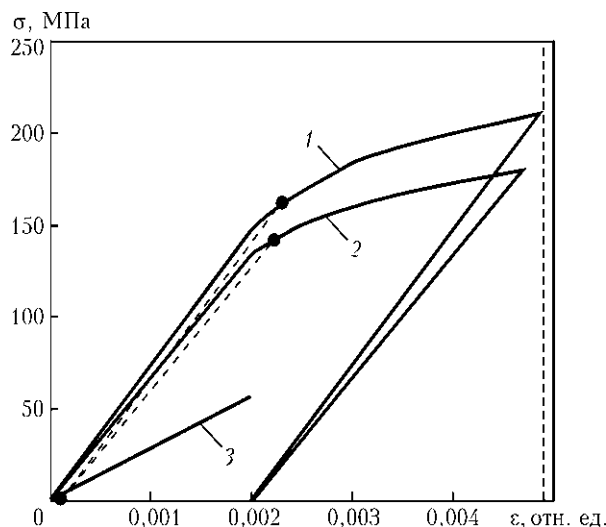


Рис. 1. Экспериментальные диаграммы деформирования при растяжении до условного предела текучести образцов ОМ (1), ОМ с покрытием (2) и расчетная диаграмма упругого деформирования покрытия (3)

алюминия А5 с помощью электродугового металлизатора ЭМ-14М при давлении сжатого воздуха 6 ати на режимах: $I_d = 200...250$ А; $U_d = 36$ В; дистанция напыления 120 мм; потребляемая мощность процесса 7,2...8,25 кВт. Поверхность под напыление подготавливали с двух сторон соединения струйно-абразивной обработкой электрокорундовой крошкой марки 14А зернистостью 80Н (с размером зерна 0,8...1,2 мм по ГОСТ 3647-89, стандарт FePa фракция F16-F22). При этом применяли сжатый воздух под давлением 6 ати; расстояние до поверхности составляло 60...70 мм; угол направления струи к обрабатываемой поверхности — 75...90°. Получена шероховатость $R_z = 15...20$ мкм.

Значение модуля упругости определяли косвенным методом по результатам испытаний на растяжение образцов ОМ с двухсторонним покрытием и без покрытия. Уточненные значения модуля упругости и механические свойства покрытия определяли прямыми испытаниями на растяжение образцов покрытия, которые изготавливали из коркового напыления алюминием. Образцы напыленного металла размером 120×10×3 мм вырезали из

Таблица 1. Экспериментальные значения модуля упругости и упругих напряжений для относительной деформации $\varepsilon = 0,002$ образцов ОМ в исходном состоянии и с покрытием

Конструктивный элемент	Толщина элемента t , мм	Напряжения $\sigma_{0,002}$, МПа	Модуль упругости E , ГПа
ОМ	1,73	147,3	73,7
ОМ с алюминиевым покрытием	2,03	133,9	66,96
Алюминиевое покрытие	0,3	56,6*	28,3*

* Расчетные данные.

заготовок, полученных корковым напылением на медную подложку. Плотность напыленного металла корковых образцов (2,22 г/см³) определяли измерением массы и объема. Для испытаний на растяжение использовали испытательную машину УМЕ-10тм, деформометр базой 25 мм и двухкоординатный самописец Н207/1.

При определении модуля упругости напыленного слоя алюминия в образцах с покрытием принимали, что остаточные напряжения в покрытии и основе минимальны, а деформации покрытия и основы совместны, т. е.

$$\varepsilon = \frac{\sigma^p}{E^p} = \frac{\sigma^{pc}}{E^{pc}} = \frac{\sigma^c}{E^c}, \quad (2)$$

где σ — напряжения в конструктивном элементе для фиксированного значения относительной деформации образца $\varepsilon = 0,002$; индекс pc — для основы с покрытием.

Напряжения σ^{pc} и σ^p определяли из диаграмм деформирования образцов с покрытием и без покрытия, а значение напряжения в покрытии σ^c вычисляли из нагрузки P^c , которая развивается в покрытии для конкретного его сечения F^c в образце. При фиксированной ширине конструктивных элементов напряжение в покрытии определяется как

$$\sigma^c = \frac{P^c}{F^c} = \frac{P^{pc} - P^p}{F^c}, \quad (3)$$

где P^{pc} и P^p — экспериментально устанавливаемые нагрузки при испытаниях образцов с покрытием и без покрытия для фиксированной деформации и ширины конструктивных элементов: $P^{pc} = \sigma^{pc} F^{pc}$ и $P^p = \sigma^p F^p$.

Диаграммы деформирования при растяжении до условного предела текучести образцов ОМ с покрытием и без него представлены на рис. 1 вместе с расчетной диаграммой упругого деформирования покрытия, а значения модулей упругости приведены в табл. 1. Характер циклического деформирования образцов напыленного металла и вид излома показаны соответственно на рис. 2 и 3, механические свойства приведены в табл. 2.

Результаты определения модуля упругости покрытия на образцах ОМ с покрытием, полученные по принятой методике, удовлетворительно согласуются со значениями модуля упругости, полученными прямыми экспериментальными испытаниями на образцах напыленного металла. Учитывая, что модуль упругости покрытия меньше почти в три раза модуля упругости основы, и при достаточных значениях предела текучести и пластичности напыленного металла можно ожидать, что покрытие при совместном деформировании с основой не будет вызывать преждевре-

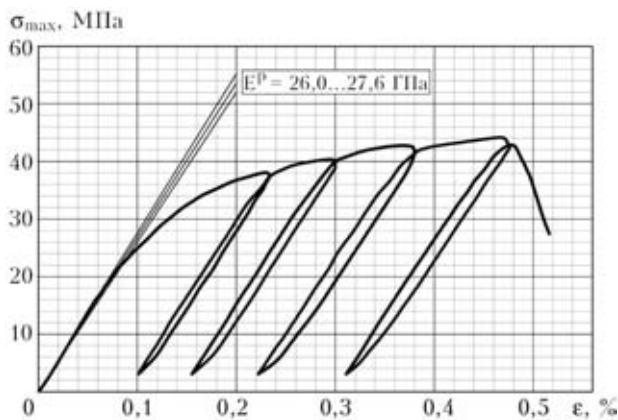


Рис. 2. Диаграмма деформирования при циклическом растяжении до разрушения образца коркового алюминиевого напыления

менное усталостное повреждение сварного соединения.

Испытания на усталость стыковых соединений с продольным швом проводили при отнулевой асимметрии циклического растяжения на машине УЕ-10. Частота нагрузок составляла 4...5 Гц. Применены отдельно сваренные плоские образцы корсетного типа общим размером 250×60×2 мм с шириной в рабочей зоне 30 мм и радиусом закругления 140 мм. Ширина шва составляла 7...8 мм. Для испытаний было подготовлено три группы сварных образцов: в исходном состоянии после сварки; после подготовительной операции струйно-абразивной очистки электрокорундовой крошкой; с покрытием алюминием лицевой и корневой поверхности соединения.

Результаты испытаний представлены номинальными напряжениями, которые рассчитывали, исходя из общей площади поперечного сечения ОМ и металла шва без учета покрытия алюминием в рабочей зоне образца и долговечностью до полного разрушения сварного соединения (рис. 4). Они свидетельствуют о том, что покрытие не влияет на долговечность сварного соединения. Данные сопротивления усталости образцов сварного соединения с покрытием находятся в пределах полосы разброса данных, полученных для соединений в исходном состоянии. К ним близки также результаты испытаний образцов после струйно-абразивной очистки поверхностей соединения.



Рис. 3. Внешний вид поверхности излома образца коркового алюминиевого напыления (×10)

В исходных образцах и с покрытием усталостные трещины зарождались в металле шва, основной причиной которых являлись дефекты, в основном одиночные мелкие поры, расположенные в верхней или нижней выпуклостях шва. Слой покрытия из алюминия не являлся источником зарождения трещин и не отслаивался в процессе распространения усталостной трещины и при доломе образца с трещиной. Остаточные напряжения, которые образуются вследствие струйно-абразивной обработки и последующего напыления алюминием, не причастны к усталостному повреждению сварного соединения. Очевидно, их уровни в поверхностных слоях недостаточно высоки, поскольку наличие остаточных напряжений могло бы заметно повлиять на изменение модуля упругости основы, что подтверждает сопоставление механических свойств образцов ОМ в исходном состоянии и с покрытием (табл. 2). При этом напыленный слой металла как конструктивный

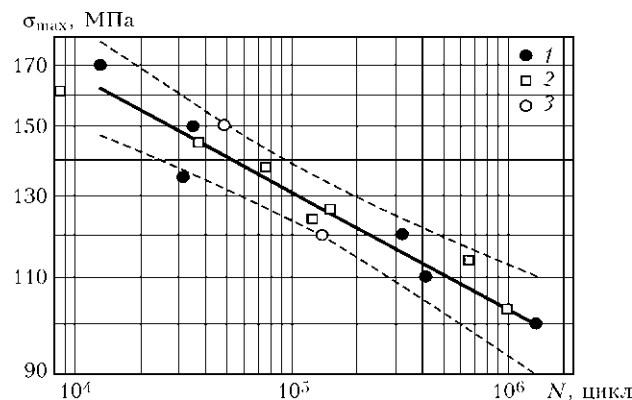


Рис. 4. Сопротивление усталости при отнулевой осевой циклической нагрузке стыковых соединений сплава АМг6 с продольным швом, выполненным плавящимся электродом (MIG Pulse): 1 — исходное состояние; 2 — после абразивной очистки; 3 — с покрытием защитным слоем алюминия, выполненным электродуговым напылением

Таблица 2. Экспериментально определенные механические свойства образцов ОМ сплава АМг6 в исходном состоянии и с алюминиевым покрытием, а также образцов коркового алюминиевого покрытия

Тип образца	Сечение образца, мм	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,001}$, МПа	δ_5 , %
ОМ без покрытия	10×1,7	368,3	211,1	161,4	18,6
ОМ с покрытием (без учета толщины покрытия)	10×1,7	364,8	210,8	166,5	18,5
ОМ с покрытием	10×2	309,1	180,5	138,9	18,5
Корковое напыление	10×3	44,2	42,0	24,4	0,3



элемент воспринимает на себя незначительную часть нагрузки.

Таким образом, для обеспечения работоспособности защитного покрытия от преждевременного усталостного повреждения в течение длительной эксплуатации конструктивного элемента со сварным соединением важным показателем является низкое значение модуля упругости покрытия по сравнению с основой. При этом надежность покрытия в условиях совместного деформирования с основой обеспечивается также достаточной пластичностью напыленного металла, которая способствует компенсации более высоких упругих деформаций основы.

В заключение следует отметить, что меры по защите от коррозии не могут стать причиной снижения сопротивления усталости основы, если модуль упругости наносимого напылением защитного покрытия ниже, чем у основы.

Значение модуля упругости покрытия следует определять путем расчета из диаграмм напряжение–деформация, полученных при сравнительных испытаниях на растяжение образцов ОМ с покрытием и без него. Показано, что эти данные согласуются с прямым измерением модуля упругости на образцах коркового напыления защитным сплавом.

Установлено, что применение электродуговой металлизации коррозионностойким алюминием А5 для сварных соединений сплава АМг6 с продольным швом, выполненным сваркой неплавящимся электродом (MIG Pulse), не снижает сопротивления усталости основы в условиях осевой переменной нагрузки с отнулевым циклом. Технологию газотермического напыления алюми-

нием можно рекомендовать в качестве защитного покрытия для сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов при условии, если покрытие характеризуется большей, чем основа деформационной способностью.

1. Аболихина Е. В., Моляр А. Г. Коррозия алюминиевых конструкций из алюминиевых сплавов // Физ.-хим. мех. материалов. — 2003. — № 6. — С. 106–110.
2. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: Справочное руководство / Под ред. Ф. И. Квасова, И. Н. Фридляндера. — М.: Металлургия, 1972. — 552 с.
3. *Aluminium-handbuch*. — Berlin: VEB Verl. Technik, 1971. — 775 S.
4. Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов: Справочное руководство / Под ред. А. Т. Туманова. — М.: Металлургия, 1972. — 408 с.
5. Карлашов А. В., Гнатюк А. Д., Кардаш А. Б. Коррозионно-усталостная прочность алюминиевых сплавов // Сб. тр. I сов.-англ. семинара «Коррозионная усталость металлов». — Киев: Наук. думка, 1982. — С. 206–229.
6. Кушнарченко В. М. Стойкость сварных соединений сплава АМг6 при коррозии под напряжением: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1973. — 14 с.
7. Зверев А. И., Копетман Л. Н. Влияние детонационных покрытий на сопротивление усталости деталей // Порош. металлургия. — 1990. — № 5. — С. 37–41.
8. Нейман П. Физическое металловедение: В 3 т. — М.: Металлургия, 1987. — Т. 3. — С. 392–434.
9. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Справочник / Под ред. В. А. Ливанова. — М.: Металлургия, 1974. — 432 с.
10. Ляшенко Б. А., Куриат Р. И. Покрытия и их использование в технике // Прочность материалов и конструкций. — Киев: Академперіодика, 2005. — С. 993–1080.
11. Долгов Н. А. Влияние модуля упругости на работоспособность системы основа–покрытие // Пробл. прочности. — 2002. — № 2. — С. 66–72.
12. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина; пер. с яп. — М.: Машиностроение, 1985. — 240 с.

Influence of gas thermal aluminium coating on mechanical properties of butt joints of AMg6 alloy with a longitudinal weld made by MIG welding and of the modulus of elasticity on the coating fatigue life was studied.

Поступила в редакцию 06.11.2008



ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРОЧНО-НАПЛАВОЧНЫХ УСТАНОВОК

В. И. ТИТАРЕНКО, О. В. ТКАЧЕНКО, инженеры (ООО «НПП РЕММАШ», г. Днепропетровск),
Д. Ю. МАТИКО, В. И. ПИЛИПКО, И. Ф. МУДРАНИНЕЦ, И. И. МУДРАНИНЕЦ, инженеры
(ОАО «Ильницкий завод МСО», г. Ильница)

Рассмотрен опыт работы малого предприятия по конструированию и изготовлению с использованием блочного принципа и широкой кооперации специализированных сварочно-наплавочных установок. Описаны системные работы ряда установок и области их применения.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавочные установки, блочное конструирование, кооперация, специализация

В соответствии с запросами рынка в области сварочно-наплавочных станков и установок, ООО «НПП РЕММАШ» за последние десять лет накопило опыт конструирования по разработке и изготовлению такого оборудования. Этот подход включает следующие основные элементы:

глубокий анализ аналогов разрабатываемого оборудования;

использование блочного принципа конструирования, при котором, исходя из технологической задачи, которую должна решать конкретная установка, ее общая конструкция складывается из отдельных блоков («кубиков»), сконструированных ранее. Это позволяет оперативно предложить заказчику эскиз установки, соответствующий его техническому заданию, а затем в сжатые сроки реализовать его в готовую конструкцию;

максимальное привлечение соразработчиков и соизготовителей, разрабатывающих и изготавливающих отдельные, полностью готовые узлы, из которых складывается установка, что позволяет максимально сократить сроки производства при высоком качестве отдельных узлов, изготавливаемых специализирующимися на разработке и производстве этих узлов предприятиями, и как результат — всей установки в целом;

придание любой специальной установке функций универсальности, что увеличивает загрузку установок и получаемую от них отдачу;

максимально возможное оснащение каждой установки технологической оснасткой, что позволяет повысить качество, стабильность, производительность и безопасность при работе на них;

на базе ранее разработанных типовых установок конкретизация каждой установки под определенного заказчика, что позволяет не приспосабливать установку под номенклатуру заказчика,

а сразу, сведя к минимуму время на внедрение, приступать к работе на ней.

Исходя из отмеченного и идя по пути расширения номенклатуры разрабатываемых сварочно-наплавочных станков и установок ООО «НПП РЕММАШ» в сотрудничестве с ОАО «Ильницкий завод МСО» и рядом других предприятий выпустило несколько новых типов оборудования. Среди этого оборудования есть как установки для наплавки крупногабаритных деталей (типа РМ-15 для наплавки канатных блоков диаметром до 2,5 м), так и станки для сварки-наплавки малогабаритных деталей (типа РМ-165 и ИЗРМ-5).

Установка типа РМ-15 для наплавки канатных блоков разработана и изготовлена по заказу ОАО «ОГОК». За аналог была взята уже существующая у заказчика установка, имевшая несколько серьезных конструктивных недостатков, которые в целом, не препятствуя реализации технологии наплавки при восстановлении блоков, во многом затрудняли ее реализацию, отрицательно влияя на производительность и качество наплавки. Поэтому специалистами ОАО «ОГОК» совместно с ООО «НПП РЕММАШ» было разработано техническое задание на принципиально новую конструкцию установки, которая была реализована ООО «НПП РЕММАШ» совместно с ОАО «Ильницкий завод МСО» в установку типа РМ-15 (рис. 1). Она по своей идеологии и конструкции принципиально отличается от старой, работающей на ОАО «ОГОК». Единственным схожим элементом установки РМ-15 со старой конструкцией является универсальный вращатель, расположенный в приемке. Вместе с тем, учитывая, что общая конструкция установки в отличие от аналога обеспечивает все установочные и технологические операции и без передвижения вращателя, он неподвижно стоит на разведенных лапах для увеличения устойчивости, надежности и безопасности в работе вращателя при возникновении воз-

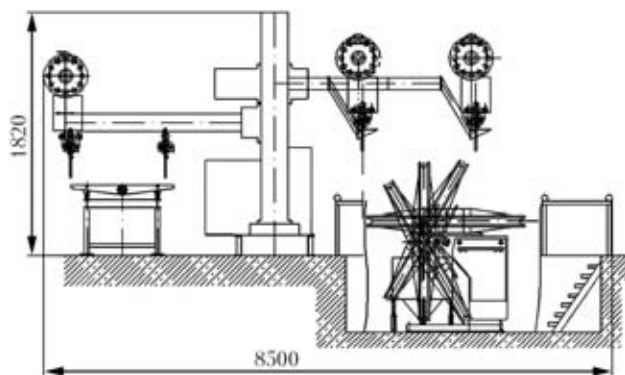


Рис. 1. Схема установки типа РМ-15

можных перегрузок. Наплавочный автомат А-1406 смонтирован на площадке подвижной консоли стационарной поворотной колонны, установленной и закрепленной на фундаментных болтах. Подвижная консоль, на которой установлен наплавочный автомат, имеет продольный, горизонтальный рабочий технологический и маршевый ход 1800 мм и вертикальный установочный маршевый ход 1600 мм. Так как технологически рабочий ход консоли с автоматом при наплавке канатных блоков является поперечным по отношению к наплавляемым кольцевым валикам, передвижением на шаг наплавки, электрической схемой установки предусмотрен автоматический перевод автомата (при необходимости) после каждого полного оборота на предварительно выбранный шаг от 1 до 20 мм. Вертикальный ход консоли в сочетании с вертикальным ходом наплавочного автомата обеспечивает суммарный вертикальный ход 2100 мм, тем самым позволяя не только технологически обеспечить наплавку всех поверхностей всех типоразмеров канатных блоков, но и расширить технологические возможности установки и возможную номенклатуру деталей, которые на ней можно наплавлять. Например, это позволяет ввести в номенклатуру наплавляемых на установке деталей наплавку внутренних поверхностей цилиндрических деталей диаметром до 600 мм, а на удлиненном мундштуке даже до 1000 мм, тем более, что такие детали, требующие восстановления, на ОАО «ОГОК» имеются. Питание дуги автомата А-1406 сварочным током производится от входящего в комплект установки РМ-15 сварочного выпрямителя КИУ-1201, а управление электрической схемой установки осуществляется с его пультов управления через шкаф управления. И выпрямитель, и шкаф управления установлены на специальной площадке стационарной поворотной колонны, которая поворачивается вместе с ее поворотом.

Для сбора отработанного флюса, который вместе со шлаком ссыпается по мере вращения с наплавляемого блока, установка оборудована специальным устройством, изготовленным в виде

бункера на телескопических ножках, на верхней плоскости которого установлено сито с ячейкой 5 мм, а в нижней части эжектор. Сито позволяет просеивать падающую с вращающейся при наплавке детали отработанную смесь флюса со шлаком, разделяя ее на шлак, который остается на сетке сита и периодически сметается, и просеянный флюс, просыпающийся в бункер и используемый повторно. Эжектор, к которому подведен сжатый воздух с давлением 3...5 атм, транспортирует воздушно-флюсовую смесь вверх в флюсобункер наплавочного автомата для повторного использования. Телескопические ножки бункера устанавливаются на необходимую высоту, что наряду с его горизонтальным перемещением позволяет для каждого типоразмера наплавляемого блока выбирать его оптимальное расположение в пространстве и собирать основную часть флюсошлаковой смеси, ссыпавшейся с наплавляемого блока. Учитывая большое разнообразие типоразмеров деталей, восстанавливаемых на ОАО «ОГОК», в том числе нецилиндрической формы, при разработке и изготовлении установки была необходимость обеспечить ее максимальную универсальность. Реализуя это для установки РМ-15, был разработан, а затем изготовлен и вошел в комплект стол для наплавки плоских деталей. Учитывая, что наплавочный автомат расположен на поворотной колонне для перехода от наплавки канатных блоков и других цилиндрических деталей к наплавке плоских деталей, установленных на столе, требуется только развернуть колонну, что выполняется за считанные секунды. При этом стол устанавливается в любом удобном месте в пределах рабочего сектора наплавочного автомата с учетом возможности поворота колонны с консолью, на которой он закреплен и с которой поворачивается на угол 360°. Стол устанавливается таким образом, чтобы горизонтальное передвижение консоли с автоматом обеспечивало наплавку продольных валиков закрепленных на столе деталей, а поперечное передвижение на шаг наплавки обеспечивается винтовым механизмом самого стола.

Установка РМ-15 показала значительные преимущества по сравнению со старой установкой портального типа, которые определяются как в удобстве эксплуатации, так и в качестве наплавки, а именно: упростилась операция установки и закрепления наплавляемой детали на планшайбе вращателя, чему способствует размещение наплавочного автомата на поворотной колонне, что, в свою очередь, позволяет беспрепятственно отвести его из рабочей зоны во время установки блока. Диапазон продольного горизонтального передвижения консоли с наплавочным автоматом в пределах 1800 мм позволяет обеспечить наплавку всех типоразмеров блоков во всех технологических по-

ложениях, не производя дополнительного перемещения вращателя, как на старой установке. Возможность автоматического перемещения на необходимый шаг наплавки позволяет производить более точно наплавку необходимой конфигурации изношенной поверхности, значительно сокращая расход наплавочных материалов, трудоемкость наплавки и последующей механической обработки. В сочетании с большим потенциалом расширения номенклатуры наплавляемых на установке деталей за счет наплавки плоских деталей и внутренних поверхностей цилиндрических деталей это свидетельствует об удачном варианте конструкторского решения и комплектации при изготовлении установки РМ-15.

Кроме крупногабаритных деталей, для наплавки и сварки которых можно использовать установки РМ УН-5, РМ-10, РМ-15 и др., имеется широкая номенклатура малогабаритных деталей, для сварки-наплавки которых ООО «НПП РЕМ-МАШ» совместно с ОАО «Ильницкий завод МСО» разработало два типа установок — РМ-165 и ИЗРМ-5.

Установка РМ-165 (рис. 2) разработана и изготовлена по заказу ОАО «ДМКД» для комплектации комплекса КАС РМ-165, предназначенного для восстановления роликов агломерационного цеха. В базовом варианте эта установка позволяет наплавлять самозащитной порошковой проволокой наружную и внутреннюю поверхность роликов диаметром до 300 мм, длиной до 500 мм и массой до 63 кг.

Установка состоит из стола-основания 1, на котором закреплены универсальный сварочный вращатель 2 и поворотная колонна 3. Колонна, поворачиваемая в установочное и рабочее положение, имеет фиксатор необходимого положения 4 и привод 5 для вертикального передвижения траверсы 6, на которой установлен и по которой передвигается сварочный автомат. Последний смонтирован на двух тележках — приводной 7 и соединенной с ней неприводной 12, на которой смонтирован подающий механизм 13 и подкасетник 14 для кассеты со сварочно-наплавочной проволокой. На приводной тележке 7 смонтировано устройство 8 и 9 коррекции мундштука относительно наплавляемой детали, в которой закреплен корпус мундштука 10 и его направляющая 11, направляющие проволоку в зону сварки. Наплавляемые и свариваемые ролики закрепляются на специальной оснастке 17, установленной на планшайбе вращателя 2. Управление установкой производится с пульта его управления 15 с помощью электрической схемы, смонтированной в шкафу управления 16, который расположен в столе-основании установки 1. Установка комплектуется универсальным сварочным выпрямителем, устанавливаемым рядом со столом-основанием.

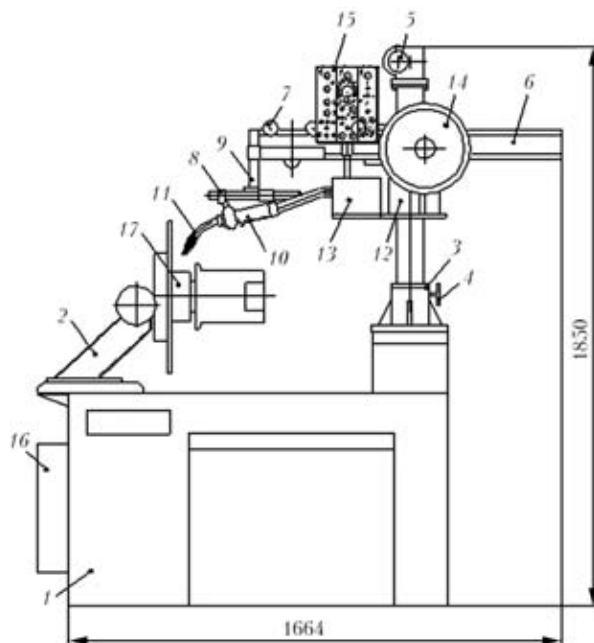


Рис. 2. Схема установки РМ-165

При разработке и изготовлении комплекса КАС РМ-165 применен блочный принцип с широкой кооперацией с предприятиями-изготовителями комплектующих узлов и сварочно-наплавочного оборудования. При этом у этих предприятий не просто покупали серийно изготавливаемые комплектующие с последующей их переделкой и привязкой к установке, а заказывали и изготавливали по специальным техническим заданиям основных разработчиков оборудования. Для этой работы были привлечены ОАО «СиМЗ», поставлявший в доработанном виде подающий механизм и источник питания, ОАО «Артем Контакт», поставлявший соответствующий техзаданию механизм передвижения сварочного трактора. Особую

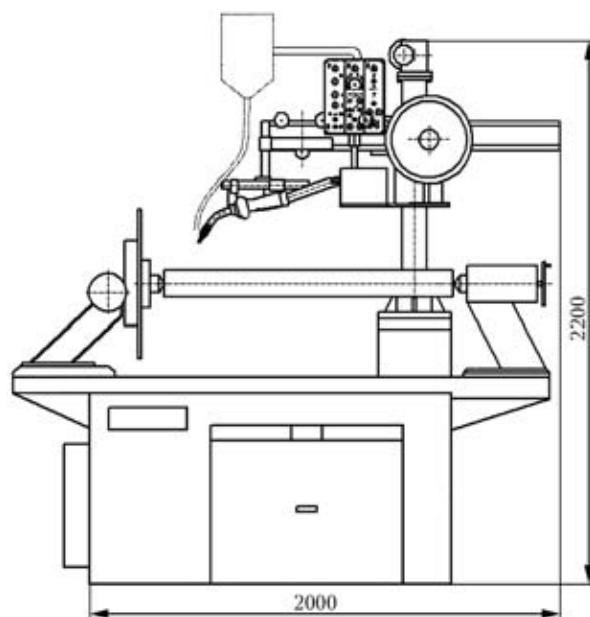


Рис. 3. Схема установки ИЗРМ-5



роль в создании установки и комплекса внес ОАО «Ильницкий завод МСО», который не только изготовил согласно техническому заданию сразу несколько основных узлов: корпус, вращатель, колонну, но и активно участвовал в разработке и изготовлении всей установки. Такой подход и организация изготовления позволили за три месяца разработать и изготовить установку РМ-165 и комплекс в целом. Дополнительным положительным моментом разработки и изготовления данной установки является ее перспективность в создании целого ряда малогабаритных станков и установок для других разновидностей дуговой сварки-наплавки, таких как электродуговая под флюсом и в защитных газах, а также и для других групп деталей типа вал и пластина.

Более универсальный станок был разработан и изготовлен ООО «НПП РЕММАШ» в сотрудничестве с ОАО «Ильницкий завод МСО». Это универсальный станок типа ИЗРМ-5, предназначенный для автоматической дуговой сварки-наплавки под флюсом, в среде защитных газов и само-

защитной проволокой цилиндрических деталей диаметром до 400 мм, длиной до 1000 мм и массой до 120 кг.

В отличие от установки РМ-165 установка ИЗРМ-5 (рис. 3) дополнительно оборудована задней стойкой, бункером для флюса и бункером для сбора шлака и отработанного флюса. Кроме того, в комплект установки ИЗРМ-5 дополнительно входят мундштуки-горелки для сварки-наплавки в защитных газах и под флюсом, а также газорегулирующая аппаратура.

Описанные подходы к конструированию и производству, реализованные в тесном сотрудничестве с заказчиками сварочно-наплавочного оборудования, позволили ООО «НПП РЕММАШ» в сотрудничестве с ОАО «Ильницкий завод МСО» в течение нескольких лет разработать и изготовить целый ряд установок как по назначению, так и по габаритам свариваемых и наплавляемых деталей и охватывающих их широкую номенклатуру.

Experience of activity of a small-scale enterprise in design and manufacture of specialised welding-surfacing equipment by using a modular principle and wide cooperation is considered. Examples of operation of a number of machines and their application fields are presented.

Поступила в редакцию 01.12.2008

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

5–9 октября 2009 г.

г. Ялта Крым, Украина

Организаторы: УИЦ «Наука. Техника. Технология», Украинское, Российское, Белорусское общество НКиДТ, ИЭС им. Е. О. Патона, Днепропетровский национальный университет, НПП «Машиностроение».

Тематика конференции:

- ✓ Общие вопросы неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД)
- ✓ Теоретические вопросы взаимодействия физических полей с веществом контролируемых объектов
- ✓ Техническая диагностика и мониторинг состояния производственных объектов
- ✓ Контроль напряженного состояния конструкций, изделий и сварных соединений
- ✓ Опыт и перспективы НК на предприятиях горно-металлургического комплекса НК и ТД в нефтегазовой отрасли и энергетике
- ✓ Контроль строительных конструкций
- ✓ Вибрационные методы диагностики
- ✓ Вопросы обучения, подготовки, аттестации и сертификации специалистов, подразделений НК и ТД
- ✓ Разработка и гармонизация стандартов в области НК и ТД
- ✓ Метрологическое обеспечение средств НК
- ✓ Состояние и развитие НК и ТД в Украине
- ✓ Заседание Правления УО НКТД

УИЦ «Наука. Техника. Технология»

тел./факс: +38(044) 573 30 40, E-mail: office@conference.kiev.ua

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

А. Ф. ШАТАН, А. А. АНДРИАНОВ, инженеры, В. Н. СИДОРЕЦ, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследована эффективность оптимизированных режимов стабилизации горения дуги переменного тока. Показано, что при ручной дуговой сварке стали типа 18-10 переменным током достигаются свойства сварных соединений, подобные таковым при сварке на постоянном токе.

Ключевые слова: коррозионностойкая сталь, дуговая сварка, переменный сварочный ток, стабилизаторы горения дуги, микроструктура, коррозия

Несмотря на успехи, достигнутые в последние десятилетия в областях разработки и промышленного применения источников питания сварочной дуги (инверторного оборудования, цифровых систем управления с регулированием формы кривой сварочного тока), сварка дугой переменного тока промышленной частоты остается достаточно распространенной и актуальной [1, 2]. Исследования этого способа сварки можно поставить в один ряд с продолжающимися в настоящее время работами по сварке в углекислом газе, благодаря которой получают достаточно качественные сварные соединения несмотря на широкое использование многокомпонентных газовых смесей.

Применение стабилизаторов горения дуги при сварке переменным током позволяет снизить напряжение холостого хода трансформатора и уменьшить расход электротехнических материалов [1, 3]. Пока не существует единого мнения о параметрах стабилизирующего импульса таких, как энергия импульса, времени его подачи (инжектирования) относительно момента перехода сварочного тока через нуль и его полярности. Авторам работы [4] удалось сформулировать и решить эту задачу. При этом критерием оптимизации было минимальное напряжение холостого хода источника питания, при котором дуга еще горит, а варьируемым параметром служила разность фаз между сварочным током и стабилизирующим импульсом. Описание сварочной дуги переменного тока осуществлялось с помощью разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона обобщенной математической модели динамической дуги.

В работе [4] определена зависимость минимального напряжения холостого хода сварочного трансформатора, при котором горит дуга, от разности фаз между сварочным током и стабилизирующим импульсом (рис. 1). Из полученных

кривых следует, что зависимость напряжения имеет ярко выраженные минимумы, а значит задача оптимизации разрешима. Более того, подтверждается тот факт, что применение стабилизирующих импульсов, полярность которых противоположна полярности тока дуги, предпочтительнее, поскольку кривая минимального напряжения холостого хода $U_{x.x \min}$ в этом случае находится ниже, чем при использовании импульсов с положительной полярностью. В работе [4] дано объяснение этого факта: стабилизирующий импульс, направленный противоположно сварочному току, не препятствует работе основного источника питания и способствует тому, что после окончания стабилизирующего импульса основной источник питания дуги работает как стабилизирующее устройство.

Целью настоящей работы являются экспериментальные исследования эффективности стабилизации горения дуги переменного тока при ручной дуговой сварке коррозионностойких сталей.

Ручную дуговую сварку на переменном токе осуществляли с использованием сварочного транс-

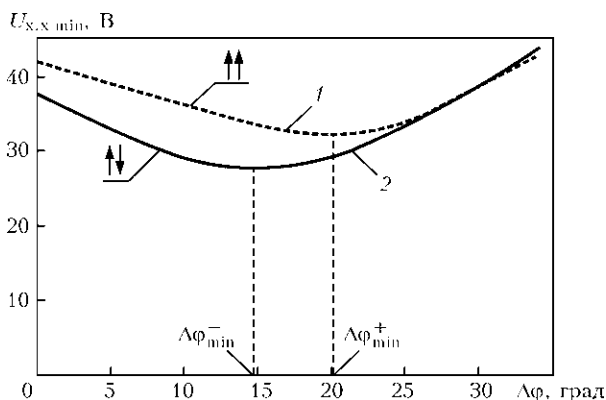


Рис. 1. Зависимость минимального напряжения холостого хода сварочного трансформатора, при котором горит дуга, от разности фаз между сварочным током и стабилизирующим импульсом: 1 — полярность стабилизирующего импульса совпадает с полярностью сварочного тока; 2 — противоположная полярность

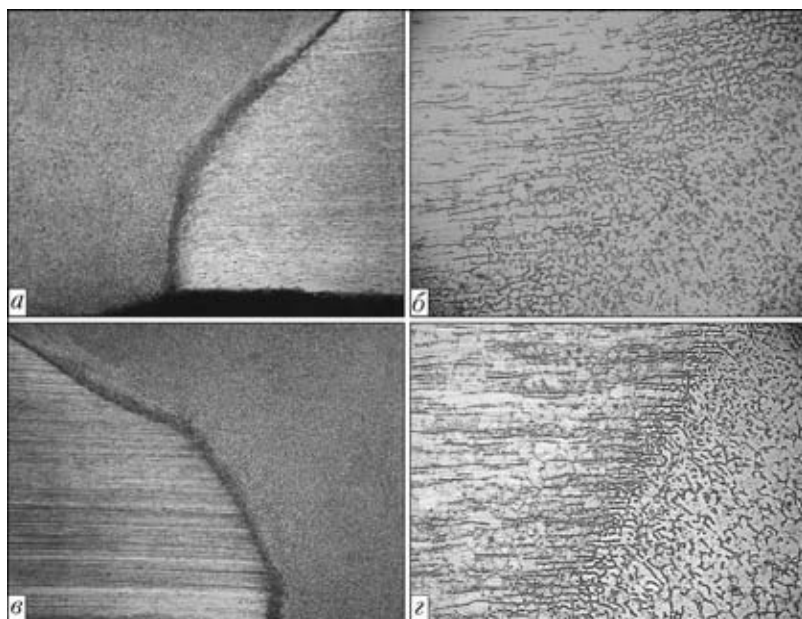


Рис. 2. Макро- (а, в, $\times 25$, уменьш. 3,5 раза) и микроструктура (б, г, $\times 200$, уменьш. 3,5 раза) участков сварных соединений, полученных на постоянном (а, б) и переменном токе с ОСГД (в, г)

сформатора с пониженным напряжением холостого хода и оптимизированного стабилизатора горения дуги (ОСГД). Для сравнения выполняли наплавку и сварку на постоянном токе от выпрямителя типа ВД-306. При этом применяли коррозионностойкую сталь марки 12Х18Н10Т толщиной 4 мм и электроды ОЗЛ-8 диаметром 3 мм. Как известно [5], электроды этой марки предназначены для сварки на постоянном токе обратной полярности. Для проверки стабильности горения дуги на переменном токе выполняли наплавки на пластину из указанной стали. Применение ОСГД позволяет осуществлять процесс сварки на переменном токе без обрыва дуги с минимальным разбрызгиванием.

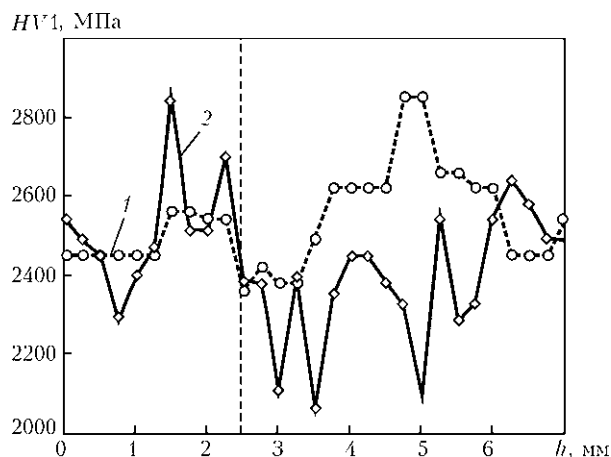


Рис. 3. Распределение микротвердости в сварном соединении, полученном на постоянном (1) и переменном токе с применением ОСГД (2): штриховая — линия сплавления; h — расстояние от центра шва

Для исследования качества металла сварных соединений высококвалифицированным сварщиком была выполнена сварка стыковых соединений в один проход с зазором 1,5 мм без разделки кромок на постоянном токе (образец № 1, среднее значение сварочного тока $I_{\text{ср}} = 85 \dots 90$ А) и на переменном токе с ОСГД (образец № 2, действующее значение сварочного тока $I_{\text{д}} = 95 \dots 97$ А). Химический состав металла шва следующий, мас. %: образец № 1 — 0,082 С; 0,75 Si; 1,0 Mn; 18,6 Cr; 9,5 Ni; 0,20 Ti; 0,3 Cu; образец № 2 — 0,082 С; 0,75 Si; 1,0 Mn; 18,9 Cr; 9,6 Ni; 0,19 Ti; 0,3 Cu.

Металлографические исследования сварных соединений проводили на микроскопе «Neophot-32» при различных увеличениях. Цифровое

изображение микроструктур получено с помощью фотокамеры «Olympus». Наличие δ -феррита определяли на ферритометре «Ferritgehaltmesser-1053».

Структура металла шва образцов № 1 и 2 была практически одинаковой и представляла собой литой аустенит с небольшим количеством δ -феррита (1,5...2,5 об. % в образце № 1 и 1,5...1,7 об. % в образце № 2). В металле обоих швов выявлены карбонитриды (желто-розовые включения правильной геометрической формы).

По линии сплавления и в зоне термического влияния (ЗТВ) трещин и других дефектов обнаружено не было. Для металла ЗТВ обоих образцов характерно наличие аустенитной структуры с выделением δ -феррита вдоль проката в виде тонких прослоек (рис. 2). Размер зерна аустенита на участке крупного зерна в металле ЗТВ образцов № 1 и 2 соответствует баллу 5...6 (по ГОСТ 5639–82). Структура участка мелкого зерна этих образцов представляет собой зернистую аустенитную структуру (балл зерна 7...8) с выделениями δ -феррита вдоль проката. Структура основного металла образцов № 1 и 2 идентична и представляет собой мелкозернистую аустенитную структуру с баллом зерна 10...11 (по ГОСТ 5639–82), имеющую выделения тонких прослоек δ -феррита вдоль проката и карбонитридов (рис. 2).

Измерение микротвердости осуществляли на микротвердометре М-400 фирмы «Лесо». На рис. 3 представлены результаты измерения микротвердости сварных соединений (со середины шва) с шагом 0,25 мм. Как видно из рис. 3, изменения значений микротвердости металла сварного соединения, полученного на переменном токе с



Механические свойства стыковых сварных соединений

Сварочный ток	σ_b , МПа	KCV, Дж/см ²
Постоянный	$\frac{603,3...651,1}{634,3}$	$\frac{96,8...124,1}{107}$
Переменный с применением ОСГД	$\frac{594,5...600,1}{595,8}$	$\frac{95,8...126,5}{112,4}$

применением ОСГД более значительны, чем на постоянном токе, однако они не выходят за допустимые пределы при сварке с использованием электродов указанной марки.

В таблице представлены результаты механических испытаний сварных стыковых соединений образцов при температуре 20 °С (по 3 образца для каждого вида испытаний). Как видно из таблицы, временное сопротивление разрыву σ_b сварного соединения стали 12Х18Н10Т, полученного на постоянном токе, немного выше, а ударная вязкость KCV ниже, чем в случае переменного тока с применением ОСГД.

Проведены также исследования на склонность питтинговой коррозии в 10%-м растворе FeCl₃·6H₂O при 20 °С (ГОСТ 9.912–89) образцов размером 20×80 мм, вырезанных из стыковых соединений со снятием усиления. Исходя из значений условной скорости питтинговой коррозии можно сделать вывод, что испытанные образцы мало отличаются от сварных соединений, полу-

ченных с использованием электродов ОЗЛ-8 на постоянном токе.

Таким образом, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона математическая модель сварочной дуги позволяет оптимизировать параметры стабилизирующего импульса, применяемого при сварке на переменном токе, по электротехническим и массогабаритным критериям. Использование оптимизированных режимов стабилизации горения дуги при ручной дуговой сварке коррозионностойких сталей на переменном токе способствует получению сварных соединений с такими же высокими показателями качества, как и при сварке на постоянном токе. Положительное решение задачи оптимизации для ручной дуговой сварки делает перспективным применение подобных подходов для оптимизации также других дуговых сварочных процессов.

1. *Снижение материалоемкости источников питания и потребления электроэнергии при сварке* / Б. Е. Патон, И. И. Заруба, В. В. Дыменко, А. Ф. Шатан // Автомат. сварка. — 2006. — № 10. — С. 20–29.
2. *Разработка высокоэффективных способов дуговой сварки и их применение* / Н. Кидзи, К. Кобаяси, Д. Исии, Х. Ямаока // Там же. — 2003. — № 10. — С. 46–51.
3. *Заруба И. И., Дыменко В. В., Болотко В. И.* Сварочные трансформаторы с устройствами стабилизации горения дуги // Там же. — 1989. — № 10. — С. 46–51.
4. *Андрианов А. А., Сидорец В. Н.* Оптимизация режимов стабилизации сварочной дуги переменного тока // Электротехника і електромеханіка. — 2009. — № 2. — С. 5–12.
5. *Сварочные материалы для сварки сталей и чугуна* (Электроды, флюсы, проволоки): Справ. / Под ред. В. Н. Горпенюка. — Киев: Науч. книга, 1994. — 622 с.

Effectiveness of optimized modes of stabilization of a.c. arc burning was studied. It is shown that in manual arc welding of 18-10 type steel the welded joint properties, similar to those in d.c. welding, are achieved.

Поступила в редакцию 31.10.2008



ЗАВАРКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ ИЗ СПЛАВА Мл-10 СКАНДИЙСОДЕРЖАЩИМ МАТЕРИАЛОМ

В. А. ШАЛОМЕЕВ, канд. техн. наук, **Э. И. ЦИВИРКО**, д-р техн. наук (Запорож. нац. техн. ун-т),
И. А. ПЕТРИК, **В. В. ЛУКИНОВ**, кандидаты техн. наук (ОАО «Мотор-Сич», г. Запорожье)

Изучено влияние содержания скандия в присадочном сплаве Мл-10 на качество металла заваренных дефектных участков магниевых литых деталей. Отмечено его модифицирующее влияние на механические свойства и жаропрочность сплава. Применение скандийсодержащего присадочного материала для заварки изделий из сплава Мл-10 способствует существенному повышению уровня механических свойств металла шва.

Ключевые слова: сварка ТИГ, сплав Мл-10, присадочный материал, заварка дефектов, скандий, модифицирование

С целью повышения надежности и долговечности авиационные двигатели после определенной наработки проходят профилактические осмотры, в ходе которых на отдельных их элементах выявляются, а затем завариваются поверхностные дефекты [1].

При производстве жаропрочного магниевого литья для авиадвигателестроения широко применяют сплав Мл-10, содержащий цирконий и неодим, которые, образуя жаропрочные интерметаллидные фазы, обеспечивают требуемые служебные характеристики указанного сплава при повышенных температурах [2]. Номенклатура литых деталей, изготовленных из сплава Мл-10, достаточно разнообразна, стоимость сложных корпусных деталей может достигать десятков тысяч гривен, поэтому технологическим вопросам их ремонта уделяется особое внимание.

После эксплуатации на поверхности изделий из сплава Мл-10, как правило, образуются мелкие трещины (рис. 1), что обусловлено условиями эксплуатации авиадвигателей. Самыми распростра-

ненными являлись трещины смешанного типа, среди которых преобладают усталостно-коррозионные. Структура поверхности раскрытых трещин неоднородная, она покрыта плотным слоем оксидов. Трещина может проходить как по зерну, так и по его границам (рис. 2, а).

Микроскопический анализ показал, что в сплаве крупнокристаллического строения имеют место подплавление границ зерен (рис. 2, б) и межзеренное разрушение, характерное для перегретого состояния.

Согласно техническим условиям, после выявления и разделки дефекта допускается аргодуговая заварка вольфрамовым электродом с использованием присадочного материала из сплава Мл-10. При этом были случаи, когда при заварке дефектов образовывались новые трещины, что в отдельных случаях приводило к отбраковке деталей. В связи с этим разработка новых присадочных материалов для заварки дефектов литых деталей, обеспечивающих требуемое качество литых деталей, является весьма актуальной.

Известно положительное влияние скандия на свариваемые алюминиевые сплавы [3] и алюминийсодержащие магниевые сплавы [4, 5] за счет образования жаропрочных интерметаллидных

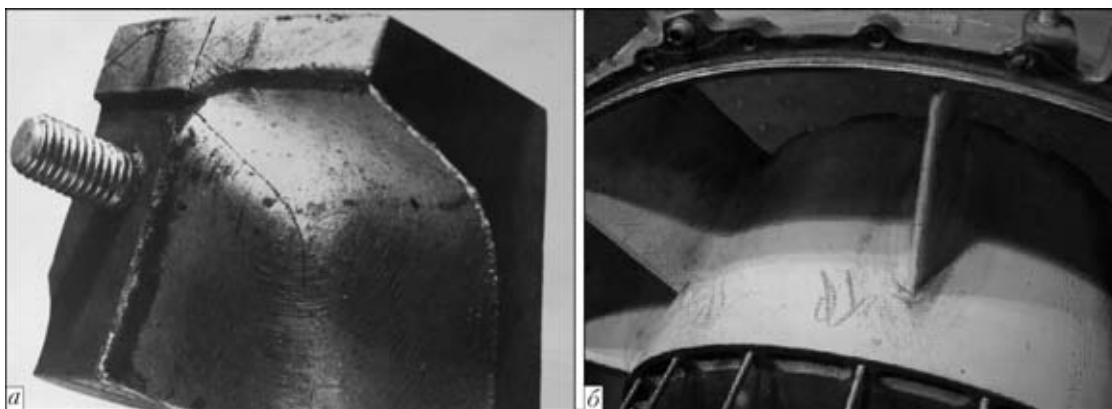


Рис. 1. Вид трещин на поверхности отливок из сплава Мл-10: а — фрагмент лобового картера; б — корпусная деталь

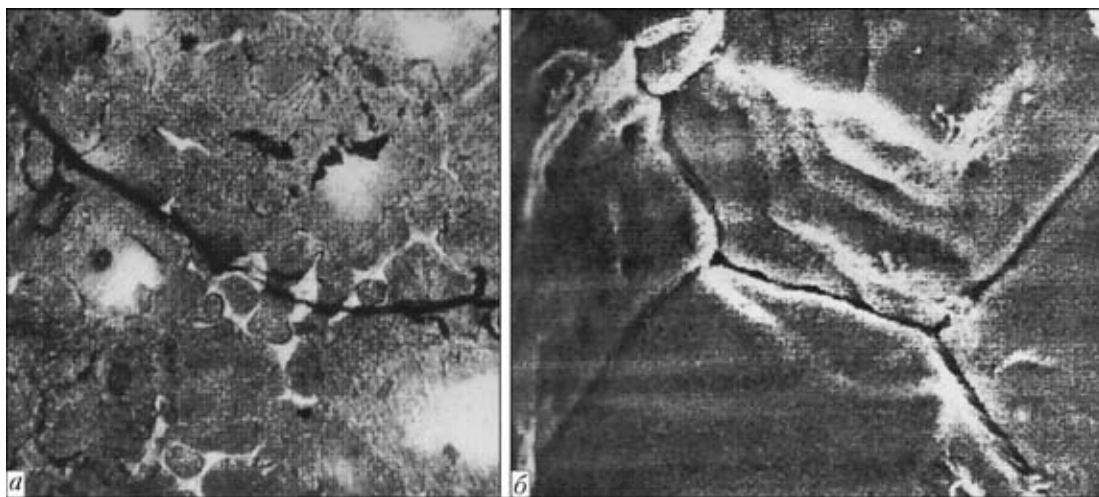


Рис. 2. Микроструктура ($\times 210$) магниевого сплава с трещиной (а) и подплавлением границ зерен (б)

фаз. В связи с этим представляет интерес исследование влияния скандия на структуру и свойства жаропрочного сплава Мл-10, имеющего в своем составе жаропрочные фазы $(\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$, наличие которых способствует повышению физико-механических характеристик металла в месте заварки.

Исследования проводили в два этапа:

разработка присадочного скандийсодержащего сплава Мл-10 с оптимальным содержанием скандия для обеспечения повышенных механических свойств и жаропрочности;

изучение структуры и свойств основного металла и металла сварного шва на образцах, заваренных разработанным скандийсодержащим присадочным материалом.

Магниевый сплав Мл-10 выплавляли в индукционной тигельной печи типа ИПМ-500 по серийной технологии. Рафинирование сплава осуществляли флюсом ВИ-2 в раздаточной печи с порционным отбором расплава, в который вводили присадки Mg–Sc-лигатуры (90 % Mg, 10 % Sc), стандартные образцы для механических испытаний диаметром 12 мм заливали в песчано-глинистую форму. Образцы для механических испытаний проходили термическую обработку в печах типа Бельвю и ПАП-4М на следующем режиме: закалка от $(415 \pm 5)^\circ\text{C}$, выдержка в течение 15 ч, охлаждение на воздухе; старение при $(200 \pm 5)^\circ\text{C}$, выдержка в течение 8 ч, охлаждение на воздухе.

Временное сопротивление разрыву и относительное удлинение образцов определяли на разрывной машине Р5 при комнатной температуре, а длительную прочность при различных температурах — на разрывной машине АИМА 5-2 на образцах диаметром 5 мм (ГОСТ 10145–81).

Микроструктуру металла изучали на микроскопе «Neophot-32» после травления в реактиве, состоящем из 1 % азотной кислоты, 20 % уксусной кислоты, 19 % дистиллированной воды, 60 % этиленгликоля. Микротвердость структурных составляющих сплава определяли на микротвердомере фирмы «Buehler» при нагрузке 0,1 Н. Микрорентгеноспектральный анализ фаз выполняли на электронном микроскопе «JSM-6360LA».

Химический состав исследуемых вариантов сплава удовлетворял требованиям ГОСТ 2856–79 и по содержанию основных элементов был практически одинаков.

Микроструктура сплава Мл-10 после термообработки, отлитого по стандартной технологии, представляла собой δ -твердый раствор с наличием эвтектоида $\delta + (\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$ в виде участков сфе-

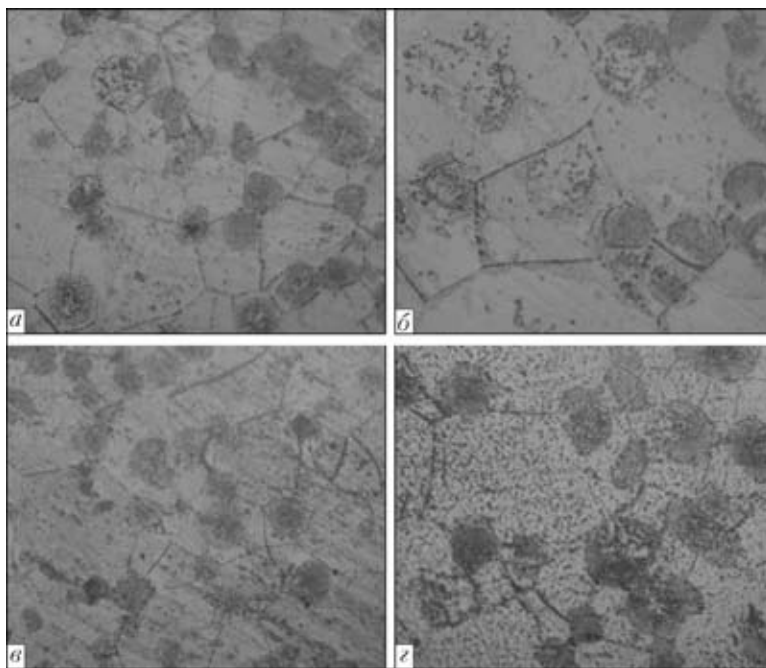


Рис. 3. Микроструктура ($\times 500$) сплава Мл-10 без присадки Sc (а, в) и с присадкой 0,05 мас. % Sc (б, г): а, б — после стандартной термообработки; в, г — после испытаний при 150°C (1252 ч), а затем при 250°C ($\sigma_{\text{в}} = 80 \text{ МПа}$)

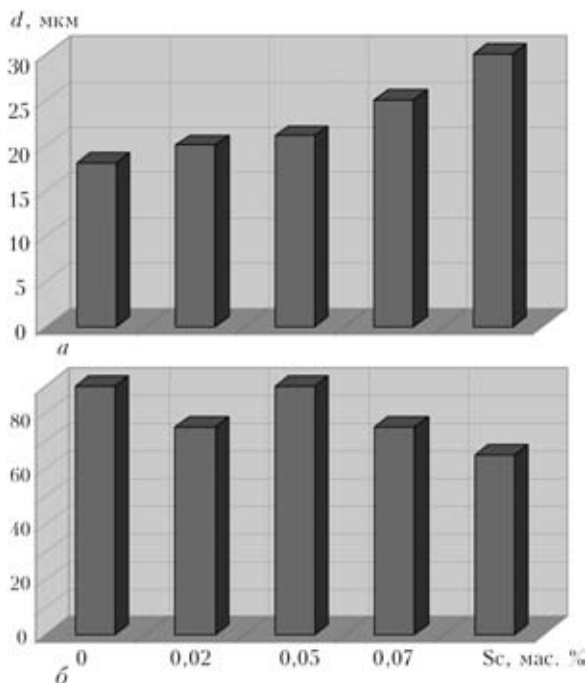


Рис. 4. Изменение размера d структурных составляющих сплава Мл-10 при различном содержании скандия: a — эвтектоид $\delta + (\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$; b — δ -фаза

рической формы. С повышением концентрации модификатора скандия в сплаве имело место увеличение размеров участков сферических эвтектоидов (рис. 3), в то время, как размер δ -фазы практически не изменялся (рис. 4).

Термическая обработка улучшала однородность структурного сплава вследствие перераспределения элементов между осями и межосевыми пространствами дендритов, а также дополнительного легирования матрицы за счет диффузии элементов из пограничных выделений фазы $(\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$.

Микрорентгеноспектральный анализ показал, что сферические участки обогащены в основном цирконием, неодимом и скандием. В модифицированном сплаве содержание скандия в сферических выделениях эвтектоида $\delta + (\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$ было приблизительно в 1,5...2,0 раза выше, чем в δ -твердом растворе.

В образцах, испытанных при температуре 150...250 °С, происходил распад эвтектоида. Анализ структуры сплава показал, что в процессе дли-



Рис. 5. Микроструктура ($\times 750$) сплава Мл-10 (0,07 мас. % Sc) с неравномерным выделением интерметаллидной фазы после длительной выдержки (1252 ч, $\sigma_{\text{в}} = 80$ МПа) при температуре 150 °С

тельного воздействия температуры испытаний наряду с распадом эвтектоида происходило его растворение в матрице с последующим выделением мелкодисперсной интерметаллидной фазы типа $(\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$ со скандием (рис. 5). При этом определено, что мелкодисперсные интерметаллидные частицы выделялись неравномерно, образуя области полосчатой структуры, характеризующиеся повышенной микротвердостью.

Установлено, что более полному распаду эвтектоидной фазы способствовало время выдержки при заданной температуре, а также наличие напряжений. При температуре 270 °С происходило огрубление структуры вследствие интенсивного выделения интерметаллидов, особенно по границам зерен, чем можно объяснить заметное снижение жаропрочности материала. Грубые пограничные выделения обнаружены в структуре сплава, содержащего 0,1 мас. % Sc. Они способствовали быстрому разрушению образцов в процессе испытания на длительную прочность.

Микротвердость δ -твердого раствора сплава без скандия до термообработки была более чем в 3 раза ниже микротвердости сферических эвтектоидов. После проведения термообработки микротвердость матрицы повысилась, но при этом снизилась микротвердость эвтектоидов, что свидетельствует об увеличении степени однородности сплава путем термообработки (табл. 1). Из

Т а б л и ц а 1. Микротвердость HV структурных составляющих в образцах из сплава Мл-10

Содержание Sc, мас. %	Матрица		Эвтектоид	
	До термообработки	После термообработки	До термообработки	После термообработки
—	591,8...733,4	1017,3...1064,0	1821,6...2627,6	1225,5...1354,4
0,02	681,0...858,0	1114,1...1167,8	1891,6...3047,3	1286,6...1469,6
0,05	733,4...824,0	1017,3...1167,8	1891,6...2288,9	1287,5...1504,7
0,07	761,8...894,1	1114,1...1354,4	1781,6...2011,7	1589,5...1891,6
0,10	733,4...898,0	1167,8...1287,5	1781,6...2011,7	1589,5...1891,6

Таблица 2. Микротвердость *HV* структурных составляющих в образцах из сплава Мл-10 после испытаний на длительную прочность ($\sigma_B = 80$ МПа) при разной температуре испытаний, °С

Содержание Sc, мас. %	Матрица			Эвтектоид		
	150	250	270	150	250	270
—	824,0...894,1	824,0...920,0	804,1...824,4	1026,0...1114,1	1114,5...1180,7	715,5...814,7
0,02	894,1...1064,0	894,1...1017,3	824,0...844,0	1114,1...1167,8	1167,8...1225,5	733,4...857,3
0,05	894,1...1017,3	894,1...1017,3	733,4...857,3	1114,1...1167,8	1167,8...1225,5	824,0...949,0
0,07	894,1...973,5	1064,0...1114,1	894,1...914,1	1114,1...1167,8	1167,8...1225,5	973,5...1167,8
0,10	894,1...973,5	1064,0...1114,1	894,1...914,1	1114,1...1167,8	1167,8...1225,5	973,5...1167,8

Таблица 3. Влияние скандия на механические свойства и длительную прочность (σ_B , средние значения) сплава Мл-10

Содержание Sc, мас. %	σ_B , МПа	δ , %	Температура испытаний $T_{исп}$, °С при нагрузке $\sigma_B = 80$ МПа		
			150/250	250	270
—	235,0	3,6	1251,5/26,25	47,50	9,00
0,02	253,0	4,6	1252/56,00	53,16	11,16
0,05	245,0	6,3	1252/48,75	71,50	16,00
0,07	240,0	4,0	1252,5/64,00	61,80	12,60
0,10	232,0	3,5	1252,5/48,00	36,50	13,60
ГОСТ 2856–79	$\geq 226,0$	$\geq 3,0$	—	—	—

Примечание. Испытание образцов на длительную прочность проводили ступенчато — при 150 °С (числитель), а затем при 250 °С (знаменатель).

таблицы видно, что повышение концентрации скандия в сплаве приводит к увеличению микротвердости структурных составляющих как до, так и после термообработки.

С повышением температуры испытаний от 150 до 250 °С микротвердость матрицы и эвтектоида увеличивалась, а при содержании скандия в сплаве до 0,05 мас. % возросла микротвердость всех фаз. Повышение температуры испытаний исследуемых сплавов до 270 °С привело к некоторому снижению микротвердости фаз, однако положительное влияние скандия в сплаве на повышение микротвердости металла сохранилось (табл. 2).

Таким образом, добавка в сплав Мл-10 до 0,07 мас. % Sc способствовала некоторому повышению его механических и жаропрочных свойств (табл. 3). Дальнейшее увеличение содержания скандия привело к снижению физико-механических характеристик материала.

С повышением температуры испытания до 270 °С время до разрушения

Таблица 4. Влияние скандия на размер *d* структурных составляющих, микротвердость *HV* и механические свойства сварных образцов из сплава Мл-10

Содержание Sc, мас. %	<i>d</i> , мкм		<i>HV</i>	Механические свойства	
	матрица	эвтектоид		σ_B , МПа	δ , %
—	$\frac{40...100}{18...50}$	$\frac{30...50}{20...40}$	$\frac{910,0}{930,0}$	226...230	3,0...3,6
0,05...0,06	$\frac{30...100}{15...35}$	$\frac{20...50}{15...30}$	$\frac{905,8}{980,4}$	241...245	4,4...5,6

Примечание. В числителе приведены данные об основном металле, в знаменателе — о металле сварного шва.

сократилось приблизительно в 6 раз. Уменьшение жаропрочности исследуемых сплавов при такой температуре обусловлено огрублением структуры металла вследствие выделения интерметаллидов по границам зерен.

Таким образом, модифицирование магниевого сплава Мл-10 скандием способствует получению

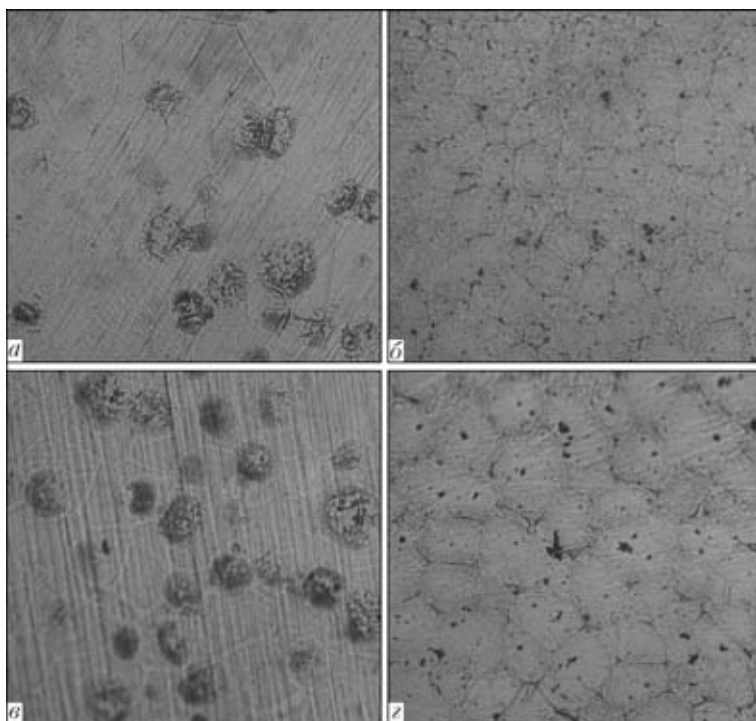


Рис. 6. Микроструктура ($\times 500$) основного металла (а, б) и металла сварного шва (в, г), полученного без присадки скандия (а, б) и со скандием (в, г)



мелкодисперсной однородной структуры. При содержании скандия в металле 0,05...0,07 % обеспечиваются лучшие показатели механических свойств и жаропрочности сплава.

Для изучения свариваемости металла после термообработки пластины размером 200×100×10 мм из сплава Мл-10 сваривали присадочным материалом в виде литых образцов размером 8×200 мм из этого же сплава с 0,06...0,07 мас. % Sc и без скандия, затем изготавливали пропорциональные цилиндрические образцы диаметром 5 мм (ГОСТ 6996–66). Аргондуговую сварку выполняли с использованием вольфрамового электрода и опытных присадочных образцов с применением сварочного трансформатора ТД-500, осциллятора ОСПП-3 и балластного реостата РБ-35. Качества сварного шва проверяли методом рентгеновского контроля.

Структура основного металла имела вид, характерный для сплава Мл-10 в термообработанном состоянии, металл сварного шва состоял из δ-твердого раствора и фазы $(\text{MgZr})_{12}\text{Nd}$, расположенной по границам зерен в виде светлосерых пленочных выделений (рис. 6).

Размер структурных составляющих в металле сварного шва значительно меньше, чем в основном металле (табл. 4), а микротвердость металла сварного шва несколько выше, чем основного металла.

Механические свойства образцов из сплава Мл-10, содержащего скандий, выше, чем без скан-

дия. Разрушение сварных образцов при испытаниях проходило не по сварному шву, а по основному металлу или околошовной зоне.

Практическое опробование присадочного материала сплава Мл-10 со скандием при заварке корпусов авиадвигателей дало положительный результат. Рентгеновский контроль не выявил дефектов в заваренных зонах. По уровню механических свойств материал сварного шва удовлетворял требованиям нормативных документов.

Таким образом, можно сделать вывод, что при содержании скандия в сплаве Мл-10 0,05...0,07 мас. % обеспечивается повышение механических свойств и жаропрочности последнего. Заварка скандийсодержащим присадочным материалом поверхностных дефектов деталей из сплава Мл-10 позволяет получить плотную и однородную зону сплавления за счет образования мелкозернистой структуры металла сварного шва и его повышенных механических свойств.

1. *Сварка в самолетостроении* / Г. А. Кривов, В. Р. Рябов, А. Я. Ищенко и др. — Киев: МИИВЦ, 1998. — 695 с.
2. *Магниево-алюминиевые сплавы: Справ.* / М. Б. Альтман, А. Ф. Белов, В. И. Добаткин и др. — В 2 ч. — М.: Металлургия, 1978. — Ч. 2. — 294 с.
3. *Ищенко А. Я., Лабур Т. М.* Свариваемые алюминиевые сплавы со скандием. — Киев: КВИЦ, 1999. — 111 с.
4. *Механические и специальные свойства жаростойкого магниевого сплава Мл-10 со скандием* / В. А. Шаломеев, Э. И. Цивирко, Н. А. Лисенко и др. // Вест. двигателестроения. — 2007. — № 2. — С. 172–176.
5. *Пат. 25055 Украина.* Литейный сплав на основе магния / В. А. Шаломеев, Э. И. Цивирко, П. Д. Жеманюк и др. — Оpubл. 25.07.2007.

The effect of scandium content in filler alloy Мl-10 on the quality of metal of welding-repaired defective regions in cast magnesium parts has been studied. It is noted that scandium exerts a modifying effect on mechanical properties and heat resistance of the alloy. Utilisation of the scandium-containing filler metal for welding repair of parts of alloy Мl-10 leads to a substantial increase in the level of mechanical properties of weld metal.

Поступила в редакцию 03.10.2008

УДК 621.791:669

РАЗВИТИЕ СВАРКИ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ (Обзор)

А. П. ЛИТВИНОВ, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрена история возникновения и развитие дуговой сварки в инертных газах. Ее появление основано на опыте применения атомно-водородной сварки и сварки под флюсом. Первые способы сварки ТИГ и МИГ созданы в начале 1940-х годов и были применены при изготовлении алюминиевых конструкций. В последующие годы были разработаны методы управления переносом металла в сварочную ванну, созданы различные технологии сварки цветных металлов и сплавов.

Ключевые слова: сварочное производство, дуговая сварка, сварка в инертных газах, импульсно-дуговая сварка, специальная сталь, алюминиевый сплав, титановый сплав, сварка ТИГ, сварка МИГ, авиаракетостроение, история техники

В настоящее время дуговая сварка в инертных газах является одним из самых распространенных способов соединения металлов и сплавов и применяется в производстве ответственных инженерных конструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Научные исследования, технология, промышленное применение и оборудование описаны в десятках монографий, в том числе в работах, обобщающих многолетние результаты внедрения в ведущие отрасли промышленности [1–6]. Однако до сегодня не определены истоки создания этого процесса, не указаны авторы первых изобретений, разработка которых привела к современным процессам ТИГ и МИГ, не проанализированы этапы развития данного способа.

Целью настоящей работы является исследование зарождения и эволюции основных способов сварки неплавящимся и плавящимся электродом в инертных газах.

1960–1970-е годы, характеризующиеся созданием основ атомной энергетики, ракетно-космической техники, успехами химического производства, сверхзвуковой авиации, вызвали потребность в разработке новых конструкционных материалов для изделий, эксплуатируемых в экстремальных условиях: сверхвысоких и сверхнизких температурах, высоких механических нагрузках, агрессивной среде и радиоактивном облучении. Это в свою очередь потребовало создания технологии надежного соединения новейших жаропрочных и криогенных сплавов на основе железа, алюминия, титана, циркония, тантала, ниобия, ванадия, гафния и др. Решение этой задачи предполагало использование для защиты зоны

сварки инертные газы (аргон, гелий, неон, криптон, ксенон и радон), которые практически не вступают в реакцию с металлами независимо от температуры последних, не растворимы в большинстве металлов.

Использовать для защиты зоны сварки инертный газ предлагали еще в начале XX в. В частности, в 1918 г. на такую идею был выдан патент США № 1589017 Дж. Линкольну. В 1919 г. Г. Хобарт из фирмы «Дженерал электрик» предложил применить в качестве защитного газа гелий [7], в 1926 г. патенты на способы «Гелиарк» и «Аргонарк» были выданы Ф. К. Дьюерсу [8], однако достичь удовлетворительного качества металла шва не удалось. В то же время в фирме «Дженерал электрик» И. Ленгмюром была создана атомно-водородная сварка и П. Александер продолжал ее совершенствовать, используя горючие и активные газы [7, 9]. Развитие авиации начало предъявлять все более высокие требования к качеству сварных соединений. Возникла острая необходимость в реализации идей защиты инертными газами. Вскоре удовлетворительную горелку для ручной сварки сконструировали Г. Хобарт и П. К. Деверс [10]. В середине 1930-х годов к совершенствованию технологии сварки вольфрамовым электродом в аргоне (ТИГ) приступила фирма «Бернард велдинг эквипмент» [11]. В 1935 г. П. Александер в лабораторных условиях добился хорошей защиты сварочной ванны инертным газом [12, 13]. В Германии, как и в ряде других стран, где широко применяли атомно-водородную сварку, были попытки при той же схеме сварки заменить водород на гелий (1938 г.) и аргон (1941 г.), однако была ли создана приемлемая для практики технология, неизвестно [14].

Специалисты фирмы «Доу кемикел К^о» (США) пытались решить проблему сварки алюминиевых и магниевых сплавов, применив дуговую сварку плавящимся электродом в аргоне (МИГ), но исключить прожоги не удалось. В конце 1941 г.



Р. Мередит (фирма «Нортрон эйркрафт») разработал технологию сварки ТИГ в аргоне на постоянном токе обратной полярности, а затем и переменным током от трансформатора промышленной частоты с высокочастотной приставкой (патент США № 2274631 от 24.02.1942 г.). В 1942 г. Т. Р. Пайпер, В. Х. Павлек и Р. Мередит («Нортрон эйркрафт») разработали технологию сварки вольфрамовым электродом в гелии [15]. В начале 1940-х годов сваркой в инертных газах заинтересовались и в Великобритании (В. С. Деверс, Дж. Р. Хэндфорт) [16]. Первым результатом работы Британской сварочной исследовательской ассоциации было внедрение сварки МИГ при строительстве алюминиевого парохода «Квин Элизабет» под руководством П. Т. Хоулдрокфта [17].

В 1948 г. в СССР в Научно-исследовательском институте авиационных технологий (НИАТ) А. Я. Бродский, А. В. Петров и другие разработали процессы сварки ТИГ и МИГ. С целью снижения стоимости технологий были проведены эксперименты по сварке алюминиевых и магниевых сплавов в техническом аргоне и нержавеющей и жаропрочных сталей в аргоно-азотной смеси [18, 19]. Однако к началу 1950-х годов технология сварки в инертных газах изделий из алюминиевых сплавов толщиной более 10 мм достаточного качества не обеспечивала. Более эффективным оказался способ автоматической дуговой сварки по флюсу, разработанный в 1951 г. в ИЭС им. Е. О. Патона (Д. М. Рабкин) [20]. В США прошла дискуссия о возможности широкого применения сварки ТИГ, отмечалось отсутствие разбрызгивания, отказ от активных фтор- и хлорсодержащих флюсов, доступность для обозрения зоны плавления [21]. К концу 1950-х годов сварку ТИГ уже применяли в СССР, США и ряде других стран при изготовлении конструкций из высоколегированных сталей, инконеля, монеля, меди, алюминия и их сплавов [1–3, 22].

Проблема разбрызгивания возникла при замене неплавящегося вольфрамового электрода на плавящийся. Удовлетворительная технология сварки плавящимся электродом в инертном газе — сварка МИГ была разработана в фирме «Эйр редакшн», Нью-Джерси (патент США № 2504688 от 06.04.1950 г.). Была разработана также технология сварки плавящимся электродом соединений небольшой толщины [23]. В 1950-х годах развернулись исследования, направленные на решение проблем разбрызгивания при плавлении электродной проволоки. Была установлена зависимость видов плавления и переноса электродного металла от параметров режима сварки: «струйный» и «переходный, критический» и «крупнокапельный». При сравнительно высокой плотности тока струйный перенос отличается достаточной стабиль-

ностью, однако при этом сварку металла малых толщин трудно выполнить без прожогов. При снижении тока ниже критического возникал крупнокапельный перенос, сопровождавшийся разбрызгиванием [24]. Решались также задачи управления плавлением основного металла и формирования качества шва, расширения диапазона свариваемых материалов и толщин, а также способов соединений [25–27]. В конце 1950-х годов в ИЭС им. Е. О. Патона была реализована идея управления плавлением и уменьшения разбрызгивания электродного металла при питании процесса высокоамперными импульсами сварочного тока, использован опыт исследований импульсного зажигания дуги, накопленный Б. Е. Патоном при совершенствовании сварочных трансформаторов и создании устройств модулирования тока [28].

Возможность управления плавлением и переносом электродного металла, а также другими характеристиками достигнута регулированием процесса параметров импульсов тока или изменением мгновенной мощности. В НИАТ в 1960 г. А. В. Петровым и Г. А. Славиним для выполнения импульсно-дуговой сварки были разработаны приставки к стандартным источникам питания и специальные источники, обеспечивающие стабильное течение процесса, при котором в промежутках между импульсами поддерживается дежурная маломощная дуга (А. с. 663956 СССР).

Темпы развития дуговой сварки в инертных газах в течение 1960-х годов были выше темпов развития других способов соединения. Велся интенсивный поиск технологий изготовления сложных инженерных конструкций из новых сплавов, повышения производительности процессов, коэффициента плавления, расширения диапазона свариваемых толщин. К середине десятилетия промышленность получила технологию сварки цветных металлов и нержавеющей сталей толщиной от менее 1 мм до десятков миллиметров; механизированную сварку в различных пространственных положениях. Были разработаны приставки к стандартным источникам питания и специальные источники, обеспечивающие стабильное течение процесса, при котором в промежутках между импульсами поддерживается дежурная дуга. Были созданы источники питания и технология сварки переменным током с наложением импульсов или группы импульсов различных параметров; регулированием параметров импульсов тока, напряжения или изменения мгновенной мощности по определенной программе или с автокоррекцией (Б. Е. Патон, А. Г. Потапьевский, П. П. Шейко, А. А. Алов, А. В. Петров, Г. А. Славин и др.) [29–34]. Аналогичные процессы были разработаны и в США, Великобритании, Японии, Германии, Италии и ряде других стран [35–37]. Для управ-



ления переносом электродного металла и стабилизации процесса сварки МИГ применили высокую частоту модуляции тока (более 25 с^{-1}). Инфранизкая частота модуляции (до 2 с^{-1}) в сочетании с вариацией амплитудного значения тока и формы импульсов тока позволила в более широких пределах управлять проплавляющей способностью дуги, термическим циклом сварки и формированием шва [38, 39].

Для увеличения тепловложения и повышения производительности сварки МИГ сразу несколькими исследователями была предложена технология сварки «разогретой проволокой» — за счет тепла тока, проходящего через электродную проволоку от отдельного источника или за счет сварочного тока при значительном удалении токоподвода от конца электрода. При дальнейшем развитии этого приема (поступление в зону сварки дополнительного тепла) в 1970-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона К. А. Ющенко исследована свариваемость и разработаны технологии автоматической сварки высокопрочной хладостойкой стали: МИГ с подогретым электродом и ТИГ с присадкой; были выполнены кольцевые и продольные швы, равнопрочные основному металлу [40]. Способ сварки ТИГ обеспечивал более стабильные параметры соединения, точное поддержание глубины проплавления, возможность сварки заготовок различной толщины, а сварка МИГ характеризовалась более высокими рабочими скоростями.

Усовершенствование технологий управления плавлением электродных материалов и ванны продолжались и в последующие годы. Разработаны также процессы сварки ТИГ с использованием импульсного тока. Так, например, предложено уменьшать отношение тока в импульсе к току в паузе по мере повышения теплопроводности металла [41]. В ИЭС им. Е. О. Патона была разработана технология улучшения формирования, структуры и прочностных свойств сварного соединения путем применения двусторонней сварки и поперечного колебания неплавящегося электрода [42, 43]. Поперечные колебания дуги позволили уменьшить дендритную неоднородность металла шва и зону термического влияния. В 1959 г. в ЦНИИТмаш была предложена сварка автоопрессовкой, при которой после выполнения стыкового шва неплавящимся электродом без присадки шов усиливают многократным прогревом стыка такой же дугой, но при меньшей погонной энергии.

Несмотря на то что сварку в инертных газах оценили прежде всего за упрощение проблем с металлургическими процессами, неизбежными при сварке под флюсами и в активных газах, одним из направлений исследований стал поиск методов металлургического воздействия на ванну. Сформировалось три направления: введение в зо-

ну сварки активных газов; применение флюсов и паст; применение присадочных и электродных проволок с дополнительными составами. Одновременно эти же технологические приемы использовали и для управления физическими процессами в зоне сварки — плавлением электрода и формированием ванны. При сварке МИГ добавление в аргон кислорода и углекислого газа при сварке углеродистых и некоторых легированных сталей повышает плотность металла шва. А. В. Петровым (НИАТ) разработана система двухструйной защиты при сварке ТИГ: аргон подается через внутреннее сопло и омывает вольфрамовый электрод, углекислый газ — через наружное сопло. Для сварки изделий из высокоактивных металлов толщиной менее 1 мм в НИАТ была разработана смесь аргона с 5...10 % водорода, что позволило воздействовать на ход металлургических процессов [2, 34]. Разработаны технологии сварки стальных конструкций в смеси аргона с 1...2 % кислорода при струйном переносе электродного металла. Корпорация «Юнион карбайд» установила возможность применять при сварке стали смесь из 75 % аргона и 25 % оксида углерода. Для сварки алюминиевых сплавов предложена смесь Ar(He) с «легирующим газом» NO , O_2 или CO_2 [44]. Для управления металлургическими процессами было предложено введение в зону плавления небольшого количества многокомпонентных добавок легкоионизируемых и поверхностно-активных веществ, в частности, в каналах металлической проволоки [45].

В 1960-х годах сварка в инертных газах развивалась еще в одном направлении — повышение проплавляющей способности процесса. Были предложены способы, основанные на сокращении размеров активного пятна на поверхности изделия при действии деионизирующих веществ; сжатии столба дуги (плазменно-дуговая сварка); приближении электрода к поверхности или погружении его в сварочную ванну (сварка погруженной дугой) и повышении концентрации энергии дуги при увеличении внешнего давления.

В 1960 г. О. А. Маслюков, А. Н. Тимошенко (НИАТ) установили, что при сварке МИГ титана под бескислородными фторидно-хлоридными флюсами повышается плотность шва (А. с. 183303, 183305 СССР). Значительный объем приоритетных исследований был выполнен в ИЭС им. Е. О. Патона. Установлено, что при аргонодуговой сварке рафинированной высокопрочной стали, выплавленной способами спецэлектрметаллургии, наблюдается увеличение радиуса анодного пятна [46]. Для сжатия анодного пятна и повышения плотности тока предложено вводить в защитный газ кислород, который служит поверхностно-активным компонентом, способствует увеличению жидкотекучести ванны и уменьше-



нию критического тока мелкокапельного переноса, улучшению формирования шва [32]. В ИЭС им. Е. О. Патона был разработан процесс сварки ТИГ по слою бескислородных флюсов и паст с галоидными солями щелочных металлов, которые уменьшают размер активного пятна [47]. Увеличение плотности тока в анодном пятне объяснялось снижением проводимости периферийной области дуги парами фторидов, уменьшением размеров катодной области, а также увеличением скорости плазменных потоков в дуге и давлением дуги на анод, в результате чего концентрируется тепловой поток, погонная энергия снижается [47–51]. Эти особенности процесса были использованы при сварке конструкций из молибдена, ниобия, специальных легированных сталей в ракетостроении, атомной энергетике и др. Сварка, получившая название А-ТИГ, признана одной из самых перспективных и находит применение в странах Европы, Азии, Америки [52–55].

Способ сварки вольфрамовым электродом со сжатием столба дуги в канале сопла малого диаметра, предложенный в 1957 г. Р. Гейджем, получил название плазменной сварки [56]. Управление тепловым и динамическим напором плазменно-газового потока позволило расширить диапазон свариваемых толщин, в том числе и в сторону уменьшения до долей миллиметра (микроплазменная сварка) [57, 58]. На основе этой идеи в начале 1960-х годов НИАТ, ИЭС им. Е. О. Патона и другими организациями был разработан ряд приемов увеличения производительности сварки вольфрамовым электродом. Этот способ сварки ТИГ оказался наиболее перспективным для изготовления алюминиевых конструкций ответственного назначения, применяется при различных импульсах сварочного тока и способах подачи присадочной проволоки [59].

Для соединения титановых сплавов большой толщины эффективной оказалась сварка погруженной дугой, при которой конец вольфрамового электрода находится ниже поверхности свариваемых деталей, дуговой промежуток сводится к минимуму [60, 61]. Повысить коэффициент наплавки и расширить диапазон регулирования глубины проплавления основного металла удалось при сварке ТИГ двумя электродами, расположенными в плоскости, перпендикулярной оси шва. С помощью необходимых присадочных материалов (проволоки и др.) этот процесс дает возможность получить состав шва, отличающийся от основного металла, что особенно необходимо для наплавки [62].

Значительный эффект удалось достичь, когда в качестве защитного газа при сварке ТИГ алюминиевых сплавов на прямой полярности применили гелий. При этом способе расстояние между поверхностью изделия и электродом около 1 мм и дуга фактически полностью погружена. Пос-

кольку дуга в гелии выделяет в 1,5...2 раза больше энергии, чем в аргоне, удалось получить более глубокое проплавление при меньшем разогреве основного металла, повысить скорость сварки и уменьшить зону термического влияния. Несмотря на сравнительно высокую стоимость гелия и сложность выполнения (заточка конца электрода на острый угол и длина дуги в пределах 1...2 мм) процесс нашел применение при сварке изделий из термически упрочненных алюминиевых сплавов в авиа-, ракето- и судостроении [63, 64]. В некоторой степени эффективность сварки ТИГ сохраняется достаточной высокой при использовании смеси аргона (35...40 %) и гелия.

В конце XX — начале XXI веков сварка в инертных газах продолжает развиваться. Так, в этот период усилия направлены на создание технологий, обеспечивающих повышение производительности процесса, получение высокого качества соединений новых сплавов, расширения диапазона изготавливаемых конструкций и др. Кроме того, получают развитие работы по оценке электромагнитного воздействия на электрод и ванну, совмещения источников нагрева (комбинированные и гибридные способы). Дуговая сварка в среде защитных газов приобретает имидж процесса, характеризующегося широкими возможностями автоматизации и роботизации процессов изготовления изделий различного назначения, выполнения швов различной геометрии во всех пространственных положениях.

Выводы

1. Способы дуговой сварки в инертных газах начали развиваться в 1940-х годах, что обусловлено возникшими потребностями изготовления высококачественных ответственных конструкций из цветных металлов, специальных сталей. В США, Великобритании и СССР развернулась разработка дуговой сварки в инертных газах неплавящимся (ТИГ) и плавящимся электродом (МИГ).

2. Научно-технической основой для создания нового способа сварки стал опыт работы с атомно-водородной сваркой, управления процессами плавления электрода при дуговой сварке под флюсом. Импульсно-дуговые процессы обеспечили высокое качество наплавленного металла.

3. Сварка в инертных газах и смесях развивалась по пути совершенствования управлением переносом электродного металла и формирования шва, расширения диапазона свариваемых сплавов и изделий, снижения энергоемкости.

1. Бродский А. Я. Аргондуговая сварка вольфрамовым электродом. — М.: Машгиз, 1956. — 398 с.
2. Петров А. В. Технология дуговой сварки в среде инертных газов: Справочник по сварке / Под ред. Е. В. Соколова. — М.: Машгиз, 1961. — Т.2. — С. 372–375, 418–453.

3. Руссо В. Л. Сварка алюминиевых сплавов в среде инертных газов. — Л.: Судпромгиз, 1962. — 163 с.
4. Металловедение алюминиевых сплавов / Под ред. С. Т. Кишкина. — М.: Наука, 1985. — 239 с.
5. Актуальные проблемы сварки цветных металлов: Сб. докл. 11 Всесоюз. конф. — Киев: Наук. думка, 1985. — 464 с.
6. Welson R. A. Vapor-shielded arc welding at 200 imp // Welding J. — 1961. — № 1. — P. 13.
7. Langmuir I. The pressure effect in gaseous discharge // J. Franklin institute. — 1923. — № 11. — P. 751–762.
8. An industry in retrospect 50 year progress // Welding J. — 1969. — № 4. — P. 165–169.
9. Alexander P. P. Stability of the welding arc // J. AIEE. — 1928. — № 3. — P. 48–53.
10. Campbell W. J. The selection of welding processes // Welding J. — 1946. — № 8. — P. 704–706.
11. Bernard A. Living pioneers // Ibid. — 1966. — № 12. — P. 62–63.
12. Alexander P. P. Welding high carbon steel // J. AWS. — 1932. — № 2. — P. 8.
13. West E. G. Aluminium welding in this century // The centenary of modern welding, 1885–1985. — London: Welding Inst., 1985. — P. 1–18.
14. Mair H. Entwicklung und bedeutung technischer gase in der schweißtechnik // 100 jahre DVS. — Berlin, 1997. — S. 127–135.
15. Piper T. R. Heliarc welding // Welding J. — 1942. — № 11. — P. 770–772.
16. Shanley F. R., Fallon C. T. Discussions on «The heliarc welding process as applied in the aircraft industry» // Ibid. — 1946. — № 1. — P. 32.
17. Houldcroft P. T. The assembly of the aluminium alloy superstructure of them.I. «Queen Elizabeth» // Weld. and Metal Fabr. — 1952. — № 6. — P. 228–229.
18. Маслов Г. А. К итогам совещания по сварочным работам в авиационной промышленности // Автоген. дело. — 1948. — № 2. — С. 32–33.
19. Бродский А. Я. Аргонодуговая сварка металлов малых толщин // Там же. — 1948. — № 10. — С. 11–17.
20. Рабкин Д. М. Новый способ автоматической сварки алюминия // Автомат. сварка. — 1953. — № 4. — С. 45–50.
21. Berryman J. For inert gas shielding argon or helium ? // Iron Age. — 1950. — № 3. — P. 155–157.
22. Рабкин Д. М., Гуревич С. М., Бугрий Ф. С. Сварка цветных металлов. — Киев: Машгиз, 1959. — 72 с.
23. Diebold J. M. Fusion welding of sheet metal // Welding J. — 1946. — № 8. — P. 724–732.
24. Needham J. C., Cooksey S. J., Milner P. R. Metal transfer in inert gas-shielded arc welding // British Welding J. — 1960. — 7, № 2. — P. 101–104.
25. Петров А. В. Дуговая сварка нержавеющей сталей плавящимся электродом в среде инертных газов // Вест. машиностроения. — 1954. — № 9. — С. 68–70.
26. Петров А. В. Плавление электродной проволоки при аргонодуговой сварке // Сварочн. пр-во. — 1955. — № 2. — С. 4–7.
27. Дятлов В. И. Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке // Новые проблемы сварочной техники. — Киев: Техніка, 1964. — С. 167–182.
28. Патон Б. Е., Завадский В. А. Импульсное зажигание дуги с целью значительного снижения напряжения сварочного трансформатора // Автомат. сварка. — 1954. — № 4. — С. 46–62.
29. Патон Б. Е. Дальнейшее развитие систем автоматического управления и регулирования сварочных процессов // Там же. — 1963. — № 5. — С. 1–6.
30. Патон Б. Е., Потаньевский А. Г., Подола Н. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса // Там же. — 1964. — № 1. — С. 1–6.
31. Патон Б. Е., Шейко П. П. Управление переносом при дуговой сварке плавящимся электродом // Там же. — 1965. — № 5. — С. 1–7.
32. Гуревич С. М., Замков В. Н., Кушиниренко Н. А. Повышение эффективности проплавления титановых сплавов при аргоно-дуговой сварке // Там же. — 1965. — № 9. — С. 1–4.
33. Алов А. А., Шмаков В. М. Аргоно-дуговая сварка с дополнительным потоком аргона // Свароч. пр-во. — 1962. — № 3. — С. 13–16.
34. Петров А. В., Славин Г. А. Исследование технологических возможностей импульсной дуги // Там же. — 1966. — № 2. — С. 1–4.
35. Terry C. A., Tyler W. T. Inert-gas tungsten-arc welding // Weld. and Metal Fabr. — 1958. — № 2. — P. 58–61.
36. Needham J. C., Carter A. W. Material transfer characteristic with pulsed current // Welding J. — 1965. — № 5. — P. 229.
37. Trindade E. M., Allum C. J. Characteristics in steady and pulsed current GMAW // Weld. and Metal Fabr. — 1984. — № 9. — P. 264–272.
38. Шигаев Т. Г. Приемы модулирования сварочного тока и устройства для их осуществления // Автомат. сварка. — 1983. — № 8. — С. 51–55.
39. Wilson J. L., Claussen G. E., Jackson C. E. The effect of I^2R heating on electrode melting rate // Welding J. — 1956. — № 1. — P. 1–8.
40. Ющенко К. А., Пустовит А. И. Сварка высокопрочной хладостойкой стали 03Х12Н10МТ // Автомат. сварка. — 1979. — № 1. — С. 55–56.
41. Survey on the application of pulsed currents with the TIG process // Weld. World. — 1980. — № 3/4. — P. 61–66.
42. Мандельберг С. Л., Гордонный В. Г. Односторонняя двухслойная аргонодуговая сварка тонколистовой легированной стали // Автомат. сварка. — 1961. — № 9. — С. 18–23.
43. Макара А. М., Кушиниренко Б. Н. Поперечные перемещения дуги как фактор улучшения структуры сварных соединений // Там же. — 1967. — № 1. — С. 31–35.
44. Iversen K., Schellong B. Vielfach die bessere Loesung Wolfram-inertgasschweißen von aluminium mit wechselnder Polung // Praktiker. — 1983. — № 9. — S. 400, 402.
45. Патон Б. Е., Воронай Н. М. Сварка активированным плавящимся электродом в защитном газе // Автомат. сварка. — 1979. — № 1. — С. 1–7, 13.
46. Макара А. М., Мосендз Н. А. Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техніка, 1971. — 140 с.
47. Савицкий М. М., Лесков Г. И. Механизм влияния электроотрицательных элементов на проплавляющую способность дуги с вольфрамовым электродом // Там же. — 1980. — № 9. — С. 17–22.
48. Симоник А. Г., Петвиашвили В. И., Иванов А. А. Эффект контракции дугового разряда при введении электроотрицательных элементов // Свароч. пр-во. — 1976. — № 3. — С. 49–51.
49. Влияние активирующих флюсов на проплавляющую способность сварочной дуги и концентрацию энергии в анодном пятне / О. Е. Островский, В. Н. Крюковский, Б. Б. Бук и др. // Там же. — 1977. — № 3. — С. 3–4.
50. Контракция дуги флюсом при сварке вольфрамовым электродом в аргоне / Б. Е. Патон, В. Н. Замков, В. Л. Прилуцкий и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 1. — С. 1–8.
51. Ющенко К. А., Коваленко Д. В., Коваленко И. В. Применение активаторов при дуговой сварке вольфрамовым электродом в инертных газах сталей и сплавов // Там же. — 2001. — № 7. — С. 37–43.
52. Lucas W. Activating flux — improving the performance of the TIG process // Weld. and Metal Fabr. — 2000. — № 2. — P. 7–10.
53. Gordon J. R. Perspectives on welding research and development in the USA // Weld. Review International. — 1995. — № 8. — P. 95–106.
54. Технологии сварки и соединений в XXI веке // Jap. Weld. Soc. — 2001. — 70, № 3. — P. 6–18.



55. Замков В. Н., Прилуцкий В. П. Теория и практика TIG-F сварки (А-TIG) (Обзор) // Автомат. сварка. — 2004. — № 9. — С. 12–15.
56. Gage R. M. The plasma-arc torch: A new research tool // Electric Manufacture. — 1960. — № 1. — P. 144–146.
57. Дудко Д. А., Лакиза С. П. О новых возможностях сварки высокотемпературной дугой, сжатой газовым потоком // Автомат. сварка. — 1960. — № 11. — С. 38–46.
58. Микроплазменная сварка / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1979. — 245 с.
59. Дудко Д. А., Корниенко А. Н. Сварка алюминивно-магниевых сплавов плазменной дугой переменного тока // Резка, наплавка и сварка сжатой дугой. — М.: ЦИИТИ-Нефтехиммаш, 1968. — С. 87–91.
60. Долотов Б. И. Сварка погруженным вольфрамовым электродом // Машиностроение. — 2004. — № 1. — С. 20–24.
61. Блащук В. Е., Боева Г. Е., Лангер Н. А. Применение аргонодуговой сварки с электромагнитным перемешиванием при изготовлении химической аппаратуры из титановых сплавов // Актуальные проблемы сварки цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1985. — С. 179–181.
62. Замков В. Н., Топольский В. Ф., Кушнirenко Н. А. Двухдуговая сварка толстолистового титана вольфрамовыми электродами // Автомат. сварка. — 1978. — № 2. — С. 44–47.
63. Сварка алюминиевых сплавов на постоянном токе прямой полярности / Д. М. Рабкин, О. Н. Иванова, Б. А. Стебловский, В. П. Будник // Там же. — 1971. — № 3. — С. 71–72.
64. Будник В. П., Стебловский Б. А., Бузько М. Г. Проплавляющая способность дуги постоянного и переменного тока // Там же. — 1982. — № 8. — С. 68–71.

The history of origination and development of inert-gas arc welding was considered. Its appearance was based on the experience of application of atomic-hydrogen welding and submerged arc welding. The first TIG and MIG welding methods were developed at the beginning of the 1940s, and were applied to fabricate aluminium structures. Later, the methods for controlling metal transfer into the weld pool were developed, and different technologies for welding non-ferrous metals and alloys were elaborated.

Поступила в редакцию 12.06.2008



VII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ»

21–22 мая 2009

г. Юрга Кемеровская обл.

Организаторы конференции

Томский политехнический университет
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
Департамент образования и науки Кемеровской области
Администрация города Юрги
ООО «Юргинский машиностроительный завод»

Секции и научные направления конференции

- Инновационные технологии получения неразъемных соединений в машиностроении
- Инновационные технологии получения и обработки материалов в машиностроении
- Автоматизация, информатизация, экономика и менеджмент на предприятии
- Защита окружающей среды, безопасность и сохранность здоровья на предприятиях
- Передовые технологии и техника для разработки недр и землепользования

Организационный комитет

Адрес: ЮТИ ТПУ, 652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26

Тел.: (8-384-51) 6-53-95. Факс: (8-384-51) 6-53-95

e-mail: www.uti.tpu, utiscience@rambler.ru



ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕСТОВИН ИЗ СТАЛИ 110Г13МЛС

Н. А. ОНАЦКАЯ, Л. Ю. ДЕМИДЕНКО, инженеры
(Ин-т импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев)

На примере образцов крестовины стрелочного перевода из аустенитной стали 110Г13МЛС показана возможность упрочнения струйной электрогидроимпульсной обработкой поверхности износостойких сталей. Определено, что повышение в 1,4 раза твердости поверхности стального образца обусловлено развитием в ней микропластической деформации типа скольжения и двойникования. В результате достигается повышение износостойкости поверхности стали.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная обработка, аустенитная высокомарганцовистая сталь, износостойкость, поверхностное упрочнение, генератор высокоскоростных струй, микропластическая деформация, твердость

Известно, что во многих случаях работоспособность деталей оборудования определяется сопротивлением их рабочих поверхностей изнашиванию. Поскольку затраты на ремонт и техническое обслуживание оборудования, связанные с изнашиванием, в несколько раз превышают их первоначальную стоимость [1], повышение износостойкости элементов машин и аппаратов имеет большое значение для увеличения ресурса их работы. Как правило, при эксплуатации разрушение деталей машин, оборудования и элементов конструкций начинается с поверхности. Следовательно, для повышения их долговечности решающее значение приобретает упрочнение поверхностных слоев деталей. Соответственно проблема упрочнения металлических поверхностей весьма актуальна и важна для современного производства.

В инженерной практике применяют различные технологические способы упрочнения поверхности деталей, основу многих из них составляет пластическое или термопластическое деформирование относительно тонких поверхностных объемов изделий при сохранении неизменной сердцевины.

В работе [2] показано, что электрогидроимпульсная обработка (ЭГИО) высокоскоростной струей жидкости, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности сварных образцов из алюминиево-магниевого сплава, позволяет не только снизить растягивающие напряжения в шве, но и сделать их сжимающими, равными по абсолютному значению исходным напряжениям. При этом имеет место повышение твердости металла по оси сварного шва на 23 %. Это дало основание предположить, что такая обработка может быть

использована для упрочнения поверхности металлических изделий, например, из износостойких сталей, работающих на истирание.

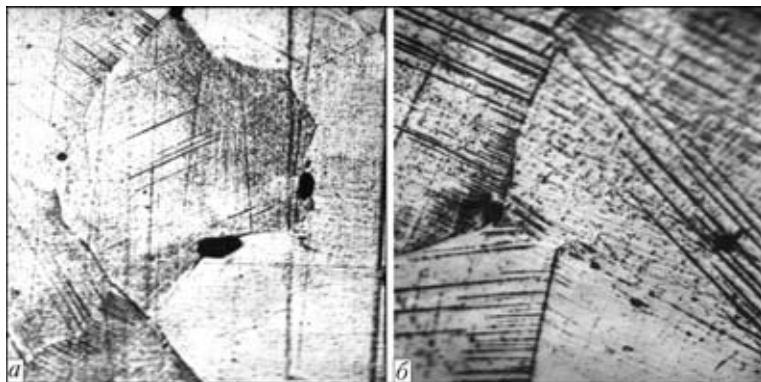
Целью настоящей работы являются исследование возможности использования высокоскоростных струй жидкости, генерируемых высоковольтным разрядом в камере малого объема, для упрочнения поверхности деталей из износостойких сталей. В этом случае энергия электрического разряда аккумулируется в жидкости, получающей ускорение с помощью генератора высокоскоростных струй. При этом она приобретает скорость, сравнимую со скоростью звука в жидкости или превышающую ее. Развиваемое при этом давление торможения струи достигает $1 \cdot 10^9$ Па, т. е. соизмеримо с динамическим пределом текучести большинства современных конструкционных материалов [3].

Для проверки такой возможности выбрана аустенитная марганцовистая сталь 110Г13МЛС, которая широко используется в различных отраслях промышленности, в частности, в горнорудном и обогательном производстве, сельскохозяйственном и транспортном машиностроении [4]. Обычно поверхность изделий из стали 110Г13МЛС упрочняют путем воздействия на нее ударных или больших удельных статических давлений.

В качестве объекта исследования выбрали образцы крестовин стрелочного перевода размером $100 \times 50 \times 20$ мм из указанной стали. Ее механические свойства в исходном состоянии следующие: временное сопротивление $\sigma_B = 800$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 400$ МПа и твердость $HB 2100$ МПа.

Струйную ЭГИО* осуществляли по нормали к поверхности образцов при энергии разряда $W_0 = 20$ кДж. Генерировали струи жидкости в жест-

*Струйную ЭГИО, а также измерение скорости струи выполнил инженер Е. С. Юрченко.



Микроструктура (Х500) стали 110Г13МЛС до обработки (а) и после обработки (б) высокоскоростной струей жидкости

кой камере вместимостью 250 см^3 с коническим насадком (угол при вершине конуса 60°) и выходным отверстием диаметром 8 мм. Воздушный зазор от выходного отверстия камеры до поверхности воды составлял $h = 40 \text{ мм}$, при этом скорость струи, измеренная с помощью высокоскоростной съемки на установке ВФУ-1, достигала 1500 м/с.

По результатам измерений скорости истечения струи жидкости с помощью зависимости, приведенной в работе [2], определили максимальное давление струи на преграду в момент ее торможения. Расчет показал, что в этом случае оно составляло 2180 МПа. Таким образом, при струйной ЭГИО обеспечивается интенсивное воздействие жидкости на материал, при этом ухудшение качества обработанной поверхности не происходит. В результате воздействия струи жидкости зафиксирована осадка поверхности на глубину 0,7 мм.

Результаты измерений твердости обработанной поверхности изделий показали, что ее значение равно $HV 5200 \text{ МПа}$, что соответствует $HB 4700 \text{ МПа}$. Это более чем в 2 раза превышает значение ее твердости до обработки и в 1,4 раза — требуемое для повышения износостойкости [4]. Глубина упрочненного слоя металла обработанной поверхности составила 0,25 мм. Для увеличения глубины упрочненного поверхностного слоя, очевидно, необходимо изменение геометрических размеров струйного генератора либо повышение энергии разряда, поскольку они оказывают основное влияние на скорость истечения жидкости, а следовательно, на давление струи в

момент ее встречи с преградой. Поскольку повышение энергии не всегда целесообразно, требуемая глубина упрочненного поверхностного слоя может быть достигнута за счет увеличения количества импульсов.

Проведенные металлографические исследования показали, что структура поверхностного слоя стали, идентифицированная до обработки как аустенитная с небольшим количеством сфероидизированных карбидов, расположенных по границам аустенитных зерен (рисунок, а), после воздействия струей

жидкости характеризуется появлением микропластической деформации типа скольжения и двойникования (рисунок, б). При этом деформация происходила преимущественно по одной системе скольжения, что является свидетельством наличия упрочнения. Измельчение аустенитных зерен при этом обнаружено не было.

Выводы

1. Показана возможность использования струй жидкости, генерируемых высоковольтным разрядом в камере малого объема для упрочнения металлической поверхности деталей из износостойких сталей.

2. Значение твердости поверхности деталей из высокомарганцевистой стали 110Г13МЛС после воздействия высокоскоростных струй в 1,4 раза превышает требуемое для повышения ее износостойкости.

3. Полученные результаты свидетельствуют о потенциальной возможности использования в промышленности указанного вида обработки для упрочнения поверхности деталей из марганцевистой стали 110Г13МЛС.

1. Проников А. С. Надежность машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 592 с.
2. Мерин Б. В. Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. — Л.: Машиностроение, 1985. — 119 с.
3. Струйная электрогидроимпульсная обработка сварных соединений / В. М. Кудинов, В. Г. Петушков, Е. С. Юрченко и др. // Автомат. сварка. — 1987. — № 8. — С. 73–74.
4. Давыдов Н. Г. Высокомарганцевая сталь. — М.: Металлургия, 1979. — 176 с.

The case of samples of point frogs from austenitic steel 110G13MLS was used to demonstrate the possibility of strengthening the surface of wear-resistant steels by jet electrohydraulic-pulsed treatment. It is determined that the surface hardness of steels after treatment is 1.4 times higher than the required level, which is due to development of microplastic deformation of sliding and twinning type in the metal with improvement of wear resistance.

Поступила в редакцию 08.09.2008



ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



НТУУ «Киевский политехнический институт»

А. И. Бушма (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 12 декабря 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Моделирование процессов взаимодействия лазерного излучения с дисперсными материалами при лазерном и гибридном лазерно-плазменном нанесении покрытий».

Диссертация посвящена исследованию процессов лазерного и гибридного лазерно-плазменного нанесения покрытий, разработке физико-математических моделей лазерного и комбинированного (лазерно-плазменного) нагрева частиц дисперсных материалов и установлению на этой основе новых способов управления тепловыми характеристиками напыляемых частиц. В ней развита теория взаимодействия лазерного излучения с мелкодисперсными частицами применительно к условиям напыления покрытий с использованием лазеров. На основе решения задачи дифракции электромагнитной волны на неоднородно нагретой сферической частице получены формулы для расчета характеристик поглощения и рассеяния лазерного излучения напыляемыми частицами. Показано, что в случае, когда размер частицы соизмерим с длиной волны, имеет место существенная неоднородность пространственного распределения электромагнитной энергии, поглощаемой частицей. Для металлических частиц эта энергия диссипируется в пределах тонкого скин-слоя (источник тепла поверхностный), тогда как в случае керамических частиц — во всем объеме частицы (распределенный источник тепла).

В работе предложена математическая модель лазерного и лазерно-плазменного нагрева частиц дисперсных материалов и показано, что лазерный нагрев керамических частиц характеризуется существенной неоднородностью температурного поля и соответственно оптических свойств матери-

ала частицы. Это приводит к изменению как интегральных характеристик рассеяния и поглощения излучения в процессе нагрева частицы, так и распределенных характеристик тепловыделения в ее объеме, что может сопровождаться тепловым взрывом частицы. Доказана возможность управления температурным полем напыляемых частиц за счет соответствующей комбинации объемного (лазерного) и поверхностного (плазменного) нагрева, что важно при напылении покрытий из материалов с низкой теплопроводностью.

В диссертации представлена разработанная математическая модель процессов движения и нагрева отдельных частиц в условиях лазерного, плазменного и гибридного напыления керамических покрытий. Расчеты температурных полей частиц SiO_2 , напыляемых с использованием струи аргоновой плазмы, пучка излучения CO_2 -лазера и их комбинации, показали существенную зависимость пространственно-временного распределения температуры в частицах от способа напыления. Предложенная модель обобщена на случай учета рассеяния и поглощения лазерного пучка всей совокупностью напыляемых частиц. Показано существенное влияние расхода порошка на распределенные и интегральные характеристики пучка, а также тепловое состояние частиц SiO_2 при напылении с использованием CO_2 -лазера.

Диссертантом предложена конструкция и создан опытный образец интегрированного лазерно-дугового плазмотрона косвенного действия, предназначенного для нанесения покрытий. В основе работы лежит комбинированный лазерно-дуговой разряд, возникающий при соосном объединении сфокусированного пучка излучения CO_2 -лазера и сжатой (плазменной) дуги. Испытания плазмотрона показали высокую стабильность его работы в диапазоне токов дуги 20...200 А и мощности пучка до 4 кВт. Исследования технологических возможностей разработанного плазмотрона свидетельствуют о перспективности его использования для напыления различных порошковых материалов и нанесения алмазных и алмазоподобных покрытий.

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ лазерно-световой сварки стали, при котором на локальную зону обработки материала осуществляют одновременное воздействие импульсным когерентным и полихроматическим излучением. В процессе лазерно-световой сварки стали во время пауз между сварочными импульсами производят дополнительный подогрев зоны стыка сварного соединения до температуры 115...300 °С за счет сканирования лазерным лучом вдоль направления его движения. Лучи полихроматического излучателя пропускают через выходное окно из сапфира. В результате достигается повышение качества сварного соединения и снижение энергозатрат при сварке. Патент РФ 2341361. Г. М. Алексеев, В. К. Сысоев, Ю. Н. Булкин, А. И. Мисюров.

Способ сварки плазменной дугой, согласно которому в зону плазменной дуги непрерывно подают поток плазмообразующей газовой среды, отличающийся тем, что в зону

сварки дополнительно непрерывно подают поток газовой среды для защиты зоны сварки от воздействия внешней среды, причем подачу плазмообразующей и/или защитной газовой среды осуществляют с периодическим изменением расхода плазмообразующей и/или защитной газовой среды, которое осуществляют по закону волны с прямоугольной формой ее периода, при этом при изменении расхода плазмообразующей и/или защитной среды изменяют ее состав. Заявка РФ 2007121870. С. Л. Бычковский, О. М. Новиков, Э. П. Радько, Г. С. Киселев, В. И. Астахин (ФГУП «НПО «Техномаш»).

Способ многодуговой сварки или навлавки в защитных газах, отличающийся тем, что вначале ведут подбор источника для неплавящегося электрода, имеющего внешнюю крутопадающую характеристику с большим напряжением холостого хода, затем для плавящегося электрода, имеющего пологопадающую (жесткую) характеристику с низким напряжением холостого хода, электрически их соединяют так, что фаза напряжения на плавящемся электроде отстает от

* Приведены сведения о заявках и патентах РФ, представленных на сайте <http://www.fips.ru/russite/default.htm>.



фазы напряжения на неплавящемся электроде, подают напряжение на электроды для возбуждения дуг, при взаимодействии которых в общем плавильном пространстве на плавящемся электроде формируются импульсы тока обратной полярности с частотой, равной половине частоты питающей сети, которые и осуществляют расплавление электродного металла и формирование сварного шва. Заявка РФ 2007121992. А. В. Масалков, Ю. А. Степанов, З. М. Морозова, В. В. Григурко, Е. Я. Гутерман, А. С. Тыкало (ПО «Уралвагонзавод» им. Ф. Э. Дзержинского).

Способ получения неразъемного соединения деталей. Изобретение может быть использовано при производстве деталей и конструкций, работающих в циклическом режиме нагружения, в частности тонкостенных сосудов давления. Между параллельно расположенными кромками соединяемых деталей размещают вставку из материала с эффектом памяти формы. Расплавляют вставку и кромки соединяемых деталей и охлаждают сварное соединение. Плавление осуществляют лазерной или электродуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов. Используют вставку в виде проволоки, полосы или пластины. В процессе циклической работы соединения материал вставки восстанавливает деформацию в момент разгрузки, тем самым предотвращая появление пластических деформаций и, как следствие, возникновение и рост микротрещин. Патент РФ 2342232. Ж. М. Бледнова, И. С. Мышевский (ГОУВПО «КубГТУ»).

Способ защиты от коррозии зоны сварного соединения металлических труб с внутренним противокоррозионным покрытием. Изобретение относится к трубопроводному транспорту и используется при строительстве и ремонте трубопроводов с внутренним противокоррозионным покрытием. Внутри конца трубы на глубину, превышающую зону термического влияния сварки, устанавливают втулку в виде двух телескопически соединенных между собой патрубков, внутренний из которых выполнен из коррозионностойкого металла и снабжен кольцевым выступом на внутреннем конце. Между кольцевым выступом и внутренним торцом внешнего патрубка предварительно размещают герметизирующее кольцо, внешний патрубок вводят в трубу на глубину, равную или превышающую длину зоны термического влияния сварки, и прикрепляют к трубе. Сжимают герметизирующее кольцо между кольцевым выступом и торцом внешнего патрубка путем силового перемещения внутреннего патрубка в осевом направлении и прикрепляют внутренний патрубок к внешнему патрубку. Упрощает ремонт действующих трубопроводов. Патент РФ 2342588. Н. Г. Ибрагимов, Ф. И. Даутов, В. Г. Фадеев, Р. М. Гареев, С. Ю. Князев (ОАО «Татнефть»).

Способ контактной точечной сварки заклепки с пластиной из титановых сплавов, который может быть использован в авиастроении, ракетостроении, судостроении и других отраслях машиностроения для получения соединений игольчатого крепежа, предназначенного для крепления деталей из композиционных материалов. В пластине выполняют отверстие диаметром $D_0 = (1,05...1,2)d$, где d — диаметр стержня заклепки. В верхнем электроде размещают изоляционную втулку с внешним диаметром $D_1 = (1,7...2,5)d$, в которой располагают по свободной посадке стержень заклепки. Со стороны головки заклепки устанавливают электрод с плоской рабочей поверхностью. Значение тока импульса задают равным значению импульса при сварке пакета из двух листов с толщиной каждого, равной толщине пластины, при длитель-

ности импульса $0,18...0,25$ от длительности импульса при сварке пакета из листов. В результате получают качественное соединение с высокими прочностными свойствами. Патент РФ 2333085. В. В. Овчинников, А. И. Лопаткин, В. В. Алексеев, В. Б. Верденский, С. В. Смирнов (ФГУП «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ»).

Способ сварки в защитном газе, при котором в зону сварки подают защитный газ, а на электрод — импульс тока. Одновременно в локальную зону контакта электрода с поверхностью детали направляют поток вспомогательного газа, который подают через наконечник горелки под давлением 5 МПа в виде ударных струй. Снижается трудоемкость процесса сварки за счет удаления с поверхности детали диэлектрического слоя загрязнений непосредственно в процессе сварки. Патент РФ 2332285. В. С. Панус, Д. В. Брусанин, В. И. Фролов (ВАТТ им. генерала армии А. В. Хрулева).

Способ изготовления плоских биметаллических листов путем сварки взрывом плакируемого листа с расположенным над ним плакирующим листом, при котором на плакирующем листе располагают заряд взрывчатого вещества с разной толщиной и инициируют указанный заряд, отличающийся тем, что на плакирующем листе располагают заряд взрывчатого вещества с разной толщиной, соответствующей постоянству деформирующего импульса I_d в зоне соударения по всей поверхности плакируемого листа в процессе сварки взрывом, при этом отношение деформирующих импульсов $I_d/I_{d,кр}$ должно находиться в пределах от 1,0 до 1,76, где $I_{d,кр}$ — критическая величина деформирующего импульса, при которой затрачиваемая на деформацию при контактных объемах металла энергия обеспечивает необходимую степень активации контактных поверхностей для формирования надежного соединения. Заявка РФ 2007105461. В. И. Лысак, А. Г. Кобелев, С. В. Кузьмин, Ю. Г. Долгий, П. А. Байдуганов, А. М. Байдуганов.

Способ контактно-точечной сварки дистанцирующей решетки тепловыделяющей сборки ядерного реактора. Собирают поле решетки и обжимают его в течение всего времени сварки. Перемещают электроды на рабочую позицию приводом робота с корректировкой их расположения в процессе перемещения. Вычисляют расстояния между крайними ячейками свариваемой решетки в каждом направлении и определяют среднее расстояние между ячейками в каждом направлении решетки по формуле $S_{напр} = (S_{прог} L_{напр})/L_{прог}$, где $S_{напр}$ — среднее расстояние между ячейками в конкретной свариваемой решетке, мм; $S_{прог}$ — расстояние между ячейками решетки, заданное программой робота, мм; $L_{напр}$ — расстояние между крайними ячейками в конкретной свариваемой решетке, мм; $L_{прог}$ — расстояние между крайними ячейками решетки, заданное программой робота, мм. Корректируют в программе робота координаты расположения ячеек решетки. Перемещают электроды на рабочую позицию и отключают привод робота. Выполняют сварку за счет сжатия электродов и подачи сварочного импульса порядно в каждом направлении решетки по заданной в работе программе с пропуском ячеек решетки, расположенных в местах прохода направляющих каналов. Уменьшается вероятность возникновения технологических деформаций, повышается производительность и увеличивается срок службы робота. Патент РФ 2331500. А. В. Чиннов, Н. А. Липухин (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов»).



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING & CUTTING» № 4, 2008

J. Heinlmann, J. Tuchtfield (Германия).

СООРУЖЕНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОГО РЕЗЕРВУАРНОГО ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Сжиженный природный газ (СПГ) приобретает все большее значение в энергетике. Это обусловлено его высокой теплотворной способностью, высоким КПД и экологичным характером. По этой причине возрастает использование СПГ, который вытесняет сырую нефть и уголь. СПГ не только удобен при поставке, но и выгоден с точки зрения затрат, начиная с расстояния 2000 км (оффшорная зона) и 4000 км (береговая зона). В дальнейшем рынок СПГ будет расти по сравнению с твердым топливом — сырой нефтью и углем. Для использования природного газа должны быть построены безопасные и экономичные пути транспортировки от его зарождения до конечного пользователя. Наиболее приемлемой является транспортировка газа в сжиженной форме при низких температурах. Чтобы гарантировать безопасность хранения сжиженного газа при температуре -168°C , требуются отличные механические свойства основного металла и сварного соединения (соответственно резервуаров). Выполнение этих важных требований возможно при наличии соответствующих сварочных технологий и сварочных материалов. В работе представлены достижения компании UTP Schweissmaterial GmbH в части разработки новых сварочных материалов и усовершенствования сварочного процесса для сооружения резервуара для СПГ.

СПС определяется как сжиженный метан (CH_4), сжижение достигается посредством охлаждения до температуры -168°C . При сжижении метана сокращение объема характеризуется коэффициентом 600. Таким образом, транспортировка значительно упрощена, так что СПГ можно перевозить в специальных танкерах морским путем, что можно сравнить с перевозкой сырой нефти.

Огромные танкеры (высотой до 50 м) заполняются специальными судами, на которые можно загружать груз из соседнего дока. Танкеры со СПГ отличаются от обычных танкеров, которые перевозят нефть и химикаты. Большинство танкеров для перевозки СПГ имеют два корпуса, чтобы при столкновении или посадке на мель не повреждался наружный корпус, а судно могло продолжать плыть, а СПГ не выливаться. Танкеры для перевозки СПГ имеют резервуары либо сферической формы (их верхняя половина сферы выступает над палубой) или коробчатой. В этом случае прокладка более дорогостоящего трубопровода на очень длинные расстояния, через недоступные зоны исключается. В стране-импортере СПГ временно накапливается в терминале СПГ, расположенном на берегу. На следующем этапе сжиженный газ возвращается обратно в газообразное состояние и подается в трубопроводы.

Для сооружения крупных береговых терминалов ($50...160\,000\text{ м}^3$) используется 9 % никелевая сталь. Она хорошо себя зарекомендовала в результате высокой прочности, экономичности и высокой безопасности возникновения хрупких разрушений при низких температурах.

Чтобы удовлетворить постоянную потребность мирового масштаба в незагрязняющем источнике энергии, во всем мире идет непрерывное строительство резервуаров СПГ. Удачное завершение этих проектов возможно тогда, когда все стороны будут задействованы в этой работе, а это в свою очередь зависит от таких факторов, как: а) добросовестная тренировка персонала, б) высокое качество сварочных материалов, в) широкие масштабы испытаний до, во время и после проведения сварочных работ.

R. Trillmich (Германия). ОПЫТ КАЛИБРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИВАРКИ ШПИЛЕК

В течение нескольких десятилетий приварка шпилек растянутой дугой была безопасным и экономичным методом получения соединений. Установки для приварки шпилек являются стандартным оборудованием и используются для получения прочных соединений металлических конструкций, от которых во многих случаях зависит их надежность. Разрушение таких соединений связано с высоким риском травм персонала и повреждением имущества. Производители оборудования для приварки шпилек обязаны представлять

на рынок только калиброванное оборудование. Кто бы ни использовал это оборудование для изготовления сварных изделий, должен выполнять его калибровку (рисунок) через соответствующие промежутки, чтобы удовлетворить юридическим требованиям (ответственность за продукт, документация, прослеживаемость). Более того, производимая продукция не должна иметь дефектов, которые могут отрицательно сказаться на ее пригодности к эксплуатации. В принципе калибровка представляет собой сравнение реаль-



ных величин, обеспечиваемых данным прибором, и соответствующих заданных величин, взятых из эталона.

EN ISO 17662 позволяет проверить функциональность оборудования для приварки шпилек с помощью практических методов. В стандарте ясно сказано, что приварка шпилек является кратковременным процессом, при котором процессы активации и деактивации усложняют точное измерение реальных величин. Например, общеизвестно, что в источниках питания, способных вырабатывать высокие токи, могут наблюдаться отклонения, превышающие значения, допускаемые стандартами при задании очень низких токов. Это обусловлено характером установки, поскольку мощные источники должны запитываться медленно во избежание чрезмерного превышения тока, что будет означать, что эту установку вообще нельзя использовать для приварки шпилек

малого диаметра. Специалист, проводящий калибровку, должен действовать осторожно. В любом случае колебания реальных значений важнее разницы между заданными и реальными значениями, как таковыми.

Более того, в стандарте не учтен тот факт, что большая часть промышленных пистолетов для приварки шпилек не оснащена читаемыми дисплеями для задания высоты подъема. В таких случаях отклонения также не могут быть выявлены. Таким образом, современные горелки с заданием цифровых параметров оказываются в невыгодном положении. Для исправления этого положения при очередном пересмотре стандарта предлагается предусматривать большое количество испытаний для пистолетов без дисплея, показывающего высоту подъема. Например, для измерения высоты подъема в десять раз, отклонение, которое еще должно быть установлено, скажем на уровне $\pm 0,5\%$, не должно превышать.

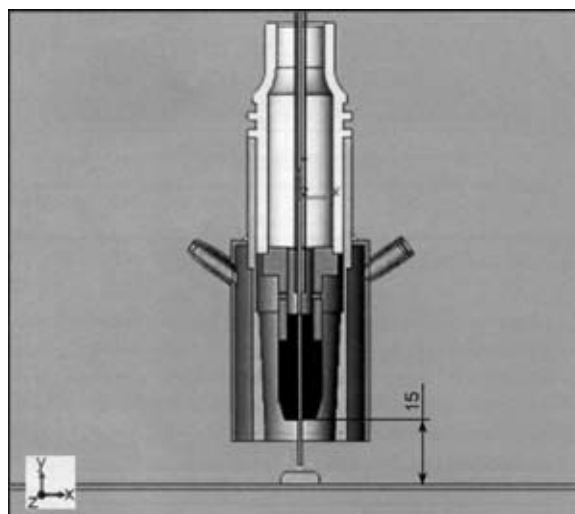
Каждый строитель или производитель, который занят контролируемой приваркой шпилек, и/или приваркой шпилек согласно стандартам качества EN ISO 3834, должен ознакомиться с калибровкой оборудования для приварки шпилек. Однако это не означает, что сам владелец должен вкладывать средства в измерительные устройства, которые также необходимо калибровать. Оборудование, состоящее из аппаратной части и матобеспечения, влечет за собой капитальные расходы, равные почти 10.000 евро. При незначительной переналадке это оборудование также пригодно для калибровки других типов оборудования для систем дуговой сварки. Опытному специалисту требуется около одного часа для калибровки источника питания для приварки шпилек растянутой дугой и используемого с ним пистолета. Следовательно, там, где используется всего несколько установок для сварки, рекомендуется обращаться в службу производителя, который обычно также в состоянии предложить упреждающие меры в тех случаях, когда измеренные отклонения превышают допустимые пределы.

R. Winkelmann, G. Buerkner (Германия)

СВАРКА И ПАЙКА ЛЕГКОПЛАВКИМИ ПРИСАДОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И ПРИПОЯМИ

Использование тонких сталей повышенной прочности, деталей с покрытиями из разнородных соединений между легкими и тяжелыми металлами — это только несколько путей получения облегченных конструкций. Для дальнейшего развития этого направления необходимы новые разработки в области технологий термического соединения. В литературе появляется все больше различных решений данной проблемы. Особый интерес представляют разработки, где предлагаемые решения относятся не только к технологическим процессам и оборудованию, но и к материаловедческим аспектам. Для технологии дуговой сварки металлургическим электродом в защитных газах предлагается использование регулируемой короткой дуги. В отличие от традиционной технологии сварки, где отделение капли представляет собой неконтролируемый процесс и в большинстве случаев связано с образованием брызг, новые разработки перспективны в отношении регулирования этой критической фазы. Капли отделяются при пониженном уровне энергии. Кроме того, на размер капли в фазе горения дуги оказывает влияние также один или более импульсов тока. Эти процессы отличаются оптимальными предпосылками для обработки легкоплавких присадочных металлов или припоев, которые в данном случае можно определить как материалы, которые в большей степени подходят для изготовления легких конструкций, чем используемый в течение нескольких последних лет материал на основе меди CuSi_3 . Сплавы на основе алюминия, магния и цинка — это материалы, в исследования которых все еще можно вкладывать деньги. Температуры

плавления этих материалов можно снизить на 300...600 К по сравнению с температурой плавления CuSi_3 . Для этих материалов необычным является обработка их в открытой дуге (в условиях короткой дуги). Таким образом, это ставит новую задачу, которая, с одной стороны, заставляет уделять больше внимания указанным эффектам, наблюдаемым в современных процессах с регулируемой короткой дугой, и, с другой





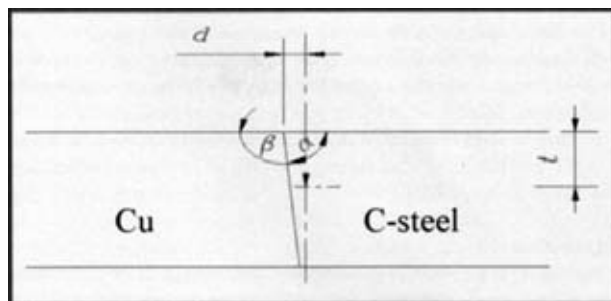
стороны, открывает новые перспективы в отношении технологии термического соединения. Данные аспекты перспективны для изготовления легких конструкций.

Рассмотрены аспекты, связанные с подачей электродной проволоки, снижением энергии, энергопереносом и отводом газа с позиций использования легкоплавких присадочных металлов и припоев (цинка и магния). В частности, исследуется не только роль контактного наконечника и материала, из которого он изготовлен (Cu, CuCr, CuCrZr, углерод), но и влияние износа и абразивного истирания. В случае использования регулируемой короткой дуги достигается значительное снижение энергии. Получаемый в результате максимальный ток в основном снижается в фазе короткого

замыкания по соответствующей программе. Это позволяет растворить перемычку при коротком замыкании и повторно зажечь дугу при более низком уровне энергии, чем при использовании обычных установок. Описан положительный опыт применения новой горелки (рисунок) с вращающейся системой подачи проволоки (планетарный привод), углеродным контактным наконечником и специальным мундштуком для отвода защитного газа или двухкорпусным мундштуком для подачи и отвода защитного газа. Установлено, что с использованием горелки с углеродным контактным наконечником можно полностью исключить прерывание процесса из-за прилипания проволоки.

G. Li, C. Yao (Китай). ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА НЕОДНОРОДНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ

Сварка стали и меди является одной из типичных технологий разнородных соединений. Она наиболее интересна, потому что между медью и сталью существует много различий в химических и термофизических свойствах, таких, как химический состав, форма кристаллической решетки, точка плавления, плотность, коэффициент теплопроводности и фактор линейного расширения. С применением конструкций из меди со сталью во многих промышленных сферах, в том числе и производстве электроэнергии, химической промышленности, авионавтике, технологии, соединения меди и



стали становятся объектом все большего внимания у исследователей всего мира.

Некоторым исследователям удалось получить удовлетворительные соединения из железа и меди, применив электронно-лучевую сварку. Однако электронный луч можно использовать только в условиях вакуума. Лазерная сварка, наоборот, имеет множество преимуществ по сравнению с традиционными процессами сварки плавлением. Благодаря высокой плотности энергии достигается глубокое проплавление, что позволяет получать однопроходные соединения для толстых пластин, более низкого уровня потребляемой энергии, меньшей ЗТВ, ограниченного процесса деформаций и высокой эффективности. К тому же, положение фокуса лазера поддается регулировке, что является необходимым для гарантии высокого качества швов соединений из железа и меди. Т. А. Май и др. предложили метод получения стыкового соединения из железа и меди толщиной 1 мм посредством смещения фокуса луча от стыка соединения и достигли

оптимального уровня плавления между медью и сталью. Результаты показали, что были произведены качественные швы с относительно низким непроваром в корне. Г. Фаникумар и др. провели исследования соединений из железа и меди на семимиллиметровых пластинах с точки зрения изучения природы получения соединений. Исследования проводили на чистой меди и чистом железе и обнаружено, что сторона железа может прорасти в шов с локальным изменением масштаба длины, в то время как стык со стороны меди создавал барьер для такого роста. Стык выступал острой частью, а полосчатую микроструктуру, которая состояла из слоев, обогащенных железом, можно было наблюдать рядом со стыком медного шва.

В данной работе представлена новая конфигурация стыкового соединения, которая может быть использована для получения удовлетворительного качества шва в соединениях углеродистой стали и чистой меди при помощи лазерной сварки. Чтобы проанализировать применимость этой технологии, были протестированы их механические свойства и микроструктура. Более того, применяли методы визуальной экранизации и спектрального анализа для мониторинга процесса во время сварки. Обнаружено, что интенсивность спектральной линии имеет четкую связь с характеристикой коэффициента плавления и данный метод может применяться для контроля коэффициентов плавления при лазерной сварке соединений из железа и меди. Результаты исследований позволили заключить, что комбинация стыковых наклонных кромок и смещение лазерного луча на сторону меди является эффективной для избежания проблем высокой отражательной способности меди и разницы температуры от глубины нагрева энергией лазера для получения гладкой поверхности; меняя расстояние смещения, коэффициенты плавления меди в соединениях намного отличаются. Спектральный уровень может представлять собой изменения элемента меди в плазме в зависимости от расстояния смещения. Этот эффект можно использовать при наблюдении за влиянием расстояния смещения при сварочном процессе; микроструктура и механические свойства показывают, что швы являются качественными, когда медь или слегка проплавлена или расплавлена в значительном количестве. Когда коэффициент плавления меди средний, образуются поры и трещины и механические свойства тогда сильно ухудшаются.

W. Tillmann (Германия). СВОЙСТВА АЛМАЗНЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ПАЯНЫХ ПРИПОЯМИ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Использование паяных алмазных абразивных инструментов требует не только хорошего паяного соединения между материалом припоя и алмазом, но и высокого уровня износостойкости матрицы твердого припоя, поскольку она также сцепляется с твердой минеральной основой, которая

подлежит обработке. Твердые припои на основе никеля, благодаря их относительно высокой твердости и прочности, могут оказаться хорошей альтернативой припоя из металлических сплавов, которые, как правило, использовались до сих пор (например, на основе меди), хотя им необходимы



более высокие температуры пайки и, как правило, они приводят к образованию остаточных напряжений в паяном соединении. Исследования свойств были выполнены для того, чтобы изучить качество этого паяного соединения и его характеристики износа, сопровождаемые металлографическими анализами и анализами с помощью сканирующего электронного микроскопа. Испытания имели отношение к соединению между алмазами и матрицей твердого припоя на поверхности раздела, а также к влиянию напряжений, которые были включены в соединение и были продемонстрированы в виде трещин в алмазах и «лопнувших» алмазов. Далее выполняемые исследования предоставляют качественную и количественную информацию относительно режима алмазного сцепления с однородным противодействующим материалом и относительно массы противодействующего материала, снятого при этом. Более того, в этом случае был определен износ матрицы твердого припоя, которая вступает

в абразивный контакт с противодействующим материалом. Это важно для прочности соединения алмазов. Выполненные исследования позволяют использовать расширенный сегмент материалов для пайки из диапазона твердых припоев на основе никеля для производства современных алмазных абразивных инструментов.

Результаты исследований позволили заключить, что твердые припои на основе никеля подходят для пайки алмазных абразивных инструментов, поскольку износ матрицы твердого припоя ниже, чем у образцов, паянных при помощи твердого припоя на основе AgCu. Тем не менее также необходимо принимать во внимание результаты испытаний на изгиб, как на дополнительный критерий, позволяющий выявить признаки не только предварительного повреждения алмаза, но и смачивающих особенностей твердых припоев и способности внедрения алмаза в матрицу твердого припоя.

Е. D. Franc, Великобритания. ЧЕМУ МОЖНО НАУЧИТЬСЯ У СВАРЩИКА?

Во всех учебных дисциплинах, которые входят в сварочную специализацию, сварщик занимает особое положение. Следует отметить, что сварщики и ранее работали в течение очень длительного времени, даже столетий, потому что даже перед началом промышленной революции процесс сварки часто применялся, например, в виде кузнечной сварки. Перспективы многих цивилизаций в ходе истории зависели от процесса производства оружия для битвы. Если мечи не изготавливали бы с применениемковки, итоги многих победоносных сражений минувших веков выглядели бы совсем иначе. Впоследствии некоторые цивилизации, даже та которую мы знаем сейчас, потерпели бы преждевременное фиаско с последующими изменениями сценария истории. Таким выглядит существенное влияние сварки на развитие человечества.

Не будет лишним напомнить, что достижения сварщиков были поистине значительными до, во время и после промышленной революции. Сварщикам прошлого приходилось работать в поте лица в атмосфере определенного неведения по сравнению с сегодняшней базой знаний, которая уже выработала навыки, очень эффективно применяемые на практике.

Предоставление необходимых услуг, таких как транспортировка нефти, газа, воды, электричества в современной цивилизации зависит от удовлетворительности сварочного процесса. В наши дни специалистам-сварщикам принадлежит роль в авангарде производственных операций; именно они становятся ключевым аспектом процесса соединения и их можно рассматривать как инженеров сварных соединений. Исходя из того, что является правильным для процесса сварки, необходимым для предотвращения возможных неблагоприятных эффектов, вывод напрашивается такой: сварщик — это человек, на которого возлагается значительная доля ответственности за правильное выполнение работы. Неправильное применение процессов сварщиком, не зависимо от того ручные они или автоматические, в любой ситуации полностью подрывает все преимущества технологий выполнения любого соединения, которое принадлежит сварке. Последствием этого может стать то, что это нанесет урон всему результату получения высококачественной продукции. К сожалению, роль сварщика недооценивается руководством, что наносит ущерб многим компаниям. Несомненно, сварщик, таким образом, является очень важным лицом и это оправдывает интерес к нему.



Коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, редколлегия и редакция журнала «Автоматическая сварка» горячо и сердечно поздравляют заведующего отделом, доктора технических наук, профессора, председателя Украинского общества «Не разрушающий контроль и техническая диагностика» **Владимира Александровича Троицкого**, директора ГП «ОКТБ» ИЭС им. Е. О. Патона **Притулу Сергея Ивановича**, ведущего научного сотрудника ИЭС им. Е. О. Патона, кандидата экономических наук **Мазура Александра Анатольевича** с присвоением им соответственно почетных званий «Заслуженный деятель науки и техники Украины», «Заслуженный машиностроитель Украины», «Заслуженный экономист Украины» и начальника отдела ГП «ОКТБ» ИЭС им. Е. О. Патона **Найду Владимира Львовича** с награждением его орденом «За заслуги» III степени.

УКАЗ

ПРЕЗИДЕНТА УКРАИНЫ

О награждении государственными наградами Украины работников учреждений Национальной академии наук Украины

За выдающиеся личные заслуги в развитии отечественной науки, укреплении научно-технического потенциала Украинского государства и по случаю 90-летия Национальной академии наук Украины постановляю:

Присвоить почетные звания:

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ НАУКИ И ТЕХНИКИ УКРАИНЫ»

ТРОИЦКОМУ Владимиру Александровичу — заведующему отделом Института электросварки им. Е. О. Патона, доктору технических наук, профессору, г. Киев

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬ УКРАИНЫ»

ПРИТУЛЕ Сергею Ивановичу — директору Государственного предприятия «Опытное конструкторско-технологическое бюро» Института электросварки им. Е. О. Патона, г. Киев

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ ЭКОНОМИСТ УКРАИНЫ»

МАЗУРУ Александру Анатольевичу — ведущему научному сотруднику Института электросварки им. Е. О. Патона, кандидату экономических наук, г. Киев

Наградить орденом «За заслуги» III степени

НАЙДУ Владимира Львовича — начальника отдела Государственного предприятия «Опытное конструкторско-технологическое бюро» Института электросварки им. Е. О. Патона, г. Киев.

Президент Украины В. Ющенко
г. Киев 27 ноября 2008 г.
№ 1113/2008

ПАМЯТИ Д. А. ДУДКО



2 февраля ушел из жизни известный ученый в области сварки и материаловедения академик НАН Украины, доктор технических наук, профессор Даниил Андреевич Дудко.

В 1944 г. выпускник Уральского индустриального института был рекомендован директору Института электросварки академику Е. О. Патону,

подбиравшему специалистов для расширения научных исследований. С тех пор имя Д. А. Дудко неразрывно связано с развитием науки о сварке и внедрением ее достижений в производство. Даниил Андреевич принимал активное участие в создании новейших технологий, более 40 лет возглавлял в ИЭС им. Е. О. Патона отдел новых физико-химических способов сварки. Решая задачи расширения технических возможностей дуговой сварки под флюсом, небольшой коллектив, возглавляемый Борисом Евгеньевичем Патоном, разработал шланговую полуавтоматическую сварку с легкой портативной аппаратурой, пригодную для работы в монтажных условиях. Инженер-конструктор Д. А. Дудко в числе других создателей способа в 1950 г. был удостоен Сталинской премии. В 1950-х годах Даниил Андреевич участвовал в научных исследованиях и совершенствовании технологий и оборудования для различных способов дуговой сварки, в том числе в создании принципиально нового способа — дуговой сварки в углекислом газе. Д. А. Дудко в числе других создателей этого наиболее распространенного способа сварки плавлением в 1963 г. был удостоен Ленинской премии. Весомый вклад внес Даниил Андреевич и в развитие электрошлаковых технологий. Результаты научных исследований металлургических процессов электрошлаковой сварки легли в основу его докторской диссертации, которую он защитил в 1964 г. Одновременно Д. А. Дудко принимал участие в работах по сварке в ракетостроении, электронике, энергетике и в ряде других отраслей промышленности. При его участии впервые в мире были разработаны оборудование и технология плазменной сварки на переменном токе, использованные при изготовлении конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов, микроплазменная импульсно-дуговая сварка (отмечена Государственной премией УССР 1972 г.). Начавшиеся

в отделе, возглавляемом Д. А. Дудко, исследования дуговых процессов в вакууме привели к созданию двух из трех технологий сварки, испытанных в космосе в 1969 г. на установке «Вулкан».

В 1967 г. он был избран членом-корреспондентом АН УССР, а в 1978 г. — действительным членом АН УССР. Около 25 лет Д. А. Дудко в должности заместителя директора ИЭС им. Е. О. Патона координировал работой ОКБ, опытных заводов, экспериментального производства. В 1970–1990-х годах под руководством Даниила Андреевича выполнены актуальные для электроники, приборостроения и ряда других отраслей техники работы по нанесению покрытий как на металлы, так и на органические и неорганические материалы. В их числе разработка методов детонационного нанесения покрытий и плазменно-дугового напыления (Государственная премия УССР 1983 г.), ионно-плазменная вакуумная технология (Премия Совета Министров СССР 1986 г.). В эти же годы Д. А. Дудко руководил исследованиями по магнитно-импульсной сварке, холодной сварке, плазменной обработке.

В течение многих лет академик Д. А. Дудко активно занимался научно-организаторской, общественной и педагогической деятельностью. Он являлся членом Координационного совета по сварке и Научного совета Госкомитета СССР по науке и технологиям, членом ученого совета ИЭС им. Е. О. Патона, председателем президиума Украинского республиканского общества машиностроителей, членом редколлегии журнала «Автоматическая сварка», членом экспертного совета ВАК, участвовал в работе многих общественных организаций.

Д. А. Дудко — автор более 900 научных работ и изобретений, многие из которых запатентованы за рубежом. С 2000 г. до последних дней академик Даниил Андреевич Дудко был советником дирекции Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Он продолжал руководить исследованиями в области импульсной обработки материалов, разрабатывал ионно-плазменные методы нанодиспергирования и напыления материалов.

Заслуги ученого отмечены многими правительственными наградами. Многочисленные ученики, друзья и коллеги с глубокой скорбью переживают эту потерю, выражают искреннее соболезнование родным и близким Даниила Андреевича, всем, кто знал, любил, уважал его. Светлая память об этом человеке навсегда останется в их сердцах.

ПРОИЗВОДИТЕЛИ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИМЕЮЩИЕ СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ В СИСТЕМЕ УкрСЕПРО, ВЫДАННЫЙ В НТЦ «СЕПРОЗ» (по состоянию на 01.01.2009)

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
ОАО «Запорожский сталепрокатный завод» 69600 г. Запорожье, ГСП-1086 тел. (0612) 39-23-01	Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08А, Св-08Г2С, Св-08ГА, Св-10НМА Св-08Г2С-О
ОАО «Стальканат» 65007 г. Одесса, ул. Водопроводная, 16 тел. (0482) 22-35-34 тел./ф. (0482) 34-50-83	Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08-О, Св-08А, Св-08А-О, Св-08ГА, Св-08ГА-О, Св-08Г1НМА, Св-08Г1НМА-О, Св-08Г2С, Св-08Г2С-О, Св-08ХМ, Св-08ХМ-О
Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий 69035 г. Запорожье, ГСП-356, тел./ф. (0612) 24-70-41 тел. (0612) 24-70-43	Флюсы АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-АД, АН-348-АДМ, АН-348АП, АН-348-АПМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, АН-348-ВД, АН-348-ВДМ, АН-348-ВП, АН-348-ВПМ, АН-47, АН-47М, АН-47Д, АН-47ДМ, АН-47П, АН-47ПМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, ОСЦ-45ДМ, ОСЦ-45Д, ОСЦ-45П, ОСЦ-45ПМ, АНЦ-1А, АНЦ-1АМ, АНЦ-1АД, АНЦ-1АДМ, АНЦ-1АП, АНЦ-1АПМ АН-60 Силикат Na
ГП «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины» 04112 г. Киев ул. Е. Телиги, 2 тел. (044) 456-63-69	Электроды АНО-4, АНО-21, АНО-4И, АНО-6, АНО-6Р, АНО-6У, АНО-27, АНО-36, АНО-37, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, АНР-2, ВН-48, МР-3, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, Т-590, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, ЦЛ-11, ЦУ-5, ЦЧ-4, ЭА-395/9, ЭА-400/10У, Комсомолец-100, АНО-21М, АНО-21У, АНО-12 Проволока порошковая ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АНВ2у, ПП-АНВ2ум, ПП-Нп-АНВ2ун, ПП-Нп-АНВ2у/2, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН69, ПП-Нп-Х25Г14Н3Т, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН70М Флюсы сварочные плавильные и керамические АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, АН-М13, АН-25, АН-72, АН-8, АН-15М, АН-17М, АН-18, АН-20С, АН-20П, АН-22, АН-26С, АН-26П, АН-42, АН-43, АН-47, АН-60, АН-65, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, ОСЦ-45П, ФЦ-9, АНФ-1, АНФ-6, АНФ-25, АНФ-28, АНФ-29, АНФ-32, АН-291, АН-295, АНК-40/25, АНК-40/35, АНК-40/55, АНК-47А, АНК-57, АНК-565
ОАО «СМНПО им. М. В. Фрунзе» 40004 г. Сумы, ул. Горького, 58 тел. (0542) 25-41-72 тел./ф. (0542) 25-04-93	Электроды АНО-4, АНО-4Ж, АНО-21, АНО-24, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ/60, АНО-ТМ/70, ЗИО-8, МНЧ-2, НЖ-13, НИИ-48Г, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ОЗЛ-17У, ОЗЛ-25Б, Т-590, Т-620, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, УОНИИ 13/45, УОНИИ 13/45А, УОНИИ 13/55, ЦЛ-11, ЦЛ-20, ЦЛ-39, ЦЛ-51, ЦН-6Л, ЦН-12М, ЦТ-15, ЦУ-5, ЦЧ-4, ЭА-400/10У, ЭА-400/10Т, ЭА-112/15, ЭА-606/11, ЭА-395/9, ЭА-981/15, ЭА-902/14, ЭА-898/21Б, ЭА-48М/22, ЭН-60М
ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» 04201 г. Киев, ул. Полярная, 8е, к. 72 тел./ф. (044) 458-34-85	Проволока порошковая ПП-АН8, ПП-АН29, ПП-АН1, ППС-ТМВ6, ПП-АНЧ2, ППС-ТМВ7, ППС-АНТ, ППС-ТМВ3, ППС-ТМВ8, ПП-АН39, BeT ПП-Нп14ГСТ, BeT ПП-Нп35В9Х3СФ, BeT ПП-Нп60В9Х3СФ, BeT ПП-Нп80Х12РТ, BeT ПП-Нп80Х20Р3Т, BeT ПП-Нп200Х15С1ГРТ, BeT ППС-ТМВ57, BeT ПП-Нп10Х14Т, BeT ПП-Нп15Х14Г, BeT ПП-Нп15Х14ГН2М1ФБ, BeT ПП-Нп15Х14ГН2, BeT ПП-Нп12Х14Н3, BeT ПП-Нп12Х13, BeT ПП-Нп25Х5ФМС, BeT ППв-ТМВ11, ВЕЛТЕК-Н250-РМ, ВЕЛТЕК-Н290, ВЕЛТЕК-Н290-РМ2, ВЕЛТЕК-Н300-РМ, ВЕЛТЕК-Н350-РМ, ВЕЛТЕК-Н370-РМ, ВЕЛТЕК-Н370-РМК, ВЕЛТЕК-Н450, ВЕЛТЕК-Н460, ВЕЛТЕК-Н460К, ВЕЛТЕК-Н490, ВЕЛТЕК-Н465, ВЕЛТЕК-Н480, ВЕЛТЕК-Н480К, ВЕЛТЕК-Н480С, ВЕЛТЕК-Н500-РМ, ВЕЛТЕК-Н500-РМК, ВЕЛТЕК-Н505-РМ, ВЕЛТЕК-Н550-РМ, ВЕЛТЕК-Н570, ВЕЛТЕК-Н455, ВЕЛТЕК-Н200, ЕЛТЕК-Н210У, ВЕЛТЕК-Н220У, ВЕЛТЕК-Н285-РМ, ВЕЛТЕК-Н290-РМ2, ВЕЛТЕК-Н390, ВЕЛТЕК-Н390С, ВЕЛТЕК-Н400, ВЕЛТЕК-Н410, ВЕЛТЕК-Н420, ВЕЛТЕК-Н470, ВЕЛТЕК-Н471, ВЕЛТЕК-Н472, ВЕЛТЕК-Н479, ППС-ТМВ29, ВЕЛТЕК-Н540, ВЕЛТЕК-Н560, ВЕЛТЕК-Н580, ВЕЛТЕК-Н600, ВЕЛТЕК-Н620, BeT ППС-ТМВ4, BeT ППС-ТМВ14, BeT ППС-ТМВ15, ВЕЛТЕК-Н500-РМУ, ВЕЛТЕК-Н500-РМС, ВЕЛТЕК-Н565, BeT ПП-Нп35В9Х3СФ, ВЕЛТЕК-Н425, ВЕЛТЕК-Н425-1, ВЕЛТЕК-Н425-2, ВЕЛТЕК-Н351, ППС-ТМВ2, ВЕЛТЕК-Н480НТ Проволока порошковая для сварки под водой ППС-ЭК1, ППС-ЭК2
ООО «НВП ВЕЛДТЕК» 02140 г. Киев-140, ул. Вишняковская, 7-А к. 90	Проволока порошковая BeT ПП-Нп14ГСТ, ПП-АН1, ПП-АН8, ПП-АН57
ЗАО «ИНДУСТРИЯ» 91002 г. Луганск, ул. К. Либкнехта, 38 тел./ф (0642) 52-12-52	Электроды АНО-4, АНО-21, АНО-27, УОНИ 13/55
ЗАО «Электродный завод» 194100 г. С.-Петербург, ул. Литовская, 12 тел. (812) 295-14-50 факс: (812) 295-02-59	Электроды ЦУ-5, ТМУ-21У, УОНИ-13/45А, УОНИ-13/55, МР-3, ОЗС-12, АНО-4, ЦЛ-39, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМЛ-5, ЭА-395/9, ЭА-48М/22, ЭА-400/10У, УОНИИ-13/НЖ, ОЗЛ-6, ЦТ-15, ЦЛ-11, ЦТ-28, НЖ-13, ОЗЛ-8, НИИ-48Г, ОЗЛ-9А, ЦН-6Л, ЦН-12М, Т-590, ЦЧ-4, УОНИ-13/Н1-БК, МНЧ-2, «Комсомолец-100»

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
Учебно-производственное предприятие УТОГ 51999 г. Днепродзержинск ул. Широкая, 33 тел. (05692) 3-26-63	Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08А
ОАО «Межгосметиз-Мценск» 303000 г. Мценск, ул. Советская, 98А тел./ф (08646) 2-38-33	Электроды АНО-ТМ, АНО-36, ЗИО-8, Комсомолец-100, МНЧ-2, МР-3, МР-3М, НИИ-48Г, ОЗА-1М, ОЗА-2М, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ОЗЛ-9А, Т-590, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65, УОНИ-13/85, УОНИИ-13/45А, ЦЛ-9, ЦЛ-11, ЦТ-15, ЦУ-5, ЦЧ-4, ЭА-395/9, ЭА400/10У, ЭА-400/10Т, МГМ-50К, АНО-21, НЖ-13, ОЗН-300М, ОЗН-400М, ТМЛ-1У, УОНИИ-13/55R, УОНИИ-13/45R, ЦЛ-39, ЦН-6Л, ЦНИИН-4, ЭН-60М Проволока стальная сварочная Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н11М3, Св-07Х25Н13, Св-10Х16Н25АМ6, Св-08Г2С-О, Св-08Г1С-О
ОАО «АО Спецэлектрод» 109316 г. Москва, Волгоградский проспект, 41 тел./ф (495) 173-07-87 тел. (495) 173-02-84	Электроды ОЗС-4, ОЗС-4И, ОЗС-6, ОЗС-12, ОЗС-12И, ОЗС-11, МР-3, МР-3М, ОЗС-3, АНО-4, АНО-4М, АНО-21, ОЗС-30, ОЗС-32, АНО-11, ВСЦ4М, УОНИ-13/55, УОНИ-13/55К, УОНИ-13/55У, УОНИ-13/45, УОНИ-13/45А, УОНИ-13/65, УОНИ-13/85, УОНИ 13/НЖ/12Х13, УОНИ-13/55ТЖ, ОЗС-16, ОЗС-18, ОЗС-23, ОЗС-24М, ОЗС-25, ОЗС-33, ОЗС/ВНИИСТ-27, ЦЛ-17, ЦЛ-39, ЦУ-5, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, ВСФ-65У, ЦЛ-20, ЦЛ-20М, ЦУ-2ХМ, 48Н-1, 48Н-11, 48Н-25, 48Н-15, Н-17, НИАТ-3М, ВИ-10-6, АНЖР-1, АНЖР-2, ЦТ-28, ИМЕТ-10, КТИ-7А, ОЗЛ-9А, ГС-1, ВИ-ИМ-1, ЦЛ-9, ОЗЛ-2, ОЗЛ-3, ОЗЛ-5, ОЗЛ-7, ОЗЛ-14, ОЗЛ-14А, ОЗЛ-20, ОЗЛ-21, ОЗЛ-22, ОЗЛ-25Б, ОЗЛ-27, ОЗЛ-28, ОЗЛ-32, ОЗЛ-35, ОЗЛ-38, ОЗЛ-40, ОЗЛ-41, ЦЛ-11, ЦЛ-11/СЭ, ЦТ-15, ОЗЛ-6, ОЗЛ-6С, ОЗЛ-6СЭ, ЦЛ-25/1, ЗИО-8, ОЗЛ-8, ОЗЛ-8С, НИАТ-1, ОЗЛ-17У, ОЗЛ-36, ОЗЛ-37-2, НИАТ-5, НИАТ-5/СЭ, ЭА-395/9, ЭА-981/15, ЭА-400/10У, ЭА-400/10Т, ЭА-400/10СЭ, НЖ-13, НЖ-13С, НЖ-13СЭ, НИИ-48Г, ЭА-898/21Б, ЭА-606/11, ЭА-48М/22, ОЗЛ-312, ОЗЛ-310, ОЗИ-6, ЭН-60М, УОНИ-13/НЖ (20Х13), Т-590, ОЗН-6, ОЗН-7, ОЗН-7М, ЦНИИН-4, ЦН-6Л, ЦН-12М, ОЗН-300М, ОЗН-400М, ОЗШ-1, ОЗШ-2, ОЗШ-3, ОЗШ-8, ОЗИ-3, ОЗИ-5, ВСН-6, ОЗН/ВСН-9, Т-620, ЭНУ-2, ЦЧ-4, МНЧ-2, ОЗЧ-6, ОЗЧ-3, ОЗЧ-2, ОЗЧ-4, Комсомолец-100, АНЦ/ОЗМ-3, ОЗБ-2М, ОЗБ-3, В-56У, ОЗА-1, ОЗА-2, ОЗАНА-1, ОЗАНА-2, ОЗР-1, ОЗР-2
Фирма «BOEHLER SCHWEISSTECHNIK» AUSTRIA GmbH BOEHLER WELDING STR.1 A-8605 KAPFENBERG POSTFACH 9	Электроды FOX 2,5 Ni, FOX EV 50-W, FOX CN 13/4, FOX EAS 4 M, FOX 20 MVW, FOX EV 55, FOX CN 13/4 SUPRA, FOX EAS 4 M-A, FOX BVD 100, FOX EV 60, FOX CN 16/13, FOX EAS 4 M-TS, FOX BVD 110, FOX EV 60 PIPE, FOX CN 16/6M-HD, FOX EAS 4 M-VD, FOX BVD 85, FOX EV 63, FOX CN 17/4PH, FOX EAS N 25 M, FOX BVD 90, FOX EV 65, FOX CN 18/11, FOX FA, FOX BVD RP, FOX EV 70, FOX CN 18/16 M-A, FOX FF, FOX C 9 MV, FOX EV 70 Mo, FOX CN 19/9M, FOX FF-A, FOX C 9 MVW, FOX EV 70 PIPE, FOX CN 20/25 M, FOX FFB, FOX CEL, FOX EV 75, FOX CN 20/25 M-A, FOX FFB-A, FOX CEL+, FOX EV 85, FOX CN 21/33 Mn, FOX NIBAS 400, FOX CEL 75, FOX EV PIPE, FOX CN 22/9 N, FOX NIBAS 60/15, FOX CEL 85, FOX HL 180 Ti, FOX CN 22/9 N-B, FOX NIBAS 617, FOX CEL 90, FOX KE, FOX CN 23/12 Mo-A, FOX NIBAS 625, FOX CEL Mo, FOX KW 10, FOX CN 23/12-A, FOX NIBAS 70/15, FOX CM 2Ti, FOX NiCuCr, FOX CN 24/13, FOX NIBAS 70/20, FOX CM 2 Kb, FOX NUT, FOX CN 24/14 Nb, FOX NIBAS C 24, FOX CM 5 Kb, FOX OHV, FOX CN 25/35 Nb, FOX NIBAS C 276, FOX CM 9 Kb, FOX P 23, FOX CN 25/9 Cu-T, FOX SAS 2, FOX DCMS Kb, FOX P 24, FOX CN 29/9, FOX SAS 2-A, FOX DCMS Ti, FOX P 92, FOX CN 29/9-A, FOX SAS 4, FOX DCMV, FOX SPE, FOX CN 35/45 Nb, FOX SAS 4-A, FOX DMO Kb, FOX A 7, FOX E 308H, FOX SKWA, FOX DMO Ti, FOX A 7-A, FOX EAS 2, FOX SKWAM, FOX DMV 83 Kb, FOX AM 400, FOX EAS 2 Si, FOX ETI, FOX ASN 5, FOX EAS 2-A, FOX EV 47, FOX ASN 5-A, FOX EAS 2-TS, FOX EV 50, FOX EAS 2-VD, FOX EV 50-A Проволока стальная сварочная 2,5 Ni-IG, DMO-IG, NiMo 1-IG, DCMS-IG, 3 NiCrMo 2,5-UP, DMV 83-IG, X 70-IG, DMO C 9 MV-IG, EMK 6, X 90-IG, DMO-IG, C 9 MV-UP, EMK 8, DMV 83-IG, CM 2-IG, EMS 2, CM 2-IG, EMK 6, CM 2-UP, EMS 2 CrMo, CM 5-IG, EMK 8, CM 5-IG, EMS 2 Mo, CM 9-IG, EML 5, CM 5-UP, Ni 2-UP, DCMS, DCMS-IG, NiCrMo 2,5-IG Проволока порошковая A7 PW-FD, CN 23/12 PW-FD, EAS 2-FD, HL 53-FD, A7-FD, CN 23/12-FD, EAS 2-MC, SAS 2 PW-FD, C 9 MV-MC, CN 23/12-MC, EAS 4 PW-FD, SAS 2-FD, CN 13/4-MC, E 308 H PW-FD, EAS 4 PW-FD (LF), SAS 4 PW-FD, CN 13/4-MC(F), E 308 H-FD, EAS 4-FD, Ti 52-FD, CN 22/9 N-FD, E 317 L PW-FD, EAS 4M-FD, Ti 60-FD, CN 22/9 PW-FD, E 317 L-FD, EAS 4M-MC, Nibas 70/20-FD, CN 23/12 Mo PW-FD, EAS 2 PW-FD, HL 51-FD, Nibas 625-FD, CN 23/12 Mo-FD, EAS 2 PW-FD (LF)
Фирма «ESAB AB» Lindholmsallen, 9, 72, Box 8004 S-402 77 Goteborg, Швеция	Электроды OK 21.03, OK 23.50, OK 43.32, OK 46.00, OK 46.16, OK 48.00, OK 48.04, OK 48.05, OK 48.08, OK 48.15, OK 48.68, OK 50.10, OK 50.40, OK 53.05, OK 53.16 SPEZIAL, OK 53.35, OK 53.68, OK 53.70, OK 55.00, OK 61.20, OK 61.10, OK 61.25, OK 61.30, OK 61.35, OK 61.41, OK 61.50, OK 61.80, OK 61.81, OK 61.85, OK 61.86, OK 62.53, OK 62.73, OK 62.75, OK 63.10, OK 63.20, OK 63.30, OK 63.34, OK 63.35, OK 63.41, OK 63.80, OK 63.85, OK 64.30, OK 64.63, OK 67.13, OK 67.15, OK 67.20, OK 67.43, OK 67.45, OK 67.50, OK 67.51, OK 67.52, OK 67.53, OK 67.55, OK 67.60, OK 67.62, OK 67.64, OK 67.66, OK 67.70, OK 67.71, OK 67.75, OK 68.15, OK 68.17, OK 68.25, OK 68.37, OK 68.53, OK 68.55, OK 68.81, OK 68.82, OK 69.25, OK 69.33, OK 73.05, OK 73.08, OK 73.15, OK 73.68, OK 73.79, OK 74.46, OK 74.70, OK 74.78, OK 74.86 TENSITRODE, OK 75.75, OK 75.78, OK 76.26, OK 76.28, OK 76.35, OK 76.96, OK 76.98, OK 78.16, OK 83.27, OK 83.28, OK 83.29, OK 83.50, OK 83.53, OK 83.65, OK 84.42, OK 84.52, OK 84.58, OK 84.76, OK 84.78, OK 84.80, OK 84.84, OK 85.58, OK 85.65, OK 86.08, OK 86.20, OK 86.28, OK 86.30, OK 91.00, OK 92.05, OK 92.15, OK 92.18, OK 92.26, OK 92.35, OK 92.45, OK 92.55, OK 92.58, OK 92.59, OK 92.60, OK 92.78, OK 92.86, OK 93.01, OK 93.06, OK 93.07, OK 93.12, OK 94.25, OK 94.35, OK 94.55, OK 96.10, OK 96.20, OK 96.40, OK 96.50, OK Femax 33.60, OK Femax 33.65, OK Femax 33.80, OK Femax 38.48, OK Femax 38.65, OK Femax 38.85, OK Femax 38.95, OK Femax 39.50, PIPEWELD 6010+, PIPEWELD 7010, PIPEWELD 8010, FILARC 56, FILARC 56R, FILARC 27P, FILARC 35, FILARC 35S, FILARC 35B, FILARC 36D, FILARC 36S, FILARC 56S, BM 310Mo-L, FILARC 75, FILARC 75S, FILARC 76S, FILARC 88S, FILARC 108, FILARC 118, FILARC 98S, FILARC 108MP, FILARC KV1, FILARC KV2, FILARC KV3L, FILARC KV4L, FILARC KV5L Флюсы Flux 10.30, OK Flux 10.63, OK Flux 10.37, OK Flux 10.74, OK Flux 10.62 Проволока, прутки сплошного сечения OK Autrod 12.34, OK Autrod 12.40, OK Autrod 13.10SC, OK Autrod 13.21, OK Autrod 13.24, OK Autrod 13.27, OK Autrod 13.20SC, OK Autrod 13.36, OK Autrod 13.40, OK Autrod 13.44, OK Autrod 308L, OK Autrod 316L, OK Autrod 318Si, OK Autrod 318, OK Autrod 309MoL, Pipeweld 70S-6 Plus, OK Autrod 13.16, OK Tigrod 13.16, OK Autrod 13.17, OK Tigrod 13.17, OK Tigrod 13.23, OK Autrod 13.25, OK Autrod 13.28, OK Tigrod 13.28, OK Tigrod 13.32, OK Tigrod 13.38, OK Autrod 13.49, OK Autrod 13.89, OK Autrod 13.90, OK Autrod 13.91, OK Autrod 309Si, OK Tigrod 309MoL, OK Autrod 385, OK Tigrod 385, OK Autrod 310, OK Tigrod 310, OK Autrod 312, OK Tigrod 312, OK Tigrod 430Ti, OK Tigrod 2209, OK Tigrod 2509, OK Autrod 2509, OK Autrod 1070, OK Tigrod 1070, OK Autrod 4043, OK Tigrod 4043, OK Autrod 4047, OK Tigrod 4047, OK Autrod 1450,

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
	OK Tigrod 1450, OK Autrod 5754, OK Tigrod 5754, OK Autrod 5356, OK Tigrod 5356, OK Autrod 5183, OK Tigrod 5183, OK Tigrod 5087, OK Autrod 5556, OK Tigrod 5556, OK Autrod 19.12, OK Autrod 19.30, OK Autrod 19.40, OK Autrod 19.41, OK Autrod 19.46, OK Autrod 19.49, OK Tigrod 19.49, OK Tigrod 19.72, OK Autrod 19.81, OK Tigrod 19.81, OK Autrod 19.82, OK Tigrod 19.82, OK Autrod 19.85, OK Tigrod 19.85 Проволока порошковая Shield-Bright 308L, Shield-Bright 309L, Shield-Bright 316L, Shield-Bright 347, Shield-Bright 308L X-tra, Shield-Bright 309L X-tra, Shield-Bright 309L Mo X-tra, Shield-Bright 316L X-tra, Shield-Bright 347 X-tra, Coreshield 6, Coreshield 8, Dual Shield 55, OK Tubrod 15.13S, OK Tubrodur 14.70, OK Tubrodur 14.71, OK Tubrodur 14.72
Фирма «ESAB Sp z.o.o.», ul. Zelazna, 9, 40-952 Katowice, Польша	Электроды OK 46.00, OK 48.00 Флюсы OK Flux 10.61, OK Flux 10.62, OK Flux 10.71, OK Flux 10.72, OK Flux 10.74, OK Flux 10.76, OK Flux 10.77, OK Flux 10.81, OK Flux 10.97 Проволока порошковая OK Tubrod 14.00S, OK Tubrod 14.01, OK Tubrod 14.02, OK Tubrod 14.03, OK Tubrod 14.04, OK Tubrod 14.05, OK Tubrod 14.06, OK Tubrod 14.07S, OK Tubrod 14.12, OK Tubrod 14.13, OK Tubrod 14.17, OK Tubrod 14.18, OK Tubrod 15.00, OK Tubrod 15.00S, OK Tubrod 15.02, OK Tubrod 15.10, OK Tubrod 15.11, OK Tubrod 15.12, OK Tubrod 15.14, OK Tubrod 15.15, OK Tubrod 15.16, OK Tubrod 15.17, OK Tubrod 15.18, OK Tubrod 15.19, OK Tubrod 15.20, OK Tubrod 15.21TS, OK Tubrod 15.22, OK Tubrod 15.25S, OK Tubrodur 15.24S, OK Tubrodur 15.25, OK Tubrodur 15.27, OK Tubrodur 15.38, OK Tubrodur 15.40, OK Tubrodur 15.40S, OK Tubrodur 15.41, OK Tubrodur 15.42, OK Tubrodur 15.42S, OK Tubrodur 15.43, OK Tubrodur 15.52, OK Tubrodur 15.52S, OK Tubrodur 15.60, OK Tubrodur 15.65, OK Tubrodur 15.72S, OK Tubrodur 15.73, OK Tubrodur 15.73S, OK Tubrodur 15.74S, OK Tubrodur 15.76, OK Tubrodur 15.79S, OK Tubrodur 15.91S, Vetromax 2 MG, Corofil R59Ni, FILARC PZ 6113
Фирма «ESAB VAMBERK, s.r.o.» Smetanovo nabrezi 334, 517 54 Vamberk, Чехия	Проволока, прутки сплошного сечения OK AristoRod 13.08, OK Autrod 13.64, OK Autrod 307L, OK Autrod 318Lsi, OK AristoRod 13.09, OK Tigrod 13.08, OK Tigrod 308L, OK Tigrod 318Si, OK AristoRod 13.12, OK Tigrod 13.09, OK Autrod 308Lsi, OK Autrod 347, OK AristoRod 13.13, OK Tigrod 13.12, OK Tigrod 308Lsi, OK Tigrod 347, OK AristoRod 13.22, OK Tigrod 13.13, OK Autrod 309L, OK Autrod 347Si, OK AristoRod 13.26, OK Tigrod 13.13, OK Tigrod 309L, OK Tigrod 347Si, OK AristoRod 13.29, OK Autrod 13.10 SC, OK Autrod 309Lsi, OK Autrod 430LNb, OK AristoRod 13.31, OK Autrod 13.14, OK Tigrod 309Lsi, OK Autrod 430Ti, OK Autrod 13.27, OK Tigrod 13.22, OK Autrod 309LNb, OK Autrod 2209, OK Autrod 13.36, OK Autrod 13.20SC, OK Autrod 316L, OK Tigrod 2209, OK Autrod 13.40, OK Autrod 13.21, OK Tigrod 316L, OK Autrod 16.95, OK Autrod 13.44, OK Autrod 13.24, OK Autrod 316Lsi, OK Tigrod 16.95, OK Autrod 13.45, OK Tigrod 13.26, OK Tigrod 316Lsi, OK Autrod 16.97, OK Autrod 13.43, OK Autrod 13.91, OK Autrod 318, OK AristoRod 12.50, OK Autrod 12.20, OK Autrod 12.40, OK Tigrod 12.62, OK AristoRod 12.57, OK Autrod 12.22, OK Autrod 12.51, OK Autrod 12.64, OK AristoRod 12.62, OK Autrod 12.24, OK Autrod 12.56, OK Tigrod 12.64, OK AristoRod 12.63, OK Autrod 12.30, OK Autrod 12.58, OK Autrod 12.66, OK Autrod 12.10, OK Autrod 12.32, OK Tigrod 12.60, OK Autrod 12.67, OK Autrod 12.18, OK Autrod 12.34, OK Tigrod 12.61, Pipeweld 70S- 6 Plus Проволока порошковая OK Tubrod 14.10, OK Tubrod 15.60, FILARC PZ6125, Dual Shield 55, OK Tubrod 14.11, OK Tubrod 15.84, FILARC PZ6129, Dual Shield 62, OK Tubrod 14.27, OK Tubrod 15.85, FILARC PZ6130HS, OK Tubrodur14.70, OK Tubrod 14.28, FILARC PZ6102, FILARC PZ6137EG, OK Tubrodur14.71, OK Tubrod 14.37, FILARC PZ6103, FILARC PZ6138, OK Tubrodur14.72, OK Tubrod 15.06, FILARC PZ6103HS, FILARC PZ6138SR, OK Tubrodur15.39, OK Tubrod 15.07, FILARC PZ6104, FILARC PZ6145, OK Tubrodur 15.50, OK Tubrod 15.07E, FILARC PZ6105R, FILARC PZ6146, OK Tubrodur 15.60, OK Tubrod 15.08, FILARC PZ6111, FILARC PZ6148, OK Tubrodur15.65, OK Tubrod 15.09, FILARC PZ6111HS, FILARC PZ6149, OK Tubrodur15.72, OK Tubrod 15.13, FILARC PZ6113, FILARC PZ6155, OK Tubrodur15.79, OK Tubrod 15.13C, FILARC PZ6113S, FILARC PZ6166, OK Tubrodur15.81, OK Tubrod 15.13S, FILARC PZ6114, FILARC PZ6168, OK Tubrodur 15.82, OK Tubrod 15.14, FILARC PZ6114S, FILARC PZ6176, OK Tubrodur15.84, OK Tubrod 15.30, FILARC PZ6115, FILARC PZ6202, OK Tubrodur15.85, OK Tubrod 15.31, FILARC PZ6116, FILARC PZ6204, OK Tubrodur 15.88, OK Tubrod 15.34, FILARC PZ6116S, FILARC PZ6222, OK Tubrod 15.35, FILARC PZ6119, FILARC PZ6225 Флюс сварочный OK FLUX 10.00, OK FLUX 10.11, OK FLUX 10.40, OK FLUX 10.92, OK FLUX 10.03, OK FLUX 10.12, OK FLUX 10.42, OK FLUX 10.93, OK FLUX 10.05, OK FLUX 10.14, OK FLUX 10.45, OK FLUX 10.94, OK FLUX 10.06, OK FLUX 10.16, OK FLUX 10.47, OK FLUX 10.95, OK FLUX 10.07, OK FLUX 10.17, OK FLUX 10.50, OK FLUX 10.96, OK FLUX 10.09, OK FLUX 10.31, OK FLUX 10.90, OK FLUX 10.98, OK FLUX 10.10, OK FLUX 10.37
Фирма «UTP Schweißma- terial GmbH & Co. KG» Elsaesser Straße 10 D- 79189 Bad Krozingen Гер- мания	Электроды UTP 068 HH, UTP 694, UTP Antinit DUR 300, UTP 700, UTP Antinit DUR 500, UTP 7000, UTP CHRONOS, UTP 7008, UTP 1915 HST, UTP 7010, UTP 2133 Mn, UTP 7013 Mo, UTP 2522 Mo, UTP 7015, UTP 2535 Nb, UTP 7015 HL, UTP 2949 W, UTP 7015 NK, UTP 3033 W, UTP 7015 Mo, UTP 3127 LC, UTP 7017 Mo, UTP 32, UTP 702, UTP 32 W, UTP 703 Kb, UTP 320, UTP 704 Kb, UTP 34, UTP 7100, UTP 34 N, UTP 711 B, UTP 3422, UTP 7200, UTP 343, UTP 722 Kb, UTP 3545 Nb, UTP 730, UTP 387, UTP 73 G2, UTP 389, UTP 73 G3, UTP 39, UTP 73 G4, UTP 4225, UTP 75, UTP 47, UTP 750, UTP 48, UTP 759 Kb, UTP 485, UTP 776 Kb, UTP 49, UTP 8, UTP 5 D, UTP 8 Ko, UTP 5 E, UTP 8 NC, UTP 5020 Mo, UTP 80 Ni, UTP 5048 Nb, UTP 80 M, UTP 5520 Co, UTP 807, UTP 6170 Co, UTP 81, UTP 6202 Mo, UTP 82, UTP 6208 Mo, UTP 82 Ko, UTP 6218 Mo, UTP 83 FN, UTP 6220 Mo, UTP 84 FN, UTP 6222 Al, UTP 85 FN, UTP 6222 Mo, UTP 86 FN, UTP 6225 Al, UTP 88 H, UTP 63, UTP 888, UTP 63 Kb, UTP BMC, UTP 6302, UTP Celsit 701, UTP 65, UTP Celsit 706, UTP 65 D, UTP Celsit 712, UTP 651, UTP Celsit 721, UTP 653, UTP Celsit SN, UTP 66, UTP Celsit V, UTP 660, UTP DUR 250, UTP 661, UTP DUR 300, UTP 6615, UTP DUR 350, UTP 6635, UTP DUR 400, UTP 665, UTP DUR 550 W, UTP 6655 Mo, UTP DUR 600, UTP 67 S, UTP DUR 650 Kb, UTP 670, UTP GNX-HD, UTP 672, UTP Ledurit 60, UTP 673, UTP Ledurit 61, UTP 690, UTP Ledurit 65 Проволока стальная сварочная UTP A 2133 Mn, UTP A 2535 Nb, UTP A 63, UTP A 651, UTP A 660, UTP A 661, UTP A 68, UTP A 68 Mo, UTP A 68 Mo LC, UTP A 6824 LC, UTP UP 63, UTP UP 68, UTP UP 6824 LC Припой для пайки UTP 1 M, UTP 570 K, UTP 3040, UTP 35, UTP 1 MR, UTP 6 M, UTP 3040M, UTP 36, UTP 100 M, UTP 3, UTP 3044M, UTP 7M, UTP 2 M, UTP 3034, UTP 306 M, UTP Trifolie, UTP 2 MR, UTP 3034M, UTP 31 NM, UTP 4 Флюсы UTP Flux 4 Mg, UTP Flux 570 Zn, UTP Flux HF, UTP Flux HLS, UTP Flux HLS-B, UTP FX 570 F, UTP FX AGX, UTP Flux 4 NH
ООО ВТК «ЭРА» 49073 г. Днепрпетровск, ул. Пограничная, 44 тел./ф. (056) 370-74-43	Электроды MP-3, АНО-4, УОНИ-13/55

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
ООО «Торговый дом «Плазма ТЕК» 21036 г. Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 25/45 тел. (0432) 53-16-47	Электроды АНО-4, АНО-21, АНО-36, МР-3М, Монолит Проволока стальная сварочная Св-08А
Украинско-латвийское ООО и ИИ «Бадм, ЛТД» 49127 г. Днепропетровск, ул. Базовая, 4 тел. (0562) 36-67-01 ф. (0562) 36-67-10	Электроды УОНИ-13/45, УОНИ-13/55ФК, ДБСК-55 МР-3, МР-3И, АНО-4, АНО-6, АНО-21
ООО «АРКСЕЛ» 83017 г. Донецк, пер. Вятский, 2А тел./ф. (062) 382-94-49 ф. (062) 332-26-51	Электроды АНЖР-1, АНЖР-2, АНЖР-3У, АРК-25, АРК-51, ГЕФЕСТ-6, ГЕФЕСТ-7, ЗИО-8, Комсомолец-100, НИАТ-5, НЖ-13, НЖ-13Р, НИИ-48Г, НИИ-48ГР, НР-70, ОЗЛ-6, ОЗЛ-6Р, ОЗЛ-8, ОЗЛ-8Р, ОЗЛ-9А, ОЗЛ-17У, ОЗЛ-25Б, ОЗН-300М, ОЗН-400М, Т-590, Т-620, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ЦЛ-11, ЦЛ-11Р, ЦЛ-17, ЦЛ-25/2, ЦЛ-39, ЦН-2, ЦН-6Л, ЦН-12М, ЦНИИН-4, ЦТ-15, ЦТ-15К, ЦТ-28, ЦУ-5, ЦЧ-4, ЭА-48М/22, ЭА-395/9, ЭН-60М, ЭА-400/10Т, ЭА-400/10У, ЭА-981/15, МНЧ-2, НИАТ-1, УОНИ-13/85, ОЗЧ-4, ЦТ-10, ЭА-400/13, ЭА-606/11, УОНИ-13/НЖ-2, КТИ-7, УОНИ-13/НЖ/12Х13 Проволока порошковая MEGAFIL® 713R-A, MEGAFIL® 710 M-A, MEGAFIL® 821R-A, MEGAFILR® 822R-A, MEGAFIL® 240 M-A, METMARK® R16 Проволока стальная сварочная Св-04Х19Н9, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н11М3, Св-10Х16Н25АМ6, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08Г2С, Св-08Г2С-О, Св-07Х25Н13 Проволока периодического профиля холоднодеформированная для железобетонных конструкций класса В500С, В600С
ОАО «Северстальметиз» 162600, Россия, г. Череповец Вологодская область, ул. 50-летия Октября, 1/33 Тел. (8202) 53-91-91; ф. (8202) 53-81-09 Филиал Орловский завод Россия, 302025, г. Орел, ул. Раздольная, 105 тел. (08622) 3-76-76 ф. (0862) 46-20-78)	Электроды АНО-4, АНО-21, АНО-36, АНО-ТМ, МР-3, МР-3А, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, УОНИИ 13/45А Проволока стальная сварочная Св-08Г2С
ЧПКП «Агромаш» 49000 г. Днепропетровск, ул. Плеханова, 2/9 тел./ф. (056) 729-48-56, тел. (0562) 27-80-50	Электроды МР-3, МР-3М, АНО-4, АНО-6, АНО-27, УОНИ-13/55
ООО ПКП «Украинская южная компания» 54052, г. Николаев, Заводская площадь, 1 тел. (0512) 35-90-43 ф. (0512) 35-80-54	Электроды УОНИИ-13/45А, УОНИИ-13/55, ИТС-4с, МР-3
ООО «Днепрострой-комплект», 51918 г. Днепродзержинск, ул. Петровского, 187 тел./ф. (0569) 55-100-83	Электроды АНО-4, МР-3, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, Т-590, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭН-60М
ОАО «МЗТМ» 87535 г. Мариуполь, пл. Машиностроителей тел. (0629) 38-54-29 тел./ф. (062) 335-72-35	Электроды УОНИ-13/45, УОНИ 13/55
ООО НПФ «Нефтегазмаш» 02055 г. Киев, ул. Туполева, 46 (044) 536-10-16	Проволока порошковая ПП-АН1 ПП-Нп-80Х20Р3Т, ПП-Нп-150Х15Р3Т2, ПП-Нп-200Х15С1ГРТ, ПП-Нп-14ГСТ, ПП-Нп25Х5ФМС, ПП-Нп35В9Х3СФ, ПП-Нп45В9Х3СФ, ПП-Нп18Х1Г1М, ПП-Нп30Х5Г2СМ, ПП-Нп30Х4Г2М, ПП-Нп10Х14Т, ПП-Нп90Г13НЧ, ПП-НГМ1Ф-25, ПП-НГМ3Ф-50, ПП-НГМ2Ф-35, ПП-НГМ11Ф-30, ПП-НГМ12Ф-40, ПП-НГМ13Ф-45, ПП-НГМ26-30, ПП-НГМ14С-60
НП ООО с ИИ «ДОНИКС» 83086 г. Донецк, ул. Куйбышева, 44 тел. (062) 334-17-51 тел. (0612) 13-26-54	Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-08ГА-О, Св-08Г2С, Св-08Г2С-О, Св-08ХМ, Св-08ХМ-О, Св-10ГН, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-10НМА-О, Св-08Г1НМА, Св-08Г1НМА-О, Св-10Г2, Св-10Г2-О, Св-20Х13, Св-12Х13 Проволока стальная наплавочная Нп-30ХГСА, Нп-65Г, Нп-30Х13, Нп-20Х14, Нп-40Х13
КНПФ «ЭЛНА» 03680 г. Киев-150, ул. Горького, 69	Проволока порошковая ПП-АН1, ПП-АН134Г, ПП-Нп14ГСТ, ПП-АН158, ПП-АН154М, ПП-АН155М, ПП-АН163, ПП-АН163М, ПП-Нп30Х20МН, ПП-Нп20Г2ХС, ПП-АН186, ПП-АН187, ПП-Нп12Х13, ПП-АН156М, ПП-АН167, ПП-АН168, ПП-АН185, ПП-АН186, ПП-АН187, ПП-Нп350Х8Г4С4Р ПП-Нп20Х7ГФМС, ПП-Нп100Х15Г2Н2Р, ПП-Нп40Х13, ПП-АНЧ-2С, ПП-АНЧ-5М ПП-Нп35В9Х3СФ, ПП-АН125, ПП-АН122, ПП-АН120, ПП-АН170, ПП-АН130

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
ОАО «Лосиноостровский электродный завод» 129337, РФ, г. Москва, Хибинский проезд, 3	Электроды ЛЭЗУОНИ-13/55, ЛЭЗАНО-4Т, ЛЭЗОЗС-4Т, ЛЭЗМР-3, ЛЭЗОЗС-4, ЛЭЗАНО-4, ЛЭЗОЗС-12, ЛЭЗОЗС-6, ЛЭЗУОНИ-13/45, ЛЭЗЛБгг, ЛЭЗТМУ-21У, ЛЭЗЦУ-5, ЛЭЗУОНИ-13/65, ЛЭЗУОНИ-13/55У, ЛЭЗВИ-10-6/Св-08А, ЛЭЗМР-3Т, ЛЭЗМР-3С, ЛЭЗМР-3А, ЛЭЗУОНИ-13/55А, ЛЭЗУОНИ-13/55С, ЛЭЗЛБ-60, ЛЭЗАНО-6, ЛЭЗАНО-21, ЛЭЗОЗС-18, ЛЭЗТМЛ-1У, ЛЭЗТМЛ-3У, ЛЭЗТМЛ-5, ЛЭЗЦЛ-17, ЛЭЗЦЛ-39, ЛЭЗУОНИ-13/85, ЛЭЗУОНИ-13/85У, ЛЭЗНИАТ-3М, ЛЭЗЦЛ-11, ЛЭЗОЗЛ-7, ЛЭЗОЗЛ-8, ЛЭЗОЗЛ-6, ЛЭЗ-8, ЛЭЗНЖ-13, ЛЭЗЦТ-15, ЛЭЗЭА-395/9, ЛЭЗЭА-400/10У, ЛЭЗОЗЛ-36, ЛЭЗАНЖР-1, ЛЭЗНИАТ-5, ЛЭЗОЗЛ-5, ЛЭЗНИИ-48Г, ЛЭЗЦЛ-9, ЛЭЗ-99, ЛЭЗОЗЛ-9А, ЛЭЗ-29/9, ЛЭЗАНЖР-2, ЛЭЗОЗЛ-19, ЛЭЗОЗЛ-20, ЛЭЗУОНИ-13/НЖ/12Х13, ЛЭЗОЗЛ-17У, ЛЭЗЭА-981/15, ЛЭЗНИАТ-1/04Х19Н9, ЛЭЗОЗЛ-25Б, ЛЭЗЦТ-28, ЛЭЗ-11, ЛЭЗЗИО-8, ЛЭЗК-04, ЛЭЗКТИ-5, ЛЭЗТ-620, ЛЭЗТ-590, ЛЭЗ-4, ЛЭЗЦНИИ-4, ЛЭЗЦН-6Л, ЛЭЗНР-70, ЛЭЗОЗН-6, ЛЭЗУОНИ-13/НЖ/20Х13, ЛЭЗОЗН-300М, ЛЭЗОЗН-400М, ЛЭЗАНП-13, ЛЭЗЦН-12М, ЛЭЗНЧ-2, ЛЭЗЦЧ-4, ЛЭЗМНЧ-2, ЛЭЗОЗЧ-2, ЛЭЗОЗЧ-6, ЛЭЗАИЦ/ОЗМ-3, ЛЭЗКомсомолец-100, ЛЭЗОЗБ-2М, ЛЭЗОЗР-1
Фирма «SOUDOKAY S.A.» Бельгия-Rue de l'Yser, 2 B-7180 SENEFFE BELGIUM	Проволока порошковая SK 14Mn-O, SK 089-O, SK 162-O, SK 19.17.5L-O, SK 218-O, SK 219-S, SK 228-G, SK 228-O, SK 240-O, SK 242-O, SK 242-S, SK 250-G, SK 252-O, SK 252-S, SK 255-O, SK 255-S, SK 256-O, SK 257-O, SK 258 TiC-G, SK 258L-O, SK 258L-SA, SK 258-O, SK 258-SA, SK 258TiC-O, SK 260-M, SK 262-M, SK 263-SA, SK 275-O, SK 307-G, SK 309Mo-O, SK 309-O, SK 350-G, SK 350-O, SK 370-O, SK 385-SA, SK 402-G, SK 402-O, SK 402-S, SK 410C-G, SK 410NiMo-SA, SK 415-O, SK 415-SA, SK 420-M, SK 420-O, SK 420-SA, SK 430C-SA, SK 430-G, SK 430NiMo-SA, SK 430-O, SK 450-G, SK 460-O, SK 461-SA, SK 500-G, SK 519-G, SK 600-G, SK 624-O, SK 625-G, SK 650-G, SK 740-SA, SK 741-G, SK 741-O, SK 785-O, SK 795-O, SK 797-O, SK 820-O, SK 825-M, SK 828-M, SK 830-MF, SK 835-G, SK 840-MF, SK 845-G, SK 848-M, SK 850-MF, SK 856-G, SK 858-M, SK 860-MF, SK 865-G, SK 866-O, SK 868-M, SK 878-M, SK 900 Ni-G, SK 900-O, SK A 43-S, SK A 45-S, SK A 70-G, SK A12-O, SK A40-O, SK A43-O, SK A45-O, SK A45W-O, SK A46-O, SK A67-O, SK AP-G, SK AP-O, SK AP-OSP, SK AP-S, SK BU-O, SK BU-C1, SK BU-S, SK CrMo15-SA, SK CrNi-25-4-G, SK D 35-S, SK D11-G, SK D12-G, SK D15-G, SK D16-G, SK D20-G, SK D25-G, SK D35-G, SK D40-G, SK D7-G, SK D8-G, SK FN-G, SK FNM-G, SK FNMS-G, SK NiCr3-G, SK SOUDOCORE 55-NiO, SK STELKAY 1 G, SK STELKAY 12 G, SK STELKAY 21-G, SK STELKAY 21L-G, SK STELKAY 25-G, SK STELKAY 50-G, SK STELKAY 6 AG, SK STELKAY 6 G, SK TOOL-ALLOY C-G, SK TOOL-ALLOY Co-G, SK TUBINOX-G307, SK U520Co-G, SK U520-G, SK U520-G SP Флюсы RECORD SB, RECORD 13 BLFT, RECORD CuAlW, RECORD CuNi30T, RECORD CuNiW, RECORD EST 122, RECORD EST 122 Mo, RECORD EST 126, RECORD EST 136, RECORD EST 200, RECORD EST 201, RECORD EST 236, RECORD EST 259, RECORD EST 308-1, RECORD EST 316-1, RECORD EST 317-1, RECORD EST 347-1, RECORD EST 385-1, RECORD EST 400, RECORD EST 423, RECORD EST 426, RECORD EST 452, RECORD IN, RECORD IND 24, RECORD IND 24-F, RECORD IND 27, RECORD INT 101, RECORD INT 101 Mo, RECORD INT 102, RECORD INT 109, RECORD INT 316, RECORD NFT 201, RECORD NiCr3TQ5, RECORD NiCrW, RECORD NiCrW 412, RECORD NiCuT, RECORD NiCuW, RECORD NiT, RECORD R250, RECORD R400S, RECORD RT 146, RECORD RT 152, RECORD RT 157, RECORD RT 159, RECORD RT 162, RECORD RT 178 RECORD RT 182, RECORD RT 250, RECORD RT 350, RECORD RT 400 D, RECORD S 46T, RECORD SA, RECORD SF, RECORD SK, RECORD SNi, RECORD SO, RECORD SR Ленты Soudotape A, Soudotape 20.25.5 LCu, Soudotape 21.11 LNb, Soudotape 21.13.3 L, Soudotape 22.11 L, Soudotape 22.6.3 L, Soudotape 22.9.3 L, Soudotape 24.12 LNb, Soudotape 308 L, Soudotape 309 L, Soudotape 310 MM, Soudotape 316 L, Soudotape 347, Soudotape 410 L, Soudotape 410 NM, Soudotape 420, Soudotape 430, Soudotape 430 L, Soudotape 430 LNi, Soudotape 625, Soudotape 825, Soudotape B, Soudotape CuNi30, Soudotape NiCr3, Soudotape NiCr3H, Soudotape NiCrMo22, Soudotape NiCrMo4, Soudotape NiCrMo59, Soudotape NiCrMo7, Soudotape NiCu7, Soudotape NiTi, Soudotape S 258, Soudotape S 307, Soudotape S 309 LNb, Soudotape S 32.27, Soudotape SCoCr21, Soudotape SCoCr6, Soudotape SCrNi26.22Mn, Soudotape SCrNi32.27Mn Порошковые проволоки SK 162C-O, SK 242-OMOD, SK 299-O, SK 430HC-O, SK 866C-O, SK A43-OB, SK A43-OB-L1, SK A43-OSP, SK A45-OSP, SK A83-OSP, SK CANE-GRIP-B, SK CANE-GRIP-S, SK CRMO21Ni-O, SK F-EHCr65, SK TC5-O, SK 20CrMo-SA, SK 258 NbC-SA, SK 410-SA, SK 430Mo-SA, SK 461C-SA, SK 740-DK, SK 742N-SK, SK A43-S, SK A45-S, SK 13Cr-4Ni-G, SK 59-G, SK 258-G, SK 258L-G, SK 332-G, SK A 70-G, SK D7-G, SK D8-G, SK D45-G, SK D46-G, SK F-EHCr65-G, SK 235-M, SK 265-M, SK 870-MF, SK 900-MF, SK STELKAY 400-M Флюсы UTP Flux 4 Mg, UTP Flux AGX, UTP Flux HLS, UTP Flux HLS-B, UTP Flux HF, UTP Flux 570, UTP Flux 570 F, UTP Flux 5
Фирма «Castolin» («M.P.I.Metal Powders International») Ирландия Main Road Tallaght Dublin 24	Порошки BoroTec 10009, Eutalloy PE 5435, Eutalloy RW 10212, EutroLoy 16001, Proxon 21021, Gritalloy 10011, Eutalloy PE 5436, Eutalloy RW 12112, EutroLoy 16002, Proxon 21022, CobalTec 10092, Eutalloy PE 6220, Eutalloy RW 12494, EutroLoy 16006, Proxon 21031, TungTec 10112, Eutalloy SF PE 8213, Eutalloy RW 12495, EutroLoy 16008, Proxon 21032, NiTec 10224, Eutalloy SF PE 8214, Eutalloy RW 12496, EutroLoy 16012, Proxon PR 3029, UltraLoy 10611, Eutalloy SF PE 8215, Eutalloy RW 12497, EutroLoy 16221, PM Powders PM 5460, ChromTec 10680, Eutalloy SF PE 8216, Eutalloy RW 12525, EutroLoy 16223, EutroLoy PM 5482, Eutalloy 10146, Eutalloy SF PE 8217, Eutalloy RW 12999, EutroLoy 16224, CoroResist 19300, Eutalloy 10185, Eutalloy SF PE 8225, Eutalloy RW PE 1238, EutroLoy 16316, HardTec 19400, Eutalloy 10186, Eutalloy SF PE 8235, Eutalloy RW PE 1525, EutroLoy 16454, DuroTec 19910, Eutalloy 10675, Eutalloy SF PE 8261, Eutalloy RW 17525, EutroLoy 16481, LubroTec 19985, Eutalloy PE 10819 WS, Eutalloy PE 8731, Eutalloy RW 12535, EutroLoy 16494, Proxon 21023, Eutalloy 10900, Eutalloy PE 8735, Eutalloy RW 53606, EutroLoy 16495, Proxon 21071, Eutalloy 10911 FL, Eutalloy PE 8740, Eutalloy RW PE 3307, EutroLoy 16496, Ultra Bond 51000, Eutalloy PE 115, Eutalloy CP 8901FL, Eutalloy RW PE 3308, EutroLoy 16497, Rototec 19310, Eutalloy PE 1202, Eutalloy PE 8901, Eutalloy RW PE 3309, EutroLoy 16604, Rototec 19404, Eutalloy PE 1203, Eutalloy PE 8904, Eutalloy RW PE 3361, EutroLoy 16606, Rototec 19800, Eutalloy PE 1204, Eutalloy PE 8911, Eutalloy RW PE 8010, EutroLoy 16659, Rototec 19850, Eutalloy PE 1212, Eutalloy PE 8913, Eutalloy RW PE 8014, EutroLoy 16800, Rototec 19868, Eutalloy PE 1218, Eutalloy PE 8922, Eutalloy RW PE 8015, EutroLoy PG 4298, Rototec 19940, Eutalloy PE 1227, Eutalloy PE 8928, Eutalloy RW PE 8033, EutroLoy PG 4881, Rototec 19999, Eutalloy PE 1229, Eutalloy PE 8935, Eutalloy RW PE 8040, EutroLoy PG 5218, Rototec 21055, Eutalloy SF 15211, Eutalloy PE 8950, Eutalloy RW PE 8045, EutroLoy PG 5964, Rototec 29011, Eutalloy SF 15285, Eutalloy PE 8960, Eutalloy RW PE 8050, EutroLoy PG 6503, Rototec 29012, Eutalloy SF 15296, Eutalloy PE 8961, Eutalloy RW PE 8060, EutroLoy PG 6504, Rototec 29013, Eutalloy 15535, Eutalloy PE 8979, Eutalloy RW PE 8093, EutroLoy PG 6505, Rototec 29021, Eutalloy 15999, Eutalloy PE 8980, Eutalloy RW PE 8096, EutroLoy PG 6516, Rototec 29029S, Eutalloy PE 3305, Eutalloy PE 8981, Eutalloy RW PE 8097, EutroLoy PG 6550, Rototec 29061, Eutalloy PE 3306, Eutalloy PE 8985, Eutalloy RW PE 8902, Rototec 29079, Eutalloy PE 3583, Eutalloy PE 9001, Metaceram 28010, Rototec 29096, Eutalloy 52606, Metaceram 28020, Rototec 29220LT, Eutalloy PE 5400, Metaceram 28030, Rototec 29230LT, Eutalloy PE 5404, Metaceram 28060, Rototec 29240 LT, Metaceram 28085, Metaceram 28095

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
	Электроды EutecTrode XHD2100, EutecTrode EC 7910, EutecTrode 1850, Xuper 1608, EutecDur N102, EutecTrode 2101S, EutecTrodeEC 7935, EutecTrode 1851, Xuper 1616, EutecTrode EC3292, EutecTrode 2103, EutecTrode EC 7938, EutecTrode XHD 1855, EutecTrode CP33000, EutecTrode CP35200, EutecTrode EC 4001, EutecTrode EC 7940, EutecTrode 1868, EutecTrode CP33033, EutecTrode EC4002, EutecTrode XHD7938, EutecTrode 285, EutecTrode CP33273, EutecTrode EC4004, Xuper 2226, Eutec Dur N9010, EutecTrode EC4085, EutecTrode CP33300, EutecTrode EC4010, Xuper 2240, EutecTrode N9025, Xuper 2800, EutecTrode CP33500, EutecTrode EC4015, EutecTrode XHD 2230, EutecTrode N9060, EutecTrode CP33700, EutecTrode EC4046, EutecTrode 223, EutecTrode N9080, EutecTrode 6600, Castinox E307-17, EutecTrode EC4050, EutecTrode 224, EutecTrode N9120, EutecTrode 6601, Castinox E308L-17, Xuper AbraTec5006, EutecTrode 225, EutecTrode 6666, Castinox E308L-17/VD, XuperTurboTec5300, EutecTrode 244, CufTrode 01, EutecTrode Automatic, Castinox E309L-17, EutecTrode 6006, EutecTrode XHD 2480, Chamfertrode 03, Castinox E309MOL-17, EutecTrode 6055, EutecTrode 27, Chamfertrode 04, EutecTrode 680N, Castinox E310-17, EutecTrode XHD6080, EutecTrode EC 4023, EutecTrode EC4000, EutecTrode X680S, Castinox E312-17, EutecTrode N6200, EutecTrode EC 4040, EutecTrode X2220, EutecTrode XHD6817, Castinox E316L-17, EutecTrode 6, EutecTrode EC 4044, EutecTrode 2222M, EutecTrode XHD6868, Castinox E316L-17/VD, EutecTrode 640, EutecTrode EC 7330D, EutecTrode XHD2222, EutecTrode X686, Castinox E 317L-17, EutecTrode 6450, EutecTrode EC4022, EutecTrode 690SF, Castinox E 347-17, EutecTrode XHD646, EutecTrode 6800, EutecTrode EC7220, Castinox E 383-17, EutecTrode XHD 6710, EutecTrode XHD6822, Castinox ALH, EutecTrode 6715, EutecTrode XHD6865, Castinox BLH, EutecTrode 6804, EutecTrode XHD6899, Castinox D, EutecTrode 6806, XuperNucleoTec 2222, EutecTrode 6807, EutecTrode E7625, EutecDur N700, EutecDur N6070 Порошковые проволоки EnDOtec DO 55, TeroMatec 3952, EnDOtec DO 60, EnDOtec DO 02, EnDOtec DO 322, TeroMatec 4297, EnDOtec DO 66 S, EnDOtec DO 70, EnDOtec DO 04, EnDOtec DO 327, TeroMatec 4415, EnDOtec DO 80, EnDOtec DO 05, EnDOtec DO 332, TeroMatec 4601, EuTronic Arc 501, EnDOtec DO 85, EnDOtec DO 06, EnDOtec DO 340, TeroMatec 4625, EuTronic Arc 502, EnDOtec DO 09, EnDOtec 7431 EG, TeroMatec 4630, EuTronic Arc 508, EnDOtec DO 22, EnDOtec XDO 11, EnDOtec CAVITEC GMA, TeroMatec 4660, EuTronic Arc 509, EnDOtec DO 83, EnDOtec DO 13, TeroMatec 688 OA, TeroMatec 5091EG, EuTronic Arc 532, EnDOtec DO 84, EnDOtec DO15, TeroMatec 690 OA, TeroMatec 5254, EnDOtec DO 16, TeroMatec 2010, ARC 501 ARC, EnDOtec DO 53, EnDOtec DO 23, TeroMatec 3110, ARC 502 ARC, EnDOtec DO 30, TeroMatec 3205, ARC 509 ARC, EnDOtec DO 31, TeroMatec 3220, EnDOtec DO 33, TeroMatec 3302, EnDOtec DO 26, EnDOtec DO 48, TeroMatec 3530
Фирма «Castolin France» Франция 22, Av. DuQuebec BP 325 Z. A. Courtaboeuf 1 — Ville- bon 91958 Courtaboeuf Cedex	Электроды Castolin E 316L-17, Castolin 6666N, Castolin 2, Castolin 244NC, Castolin 640, Castolin E 318-17, Castolin 1868, Castolin 6, Castolin XHD 2230, Castolin 646 XHD, Castolin E 385-17, Castolin EC 4085, Castolin N 102, Castolin XHD 2480, Castolin 680S, Castolin E 2209-17, Castolin EC 4001, ULTIMIUM 112, Castolin EC 4023, Castolin 686, Castolin 1602S, Castolin CuTrode 01, Castolin EC 3292, Castolin EC 4024, Castolin 690, Castolin 1610S, CastolinExoTrode ou 3 EX, Castolin EC 4004, Castolin EC 4040, Castolin 690 SF, Castolin 1616, Electrodes Arcair, Castolin EC 4050, Castolin EC 7330D, Castolin CP 3922, Castolin CP 33000, Castolin N 700, Castolin 6055, Castolin CP 3981, Castolin EC 33226, Castolin EC 4010, Castolin 6806, Castolin EC 4022, Castolin EC 33273, Castolin EC 4015, Castolin CP 35200, Castolin EC 4046, Castolin EC 33300, Castolin EC 4541, Castolin 54355, Castolin 6825, Castolin CP 33500, Castolin 5006, Castolin EC 3279, Castolin 6868 XHD, Castolin EC 3218, Castolin N 6060, Castolin CP 3922, Castolin 7220, Castolin EC 4102, Castolin 6065, Castolin EC 4022, Castolin 54690, Castolin EC 4108, Castolin N 6070, Castolin EC 4104, Castolin E 307-17, Castolin EC 4109, Castolin 6825, Castolin E 308L-17, Castolin EC 4257, Castolin EC 7910, CastolinE 309 MoL-17, Castolin 6464, Castolin EC 7935, Castolin E 310-17, Castolin 6601, Castolin EC 7938, Castolin EC 7940 Проволоки для сварки MIG и MAG CastoMag 45612, CastoMag 45515, CastoMag 45252, CastoMig 45706, CastoMig 45806, CastoMag 45654, CastoMag 45516, CastoMag 45254, CastoMig 45707, CastoMig 45002, CastoMag EG 5216, CastoMag 45520, CastoMag 45257, CastoMig 45750, CastoMig 45351, CastoMag 45002L, CastoMag 45552, CastoMag 73395, CastoMig 45751, CastoMig 45612, CastoMag 45500, CastoMag 45554, CastoMag 73499, CastoMig 45802, CastoMig 45654, CastoMag 45503, CastoMag 45250, CastoMig 45701, CastoMig 45803, CastoMig 45655, CastoMag 45505, CastoMag 45251, CastoMig 45703, CastoMig 45805, CastoMig 45656, CastoMag 45513 Прутки и проволока для сварки TIG Casto TIG 45507W, Casto TIG RB 3229, Casto TIG 45707W, Casto TIG 45301W, Casto TIG 45421W, Casto TIG 45612W, Casto TIG RB 5248, Casto TIG 45801W, Casto TIG 45303W, Casto TIG 45425W, Casto TIG 45654W, Casto TIG 45701W, Casto TIG 45802W, Casto TIG 45305W, Casto TIG 45612W, Casto TIG 45500W, Casto TIG 45703W, Casto TIG 45805W, Casto TIG 45355W, Casto TIG 45654W, Casto TIG 45503W, Casto TIG 45704W, Casto TIG 45806W, Casto TIG 45406W, Casto TIG 45655W, Casto TIG 45516W, Casto TIG 45706W, Casto TIG 45412W, Casto TIG 45656W, Casto TIG 45513W, Casto TIG 45660W, Casto TIG 45515W, Casto TIG 45520W, Casto TIG 45552W, Casto TIG 45252W, Casto TIG 45255W Прутки для пайки Castolin 1030 F, Castolin 181, Castolin 800, Castolin 14F, Castolin RT 5217, Castolin 1020 XFC, Castolin 1030 XFC, Castolin 181 F, Castolin 801, Castolin 16, Castolin RT 5241, Castolin 1700, Castolin 1020 F, Castolin 804, Castolin 16F, Castolin 185, Castolin 1702, Castolin 1020 XFC, Castolin 806, Castolin 16XFC, Castolin 185 F, Castolin 1802 F, Castolin 1655, Castolin 808, Castolin 18, Castolin 185 XFC, Castolin 1802 XFC, Castolin 1655 F, Castolin 808 G, Castolin 18F, Castolin 186, Castolin 1802 G, Castolin 1665, Castolin 1803D, Castolin 18 XFC, Castolin 186 F, Castolin Xuper 1802, Castolin 1665 F, Castolin 1805, Castolin 146, Castolin E7620, Castolin 1810 F, Castolin 1665 XFC, Castolin RB 3204, Castolin 146 F, Castolin E7621, Castolin 3217, Castolin 1666, Castolin RB 4242, Castolin 146 XFC, Castolin E7622, Castolin RB 4240, Castolin 1666 XFC, Castolin RB 4270, Castolin 146 XFG, Castolin 7888 SH, Castolin 4240 NF, Castolin 1703, Castolin RB 5246, Castolin73350, Castolin 7888 T, Castolin 4268 NF, Castolin Xuper 1800, Castolin RB 5280, Castolin 157, Castolin CastoDrill 8800, Castolin 5230 NF, Castolin 1806, Castolin RB 5283, Castolin 157 BN, Ultimium 8811, Castolin RB 5234, Castolin RB 5286, Castolin 1827, Castolin 21 F, Castolin RF 5234, Castolin RT 3232, Castolin 190, Castolin 4299 G, Castolin 210, Castolin 38240 F Сплавы в форме порошка RotoTec 51000, Eutalloy 10009, Eutalloy 15685, CastoPlast 31200, Euroloy 16025, RotoTec 51990, Eutalloy 10011, Eutalloy 15999, MetaCeram 28020, Euroloy 16221, RotoTec 19200, Eutalloy 10020, Eutalloy 12031, MetaCeram 28030, Euroloy 16604, RotoTec 19310, Eutalloy 10027, Eutalloy 12039, MetaCeram 28085, Euroloy 16606, RotoTec 19400, Eutalloy 10036, Eutalloy 12045, MetaCeram 28095, Euroloy 16648, RotoTec 19800, Eutalloy 10112, Eutalloy 12057, Euroloy 6503, RotoTec 19850, Eutalloy 10185, Eutalloy RW 12112, Euroloy 16001, Meca Tec Express, RotoTec 19868, Eutalloy 10224, Eutalloy RW 12494, Euroloy 16006, Meca Tec III, RotoTec 19940, Eutalloy 10611, Eutalloy RW 12495, Euroloy 16008, Meca Tec A5, RotoTec 19985, Eutalloy 10680, Eutalloy RW 12999, Euroloy 16012, Meca Tec A5HT, RotoTec 19999, Eutalloy 5404, Eutalloy RW 17496, RotoTec 29230, Eutalloy 8985, Eutalloy RW 17497, RotoTec 29240, Eutalloy 9001, Eutalloy RW 17535, ProXon 21021, ProXon 21023, ProXon 21031, ProXon 21071

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
Фирма «CASTOLIN GmbH» (Германия) Gutenbergstraße, 10 D-65830 Kriftel	Электроды Castolin 71D, EutecTrode 6666N, EutecTrode 35056, EutecTrode 35066, EutecTrode 35076, EutecTrode 35077, EutecTrode 35078, EutecTrode 35086, EutecTrode 35088, EutecTrode 35089, EutecTrode 35200, EutecTrode 35253, EutecTrode 35273, Castolin CP 33516, Castolin CP 33800, Castolin 6825, Castolin 5088, Castolin Xuper AbraTec 6088, EutecTrode E307-17, EutecTrode E308L-17, EutecTrode E308L-17/VD, EutecTrode E309L-17, EutecTrode E309MoL-17, EutecTrode E310-17, EutecTrode E312-17, EutecTrode E316L-17, EutecTrode E316L-17VD, EutecTrode E317L-17, EutecTrode E318-17, EutecTrode E347-17, EutecTrode E383-17, EutecTrode E385-17, EutecTrode E2209-17 Проволоки сплошного сечения CastoMag 45640 Ti, CastoMag 45250, CastoMag 45252, CastoMag 45253, CastoMag 45254, CastoMag 45255, CastoMag 45257, CastoMag 45258, CastoMag 45273, CastoMag 45500 S, CastoMag 45503 S, CastoMag 45505 S, CastoMag 45507 S, CastoMag 45513 S, CastoMag 45515, CastoMag 45516, CastoMag 45516 S, CastoMag 45519, CastoMag 45520, CastoMag 45522 S, CastoMag 45553 S, CastoMag 45554 S, CastoMag 45612, CastoMag 45651, CastoMag 45653, CastoMag 45654, CastoMag 45655, CastoMag 45656, CastoMag 45657, CastoMag 45660, CastoMag 45301, CastoMag 45303, CastoMag 45305, CastoMag 45351, CastoMag 45352, CastoMag 45353, CastoMag 45354, CastoMag 45355, CastoMag 45701, CastoMag 45703, CastoMag 45704, CastoMag 45706, CastoMag 45709, CastoMag 45710, CastoMag 45751, CastoMag 45752, CastoMag 45754, CastoMag 45756, CastoMag 45758, CastoMag 45801, CastoMag 45802, CastoMag 45803, CastoMag 45805, CastoMag 45806, CastoMag 45807, CastoMag 45810, CastoMag 45513 WS, CastoMag 45515 W, CastoMag 45516 WS, CastoMag 45517 W, CastoMag 45518 W, CastoMag 45519 W, CastoMag 45520 W, CastoMag 45523 W, CastoMag 45552 WS, CastoMag 45553 WS, CastoMag 45554 WS, CastoWig 45612 W, CastoWig 45651 W, CastoWig 45653 W, CastoWig 45654 W, CastoWig 45655 W, CastoWig 45656 W, CastoWig 45657 W, CastoWig 45660 W, CastoWig 45301 W, CastoWig 45303 W, CastoWig 45305 W, CastoWig 45308 W, CastoWig 45318 W, CastoWig 45351 W, CastoWig 45352 W, CastoWig 45353 W, CastoWig 45355 W, CastoWig 45401 W, CastoWig 45406 W, CastoWig 45412 W, CastoWig 45421 W, CastoWig 45701 W, CastoWig 45703 W, CastoWig 45704 W, CastoWig 45706 W, CastoWig 45707 W, CastoWig 45708 W, CastoWig 45709 W, CastoWig 45710 W, CastoWig 45751 W, CastoWig 45758 W, CastoWig 45761 W, CastoWig 45801 W, CastoWig 45802 W, CastoWig 45803 W, CastoWig 45805 W, CastoWig 45806 W, CastoWig 45807 W, CastoWig 45859 W, CastoWig 45860 W, 45273 LA, 45303 LA, 45351 LA, 45355 LA, 45366 LA, 45367 LA, 45368 LA, 45553 LA, 45802 LA, 45860 LA Прутки для WIG-сварки CastoMag 45252 W, CastoMag 45253 W, CastoMag 45255 W, CastoMag 45273 W, CastoMag 45500 WS, CastoMag 45503 WS, CastoMag 45505 WS, CastoMag 45507 WS Порошковые проволоки CastoDur EG 7465, CastoDur EG 7466, CastoDur EG 7467, EnDOtec DO 65S, EnDOtec DO 66S, EnDOtec DO 265S, EnDOtec DO 266S, EnDOtec DO 267, CastoDur EG 7428, EnDOtec DO 24S, EnDOtec DO 25S, EnDOtec DO 28S, EnDOtec DO 65S, EnDOtec DO 66S, EnDOtec DO 265S, EnDOtec DO 266S, EnDOtec DO 267, CastoDur EG 7428, EnDOtec DO 24 S, EnDOtec DO 25 S, EnDOtec DO 28 S, EnDOtec DO 29, EnDOtec DO 69, EnDOtec DO 55, E+C TeroMatec AN 4226, E+C TeroMatec AN 2010 Прутки для пайки Castolin 14 DR, Castolin CP 21255, Castolin UltraMax 111, Castolin XuperMax7111, Castolin Xuper DrillTec 8800, Castolin Ultimium 8888 Порошки EuTroLoy 16313, EuTroLoy 16316, EuTroLoy 16410, EuTroLoy 16604, EuTroLoy 16606, EuTroLoy 16659, EuTroLoy 16670, EuTroLoy PG 6501, EuTroLoy 16221, EuTroLoy 16223, EuTroLoy 16224, EuTroLoy 16262, EuTroLoy 16454 A, EuTroLoy 16494, EuTroLoy 16495, EuTroLoy 16496, EuTroLoy 16497, EuTroLoy 16618, EuTroLoy 16625, EuTroLoy 16625 M, EuTroLoy 1626, EuTroLoy 16800, EuTroLoy PG 6503, EuTroLoy PG 6504, EuTroLoy PG 6505, EuTroLoy 16001, EuTroLoy 16002, EuTroLoy 16006, EuTroLoy 16008, EuTroLoy 16012, EuTroLoy 16019, EuTroLoy 16025, EuTroLoy PG 5218
Фирма «Drahtzug Stein wire & welding» D-67317 Alteiningen, Talstrasse, 2, Германия	Электроды MEGAFIL 710 M, MEGAFIL 713 R, MEGAFIL 731 B, MEGAFIL 822R Проволока стальная сварочная SDA 2, SDA S2 Флюс марки ST 65 Проволока порошковая MESALOX® R16
ООО «МЕТИЗ-ТРЕЙД» 69002 г. Запорожье, ул. Артема, 67, к. 55	Проволока стальная сварочная Св-08Г2С, Св-08Г2С-О
ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» 87504 г. Мариуполь, ул. Левченко, 1	Электроды АНО-4, МР-3, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55 Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08А
ООО «ПОЛИМЕТ» 83004, г. Донецк, ул. Университетская, д. 118	Электроды АНО-4, АНО-21, АНО-24, АНО-4Ж, МР-3М УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/45СМ, УОНИ-13/55СМ, ЦЛ-11, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЭА-400/10У Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08А, Св-08Г2С, Св-10ХМ
ООО «Универсал-Центр» 52005, Днепропетровская обл. Днепропетровский район, пгт Юбилейное, ул. Тепличная, 27	Проволока стальная сварочная Св-08, Св-08А, Св-08Г2С Электроды АНО-4, МР-3, АНО-27, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55
МГВП «ГЕФЕСТ» 03150 г. Киев ул. Боженко, 11	Электроды ГЕФЕСТ-6, ГЕФЕСТ-7, НР-70, ЦН-6Л, Т-590, Т-620, НЖ-13, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ОЗЛ-9А, ОЗЛ-25Б, ОЗЛ-17У, ЦЛ-11, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, ЦЛ-39, ЦТ-15, ЦУ-5, ЦН-12М, УОНИ 13НЖ, ЦНИИ-4, ЭА-395/9, ЭА-981/15, ЭА-48М/22, ЗИО-8, ЭА-400/10У, ЭА-400/10Т, АНЖР-1, АНЖР-2, ЦЧ-4, Комсомолец-100

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
Фирма «Boehler Thyssen Schweisstechnik» D59067 Hamm, Unionstrasse, 1 Германия	Электроды Phoenix 120 K; Phoenix SH Ni 2 K 130; Phoenix Chromo 5; Phoenix 6013; Phoenix SH Schwarz 3 K; Phoenix Chromo 9 V; Phoenix 7018; Phoenix SH Schwarz 3 K Ni; Thermanit MTS 3; Phoenix K 50; Phoenix SH Schwarz 3 KR; Thermanit MTS 4; Phoenix K 50 R; Phoenix SH Schwarz 3 MK; Thermanit MTS 616; Phoenix K 50 R Mod.; Phoenix SH Schwarz 3 T; Thermanit MTS 911; Phoenix SH Chromo 2 KS; Phoenix SH Schwarz 3 TR; Thermanit Nicro 182; Phoenix SH Kupfer 1 K; Thermanit 17/15 TT; Thermanit Nicro 82; Phoenix SH Kupfer 1 KC; Thermanit 19/15 H; Thermanit Nimo C; Phoenix SH Kupfer 1 TR; Phoenix Blau Mo; Thermanit Nimo C 22; Phoenix SH Kupfer 3 K; Thermanit 21/33 So; Thermanit Nimo C 24; Phoenix SH Kupfer 3 KC; Thermanit 22/09; Thermanit Nimo CW; Phoenix SH Grun K 70; Thermanit 25/22 H; Phoenix NiMo 100; Phoenix SH V 1; Thermanit 30/40 E; Thermanit 20/25 CuW; Phoenix SH V 370; Thermanit 617; Thermanit 21/33; Phoenix SH Lila R; Thermanit 625; Thermanit 20/25 Cu; Phoenix SH Ni 2 K 70; Phoenix Chromo 1; Thermanit 35/45 Nb; Phoenix SH Ni 2 K 90; Phoenix Cromo 1 K; Thermanit 25/35 R; Phoenix SH Ni 2 K 100; Phoenix Chromo 2 V; Thermanit 13/65 TTW 150 Thermanit CM; Phoenix Chromo 3 V Проволока Thermanit 13/04 Si; Thermanit MTS 3; Thermanit GE-316L Si; Thermanit 17/15 TT; Thermanit MTS 4 Si; Thermanit GE-316L Thermanit 19/15 H; Thermanit MTS 616; Thermanit C Si; Thermanit 20/25 Cu; Thermanit MTS 911; Union SG 2-H; Thermanit 21/33 So; Thermanit ATS 4; Union SG 3-H; Thermanit 22/09; Thermanit HE; Thermanit 1720; Thermanit 25/14 E-309L; Thermanit HE Si; Thermanit 1740; Thermanit 25/22 H; Thermanit 14 K; Thermanit JE-308L Si; Thermanit 30/40 E; Thermanit Nicro 82; Thermanit JE-308L; Thermanit 617; Thermanit Nimo C; Thermanit 18/17 E; Thermanit 625; Thermanit Nimo C 22; Thermanit 20/10; Thermanit 686; Thermanit Nimo C 24; Union I 1,2 Ni; Thermanit A; Thermanit X; Union I 2; Thermanit A Si; Union S2; Union I 2,5 Ni; Thermanit H Si; Thermanit 35/45 Nb; Union I 52; Thermanit H-347; Thermanit 25/35 R; Union I CrMo Флюсы UV 306; UV 421 TT; Marathon 431; UV 400; Marathon 104; Marathon 543; UV 480 TT; Marathon 213; Marathon 444
Фирма «ASKAYNAK Kanyak Teknigi Sanayi ve Ticaret AS.» 81450 Kartal, Стамбул, Турция	Электроды AS R-116; AS DA-771; AS Oluk Acma; AS R-132; AS DA-774; AS Kesme; AS R-143; AS DA-777; STARWELD KARBON; AS R-144; AS DA-778; AS SD-CR 10; AS R-146; AS P-307; AS SD-CR 13; AS B-204; AS P-308 L; AS SD-60; AS B-235; AS P-308 Mn; AS SD-65; AS B-248; AS P-308 Mo; AS SD-300; AS B-255; AS P-309 L; AS SD-350; AS B-268; AS P-309 Mo; AS SD-HSS; AS S-6010; AS P-310 R; AS SD-MANGAN; AS S-6011; AS P-312; AS SD-MANGAN 165; AS S-7010 Mo; AS P-316 L; AS SD-ABRA Nb; AS S-8010 Ni; AS P-316 S; AS SD-ABRA Cr; AS DT-165; AS P-318 Super; Kobatek 111; AS DT-180; AS P-347; Kobatek 46; AS DA-708; AS AlSi 5; Kobatek 418; AS DA-710; AS AlSi 12; Kobatek 458; AS DA-731; AS Bronz; Kobatek 213; AS DA-735; AS Pik 55; Kobatek 250; AS DA-737; AS Pik 65; AS DA-753; AS Pik 98 Super Проволока AS SG2; AS SG3; AS S1; AS S2; AS S2 Si; AS S2 Mo; STARWELD MW-308LSi; STARWELD MW-316LSi; STARWELD TW-308L; STARWELD MW-316Li
Фирма «MULTIMET Sp.z.o.o» Польша 59-170 Przemkow Ul. Fabryczna, 10	Проволока стальная сварочная IMT2, IMT3 Проволока порошковая FLUXOFIL 19HD
ООО «ГАНЗА» 50049 г. Кривой Рог, ул. Скандинавская, 33	Электроды ЦЛ-11, ОЗЛ-8 АНО-21, УОНИ 13/45
ООО «Мариупольсталь» 87507, г. Мариуполь, Донецкая обл., ул. Конноармейская, 6	Электроды АНО-4
ООО «ЕКОМ-ПЛИУС» 69065 г. Запорожье, ул. Бетховена, д. 18	Электроды АНО-21, АНО-4, МР-3
ООО «Электродснаб» 49054 г. Днепрпетровск, ул. Кирова, 42А, кв. 149	Электроды УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ДСК-55ФК, Т-590, АНО-4, МР-3 Проволока стальная сварочная Св-08А, Св-08Г2С
Фирма «FRO S.p.A.» 15/A, Via Torricelli, 37135, Verona, Италия	Электроды AL CROMO E225, PH 35S DRY, PH KV4, AL CROMO E225V, PH 55H, PH KV4L, ETC BS 310, PH 56S, PH KV5L, ETC PH 118, PH 56ST, PH KV7, ETC PH 35S, PH 600B, PH KV7M, ETC PH 46, PH 801, PH MN, ETC PH 46S, PH 801AC, PH RS 22.9.3L, ETC PH 48, PH 802, PH RS 308H, ETC PH 68, PH 803, PH RS 308L, ETC PH 75H, PH 88S, PH RS 308L VD, ETC PH 76S, PH 88S HR, PH RS 309L, ETC PH 85, PH BS 307, PH RS 309L EW, ETC PH 85CP, PH BS 308L, PH RS 309Mo, ETC PH 87, PH BS 308L VU, PH RS 310, ETC PH 88S, PH BS 308LT, PH RS 312, ETC PH 88S HT, PH BS 309Cb, PH RS 316L, ETC PH 98, PH BS 316L, PH RS 316L EW, ETC PH BS 309Mo, PH BS 316L VU, PH RS 317, ETC PH BS 309L, PH BS 316LT, PH RS 318, ETC PH BS 309Mo, PH BS 347, PH RS 347, ETC PH BS 310Mo, PH BS 347, TENACITO R, ETC PH BS309L, PH BS 410NiMoS, TENACITO 100, ETC PH CN182, PH BS 410S, TENACITO 140, ETC PH MN, PH BS 430S, TENACITO 38R, ETC PH NiCu 70-30, PH CuNi 70-30, TENACITO 65R, ETC PH RS 308L, PH KV 2HR, TENACITO 70, ETC PH RS 308LEW, PH KV 3HR, TENACITO 70B, ETC PH46S, PH KV 5HR, TENACITO 80, MOLYCORD Kb, PH KV 7M, ULTRACITO, PH 77, PH KV2L, UNIVERS, PH 27P, PH KV3L, BASICORD A, FRO B300, MANGANFRO, FRO AH2Si, FRO B600, TENSILFRO 2000, FRO Al5Si, HARDFRO 600, TOOLFRO, FRO AL99.5, HARDFRO V1000 Проволока порошковая CRISTAL F119, FLUXOFIL 30, FLUXOFIL 54 YURRE, FLUXOCORD 35.25-3D, CRISTAL F208, FLUXOFIL 31, FLUXOFIL 56, FLUXOCORD 36, FLUXOFIL M8, FLUXOFIL 31S, FLUXOFIL M56, FLUXOCORD 37, FLUXOFIL M10, FLUXOFIL 35, FLUXOFIL 56S, FLUXOCORD 37STC, FLUXOFIL M10PG, FLUXOFIL 36, FLUXOFIL 58, FLUXOCORD 38C, FLUXOFIL M10S, FLUXOFIL M36, FLUXOFIL M58, FLUXOCORD 40, FLUXOFIL 11, FLUXOFIL 37, FLUXOFIL 58WIG, FLUXOCORD 40C, FLUXOFIL 11HD, FLUXOFIL 37STC, FLUXOFIL 59, FLUXOCORD 40E, FLUXOFIL 12, FLUXOFIL 38C, FLUXOFIL 62, FLUXOCORD 41, FLUXOFIL 13, FLUXOFIL 40, FLUXOFIL 66, FLUXOCORD 41.1, FLUXOFIL 14, FLUXOFIL 40Mod, FLUXOFIL 70, FLUXOCORD 41B, FLUXOFIL 14HD, FLUXOFIL 41, FLUXOFILCORD 116, FLUXOCORD 41RMA, FLUXOFIL 14HDS, FLUXOFIL M41PG, FLUXOFILCORD 116Mod, FLUXOCORD 42, FLUXOFIL 15, FLUXOFIL 42, FLUXOFIL 131, FLUXOCORD 42Mod, FLUXOFILCORD 16, FLUXOFIL 42LT, FLUXOFIL 140Mod, FLUXOCORD 43.1, FLUXOFILCORD 16F, FLUXOFIL 44, FLUXOFIL M41, FLUXOCORD 44, FLUXOFIL 18, FLUXOFIL 45, FLUXOFIL TENAX, FLUXOCORD 44TN,

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
	FLUXOFIL 19B, FLUXOFIL M45, FLUXOFIL M42 K+M, FLUXOCORD 45, FLUXOFIL 19HD, FLUXOFIL 48, FLUXOFIL M141, FLUXOCORD 45K2Mod, FLUXOFIL 19HDS, FLUXOFIL 48HD, FLUXOCORD 9Cr, FLUXOCORD 48, FLUXOFIL 20, FLUXOFIL 48S, FLUXOCORD 9CrMo, FLUXOCORD 48HD, FLUXOFIL 20HD, FLUXOFIL M48, FLUXOCORD 31, FLUXOCORD 54-6, FLUXOFIL 21HD, FLUXOFIL 50, FLUXOCORD 31HD, FLUXOCORD 54-6C, FLUXOFIL 25, FLUXOFIL 51, FLUXOCORD 35.25, FLUXOCORD 58, FLUXOFIL 28HD, FLUXOFIL 52, FLUXOCORD 35.25, FLUXOCORD 62, FLUXOFIL 54, FLUXOCORD 35.25-2D, FLUXOCORD TENAX Проволока стальная сварочная ALUFIL AI 99,5 Ti, ALUFIL AIMg 3, ALUFIL AIMg 4,5 Mn, ALUFIL AIMg 5, ALUFIL AIMg4,5MnZr, ALUFIL AISi 10 Mg, ALUFIL AISi 12, ALUFIL AISi 5, ALUROD AI 99,5 Ti, ALUROD AIMg 3, ALUROD AIMg 4,5 Mn, ALUROD AIMg 5, ALUROD AIMg4,5MnZr, ALUROD AISi 12, ALUROD AISi 5, CARBOFIL A 250, CARBOFIL A 300, CARBOFIL A 350, CARBOFIL A 500, CARBOFIL A 600, CARBOFIL NiCu1, CARBOFIL NiMo1, CARBOFIL NiMoCr, CARBOROD, CARBOROD 1, CARBOROD Ni 1, CARBOROD Ni 2, COPPERFIL 70-30, COPPERFIL CuAl8, COPPERFIL CuSi 3, INNOBRONZE M-0922, INNOBRONZE M-1022, INNOCAST M-NiFe, FREEZAL S625, NIFIL 59, NIFIL 600, NIFIL 625, NIROD 59, NIROD 600, NIROD 625, OE-G I, OE-G II, OE-G III, OE-G IV, OE-G V, CARBOFIL , CARBOFIL 1, CARBOFIL 1 CF, CARBOFIL 1 GOLD,CARBOFIL 1 TP, CARBOFIL 1A (G3Si1),CARBOFIL 1A (G4Si1), CARBOFIL 1A CF, CARBOFIL 1A GOLD, CARBOFIL Cu, CARBOFIL Ni 1,CARBOFIL Ni 2, CITOFIL 2, CITOFIL 3, CARBOFIL 9 Cr, CARBOFIL CrMo1, CARBOFIL CrMo2, CARBOFIL CrMo5, CARBOFIL Mo, CARBOROD CrMo 1, CARBOROD CrMo 2, CARBOROD CrMo 5, CARBOROD Mo, OE-91, OE-CrMo WV 12, OE-CROMO S300V, OE-CROMO W225, OE-S1 CrMo2, OE-S1 CrMo5, OE-S2 CrMo WV 12, OE-S2 CrMo1, OE-SD3 1Ni 1/4Mo, OE-SD3 2, 5NiCrMo,OE-A 105, OE-Ni 1, OE-Ni 38, OE-S2 3,5 Ni, OE-S2 Mo B,OE-S2 Ni1, OE-S2 Ni2, OE-S2 NiCu1, OE-S3, OE-S3 Si 1, OE-SD3 Mo, OE-SD3 NiMo1, OE-SD3 NiMo1, INERTFIL 22 12, INERTFIL 22 12, INERTFIL 22 9 3, INERTFIL 24 13 Si, INERTFIL 307, INERTFIL 308L, INERTFIL 308L Si, INERTFIL 309L, INERTFIL 309L Mo, INERTFIL 309L Si, INERTFIL 310, INERTFIL 312,INERTFIL 316L, INERTFIL 316L Si, INERTFIL 316LN, INERTFIL 318, INERTFIL 318 Si, INERTFIL 347, INERTFIL 347 Si, INERTFIL 904L, INERTROD 22 9 3,INERTROD 307, INERTROD 308L, INERTROD 308L Si,INERTROD 309L, INERTROD 309L Si, INERTROD 310, INERTROD 316 LN, INERTROD 316L, INERTROD 316L Si,INERTROD 318, INERTROD 318 Si, INERTROD 347,INERTROD 347 Si, INERTROD 904L,OE-20 16 nC, OE-20 25 Cu, OE-22 12, OE-307, OE-308L,OE-309 L Mo, OE-309 L Mo, OE-316L, OE-318,OE-347, OE-B 19 12 3 nC, OE-B 23 11 LNb, OE-CROMO S 225, AS 25, CROMO 225Mo, OE S2 Mo, FRO SF, AS 35, CROMO 225Mov, OE S4 Mo, FRO SFR, AS 35Si, CROMO 300Mov, OE-CROMO S225V, FRO SO, AS 36, SG1, OE-S1, FRO TENAX, AS 37LN, SG2, OE-S2, FRO TIG I, AS 40, A105, OE-S2CrMo1, FRO TIG II, AS 40A, OE-S4, ALTIG SG1, AS 48, OE-SD3, ALTIG SG2, AS 67, OE-SD3 1NiMo, ALTIG SG3, AS Cr1Mo, S2 Mo, AS Cr2Mo, WL WIRE 308 L Si, WL WIRE 316 L Si, WL WIRE 347 Si, WL ROD 308 L, WL ROD 316 L Флюсы сварочные AS231, AS486, AS50, OP 191, AS231S, AS470, AS55, OP 192, AS231SC, AS231M, AS60, OP F500, AS350, R10, AS72, OP 192P, AS461, AS620, AS73, Pie18 UP, AS589, LEXAL F500, AS80, AS589R, AS440, AS81, OP 191 (FXA 28R), AS592, RV7Ni, AS90, OP 192 (FXA 27 SB), RV7, AS438, AS124, OP F500 (FXA 300 IR), CN100, AS231G, AS 88, OP 126 (FXA 76 B), CN305, AS231F, AS709/5, AS550, OP132, AS 18, AS231B, AS461G, RV5, AS630, AS350V
Фирма ISAF S.p.A Via I° Maggio,4 — 38089 Storo (TN) Италия	Проволока стальная сварочная IS 10, IS 5, IS 10S, IS TS, IS T, IS C, IS D2, IS SUPERIOR, CARBOFIL 1, CARBOFIL 1-A, CITOFIL 2, CARBOFIL NiMoCr, CARBOFIL GK2, CARBOFIL SG3, CARBOFIL CORTEN A/48, FILCORD-C, FILCORD-ZN, FILCORD-D, FILCORD TENAX S, FILCORD TENAX, FILCORD 48, IS PREMIUM
Фирма UAB «ANYKSCIU VARIS», Литва Vairuotoju 10, 91207 Anyksciai, Lithuania (Литва)	Электроды ANO 4, MP 3, AV 21, AV 22, AV 23, AV 31, AV 43, UONI 13/55, AV 61, AV 66, AV1 308L, AV1 316L, AV1 310, AV1 Ket Ni, AV1 KetNiFe, AV1 KetNiFeCu, AV1 Alium5, AV1 Alium12, AV1 AP60, AV1 AP63, AV APL60, AV APL600, AV T 590, AV 307APL
ОАО «Торезтвёрдосплав» 86604, г. Торез, ул. Трудовая, 83	Электроды АНО-4, МР-3, АНБНп-2, Т-590
ООО «Мендол» 51931, г. Днепродзержинск ул. Г. Романовой, 11/53	Электроды АНО-4, МР-3, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, УОНИ 13/45СМ, УОНИ 13/55СМ
ООО «ЮМИС» 49044 г. Днепропетровск, ул. Мандрыковская 171/114 тел./ф. (0562) 34-06-97	Электроды МР-3, МР-3М, АНО-4, АНО-21, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, НЖ-13, НИИ-48Г, ОЗЛ-6
ООО «Херсонэлектрод» 790020 г. Херсон, ул. Домостроительная, 14	Электроды МР-3
ООО ПНФ «Галэлектросервис» 79053 г. Львов ул. В. Великого, 51/119	Электроды АНО-4, АНО-21, МР-3, УОНИ-13/55
ЗАО «ЭСАБ-СВЭЛ» 198096, г. Санкт-Петербург, ул. Корабельная, 6, корпус 5, Россия	Электроды УОНИИ-13/45, УОНИИ-13/45А, УОНИИ-13/45Р, УОНИИ-13/55, УОНИИ-13/55Р, ОЗС-12, МР-3, АНО-ТМ, ОК 46.00, ОК 53.70 Флюсы ОК Flux 10.71, ОК Flux 10.74
Фирма «Lincoln Electric Italia S.r.l.» Via Nazionale, 32 — Localita Corsalone 52010 Chiusi della Verna — Arezzo, Италия	Проволока стальная сварочная Ultramag, Ultramag SG 3, CF 14/16 S6, CF 18/18L, Arcweld

Наименование предприятия, контакты	Сертифицированная продукция
Фирма «HARRIS CALORIFIC INTERNATIONAL Sp. Z o.o.» 58-200 м. Dzierzoniow ul. Strefowa, 8, Польша	Проволока порошковая Outersield 71C, Outersield 71E-H, Outersield 71M-H
Фирма «AB Sandvik Materials Technology» SE-811 81 Sandviken, Швеция	Проволока 19.9.L; 19.9.LSi; 19.9.Nb; 19.9.NbSi; 19.12.3.L; 19.12.3.LSi; 19.13.4.L; 19.12.3.Nb; 19.12.3.NbSi; 18.8.Mn; 18.8.CMn; 24.13.L; 24.13.LSi; 24.13.LHF; 24.13.Si; 22.15.3.L; 25.20.C; 29.9; 22.8.3.L; 25.10.4.L; 29.8.2.L; 22.12.HT; 28.34.HT; 25.20.L; 25.22.2.LMn; 20.25.5.LCu; 27.31.4.LCu; Sanicro 60; Sanicro 68HP; Sanicro 72HP Лента 19.9.L; 19.9.LNb; 19.12.3.L; 24.13.L; 23.12.L; 22.11.L; 24.13.LNb; 23.11.LNb; 21.11.LNb; 21.13.3.L; 22.8.3.L; 25.22.2.LMn; 20.25.5.LCu; 27.31.4.LCu; Sanicro 69HP; Sanicro 72HP Электроды 19.9.LR; 19.9.NbR; 19.12.3.LR; 19.12.3.LRHD; 19.12.3.LRV; 23.12.2.LR; 24.13.LR; 29.9.R; 22.9.3.LR; 25.10.4.LR; 22.12.HTR; 20.25.5.LCUR; 25.22.2.LMnB; 27.31.4.LCUR; Sanicro71; Sanicro60
Фирма «TRAFIELERIE DI CITTADELLA SPA» Via Mazzini, 69 35013 Cittadella Padova — Италия	Проволока порошковая FILEUR ARS-HP, FILEUR ARS, FILEUR ARS 5, FILEUR ARS 10, FILEUR ARS 11, FILEUR ARS 15, FILEUR ARS18, FILEUR ARS 20, FILEUR ARS 35, FILEUR ARS 40, FILEUR ARS 45, FILEUR AB, FILEUR VAB 5, FILEUR AB 10, FILEUR AB 15, FILEUR AB 18, FILEUR AB 25, FILEUR AB 29, FILEUR AB 35, FILEUR AB 40, FILEUR AB 45, FILEUR AB 47, FILEUR AMC 01, FILEUR AMC 05, FILEUR NG-T4, FILEUR NG-T11, FILEUR AMC 50 NG, FILEUR AMC 51, FILEUR AMC 55, FILEUR AMC 56, FILEUR AMC 56 Ti, FILEUR AMC 57, FILEUR AMC 60, FILEUR AMC 75, FILEUR AMC 76, FILEUR AB 37, FILEUR AB 48, FILEUR AB 65, WIREX WRS

Н. А. Проценко, аудитор,
руководитель группы сертификации материалов,
ГП НТЦ «СЕПРОЗ»



ГП «Опытный завод
сварочных материалов
ИЭС им. Е.О. Патона
НАН Украины»

**Производство материалов для
дуговой сварки, наплавки и резки:**

Электроды — АНО-4, АНО-4И, АНО-6, АНО-6V, АНО-12, АНО-21, АНО-21М, АНО-21V, АНО-27, АНО-36, АНО-37, МР-3, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, ВН-48, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, ТМА-1V, ТМА-3V, ЦУ-5, ТМУ-21V, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭА-395/9, ЭА-400/10V, ЦЧ-4, Комсомолец-100, Т-590, АНР-2

Порошковые проволоки — ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН69, ПП-АН70М, ПП-АНВ2У, ПП-НnX25П4НЗТ, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

Флюсы плавные — по ГОСТ 9087-81, а также АН-М13, АН-25, АН-72

Флюсы керамические — АНК-40, АНК-47А, АНК-57, АНК-565

Возможно изготовление других марок материалов

04112, Украина
г. Киев-112
ул. О. Телиги, 2

Тел.: (044) 456-64-95
456-63-69
Факс: (044) 456-64-95
456-63-08

HYUNDAI
WELDING CO., LTD.



Ваши надежные партнеры в мире сварки!



Официальный дилер "HYUNDAI Welding Co., Ltd." в Украине:
ООО "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА "ЗНА"
ул. Антоновича (Горького), 69, г. Киев, 03150 (справки в г.Киеве и в г.Харькове)
тел. +38(044) 200-80-25, факс (044) 200-85-17
e-mail: zn@zn.ua
www.zn.ua

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:

Флюсы сварочные

Проволоки порошковые для внепечной
обработки металлургических расплавов

Проволоки порошковые для сварки, наплавки,
напыления и металлизации

Электроды наплавочные, специального назначения,
для сварки чугуна и резки

Ферросплавы и легатуры

Хром металлический

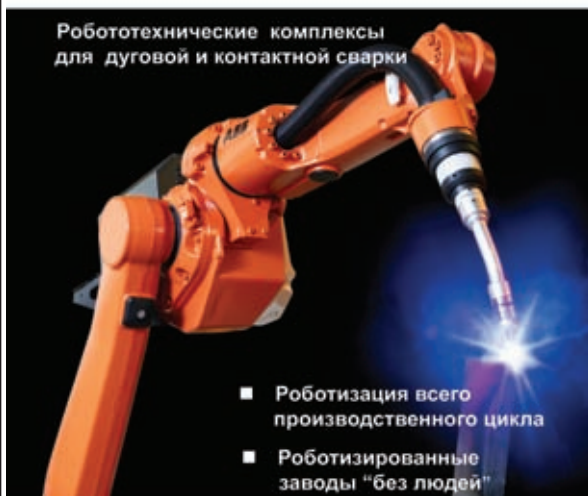
Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Курسانовая, 1
г. Днепропетровск
49051, Украина

Тел.: (380562) 35-50-25
Тел./факс: (380562) 35-19-41
E-mail: sp@spetssplav.dp.ua

АББ - сердце робототехники

Робототехнические комплексы
для дуговой и контактной сварки



- Роботизация всего производственного цикла
- Роботизированные заводы "без людей"

АББ Лтд
Украина, 03038, Киев
ул. Гриценко, 2/1
Тел.: +380 44 495 22 11
Факс: +380 44 495 22 10
E-mail: robotics@ua.abb.com
www.abb.ua

ABB

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

- Разработка и поставка автоматизированных сварочных комплексов
- Технологическое обеспечение и полная комплектация сварочных производств
- Ремонт сварочного оборудования, в т. ч. сложного
- Пуско-наладочные работы
- Широкий выбор сварочного оборудования



тел. (061) 233 1058, (0612) 34 3623,
(061) 213 2269, 220 0079 e-mail: weld@triada.zp.ua
Сервисный центр: (061) 270 2939. www.triada-weld.com.ua



ОАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»

69035, Украина г. Запорожье, ул. Диагональная, 2
Тел.: +380 (61) 289-03-53; факс: +380 (61) 289-03-50
E-mail: market@steklo.zp.ua

ОАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стеклонзделей» на протяжении многих лет является одним из крупнейших в Европе производителей сварочных флюсов и силикатов натрия растворимого. На сегодня мы предлагаем более 20 марок сварочных флюсов.

На заводе разработана и внедрена Система управления качеством с получением сертификатов TUV NORD SERT на соответствие требованиям стандарта DIN EN ISO 9001-2000 и научно-технического центра «СЕПРОЗ» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001-2001.

Благодаря тесному сотрудничеству с Институтом электросварки им. Е. О. Патона ОАО «Запорожстеклофлюс» освоил производство сварочных флюсов новым методом – двойным рафинированием сплава.

Сварочные флюсы для автоматической, полуавтоматической сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей: АН 348-А, АН-348-АМ, АН-348-АД, АН-348-АП, АН-47, АН-47Д, АН-47П, АН-60, ОСЦ-45, АНЦ-1А, ОСЦ-45 мелкой фракции (ГОСТ 9087-81, ТУ У 05416923.049-99, ГОСТ Р 52222-2004).

Силикат натрия растворимый (модуль от 2,0 до 3,5). Широко применяется для изготовления жидкого стекла и сварочных электродов. **МЫ ВСЕГДА ГАРАНТИРУЕМ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОСТАВОК И САМЫЕ НИЗКИЕ ЦЕНЫ В СНГ**
Наша цель — более полное удовлетворение Ваших потребностей в качественных и современных сварочных материалах.



Комитет экономического развития, промышленной политики и торговли Правительства Санкт-Петербурга

ФГУП «ЦНИИ материалов»
ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ)

Ассоциация «Электрод»

Санкт-Петербургское Общество

Научно-технических знаний (СПбОНТЗ)



ПЕТРАНЬЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Международная научно-техническая конференция

«Сварочные материалы»

(к 70-летию создания электродов УОНИ-13)

18–22 мая 2009

г. С.-Петербург, ФГУП «ЦНИИМ»,
ул. Парадная, д. 8

Цели и задачи конференции:

- ◆ Ознакомление представителей промышленных предприятий, НИИ и проектных организаций с последними достижениями и тенденциями в области производства и применения сварочных материалов;
- ◆ Обмен мнениями по вопросам разработки, производства и аттестации сварочных материалов, состояния рынка сырья, оценки качества и технико-экономических аспектов в области производства и применения материалов;
- ◆ Установление контактов для плодотворного сотрудничества в области разработки, производства и применения сварочных материалов.

Контакты: тел./факс: (812) 394-14-61; моб. тел. 8-921-183-06-69
E-mail: tichonova@yandex.ru; ontz@peterlink.ru





Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

НИИ лазерной техники и технологии

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Международная ассоциация «Сварка»

Четвертая Международная конференция **ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

26–29 мая 2009 г.

Украина, Крым, пос. Кацивели

Председатели программного комитета

академик Б. Е. Патон

проф. В. С. Коваленко

Тематика конференции:

**лазерная сварка,
резка,
наплавка,
термообработка,
нанесение покрытий,
выращивание трехмерных объектов и др.,
гибридные технологии,
лазеры в медицине и биологии;
технологии, базирующиеся на других
высококонцентрированных источниках**

ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ • МОДЕЛИРОВАНИЕ

Основные даты

Окончание приема тезисов — 20 марта 2009 г. Подтверждение участия — 10 апреля 2009 г.

Окончание приема текстов докладов для публикации в сборнике трудов — 30 июня 2009 г.

Рабочий язык конференции английский (будет обеспечен синхронный перевод на русский)

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА:

Украина, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 287-65-57, 529-26-23
Факс: (38044) 529-26-23, 287-46-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
E-mail: kovinvst@sovamua.com



ПОДПИСКА — 2009 на журнал «Автоматическая сварка»

Стоимость подписки через редакцию*	Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	240 грн.	480 грн.	2100 руб.	4200 руб.	78 дол. США	156 дол. США
* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.						

Если Вас заинтересовало наше предложение по оформлению подписки непосредственно через редакцию, заполните, пожалуйста, купон и отправьте заявку по факсу или электронной почте.

Контакты: телефоны: (38044) 287-63-02, 271-26-23; факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.

Подписку на журнал «Автоматическая сварка» можно также оформить по каталогам подписных агентств «Пресса», «Идея», «Саммит», «Прессцентр», KSS, «Блицинформ», «Меркурий» (Украина) и «Роспечать», «Пресса России» (Россия).

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____

200

г. по

200

г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190 мм) - 700 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) - 550 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) - 500 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) - 600 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

Внутренняя вставка

Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) - 570 \$

Полноцветная (200×290 мм) - 340 \$

Полноцветная (200×142 мм) - 170 \$

Реклама в разделе информации

Полноцветная (170×245 мм) - 300 \$

Полноцветная (170×120 мм) - 170 \$

Полноцветная (82×120 мм) - 80 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

• Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу

• Статья на правах рекламы - 50% стоимости рекламной площади

• При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000 \$, предусмотрена гибкая система скидок

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290 мм

• В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации

Все файлы в формате IBM PC

- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 7.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi
- К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 10.02.2009. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 9,04. Усл. кр.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24 + 2 цв. вклейки.

Цена договорная. Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.

© Автоматическая сварка, 2009