



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. 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
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

*Махненко В. И., Позняков В. Д., Великоиваненко Е. А., Махненко
О. В., Розынка Г. Ф., Пивторак Н. И.* Риск образования холодных
трещин при сварке конструкционных высокопрочных сталей 5
*Горбань В. Ф., Харченко Г. К., Фальченко Ю. В., Петрушинец
Л. В.* Исследование соединений алюминидов титана с титановым
сплавом ВТ8, полученных диффузионной сваркой 11
Сабокарь В. К., Ахонин С. В., Петриченко И. К., Ясинский А. В.
Прессовая сварка алюминидов титана с другими титановыми
сплавами 15

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Сварка и резка-2009 18
*Шелягин В. Д., Хаскин В. Ю., Машин В. С., Пашуля М. П.,
Бернацкий А. В., Сиора А. В.* Особенности лазерно-дуговой сварки
плавящимся электродом высокопрочных алюминиевых сплавов 28
*Зеленин В. И., Кавуненко П. М., Тисенков В. В., Теплюк В. М.,
Полещук М. А., Лебедь В. Д., Липисий В. И., Бондарев С. В.,
Гаврилов С. А., Ольгард Н. Т., Чебуров С. А.* Применение
плазменно-дуговой металлизации для восстановления осей
колесных пар грузовых вагонов 36
*Царюк А. К., Иваненко В. Д., Волков В. В., Мазур С. И., Тройняк
А. А., Вавилов А. В., Кантор А. Г., Воличенко Н. П.* Ремонтная
сварка корпусных деталей турбин из теплоустойчивых сталей без
последующей термообработки 41

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Ланкин Ю. Н., Суший Л. Ф. Электропроводность шлаковой ванны
при электрошлаковой сварке проволочным электродом 47
По страницам журнала «Welding Journal» 49

ХРОНИКА

Международная конференция «Совершенствование
турбоустановок методами математического и физического
моделирования» 52
Семинар по сварочным технологиям «Полная готовность к отлич-
ной сварке стали» 53
Международная выставка «Weldex/Россварка-2009» 57
Международная научно-техническая конференция «Проблемы
сварки, родственных процессов и технологий» 59
Международная конференция «High Mat Tech» 61
Явдошину И. Р. — 70 62

ИНФОРМАЦИЯ

Abicor Binzel — сила инноваций! 63
Программы профессиональной подготовки на 2010 г. 67
Указатель статей за 2009 г. 70
Указатель авторов 74

Avtomaticheskaya Svarka

№ 12 (680)
December 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. Khitrovskaya (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Dilthey (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. Yushina
Electron galley:
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
Run 1000 c.

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

*Makhnenko V. I., Poznyakov V. D., Velikoivanenko E. A.,
Makhnenko O. I., Rozyinka G. F., Pivtorak N. I.* Risk of cold crack
formation in welding of structural high-strength steels 5
*Gorban V. F., Kharchenko G. K., Falchenko Yu. V., Petrushinets
L. V.* Investigation of joints of titanium aluminide with titanium alloy
VTV, made by diffusion bonding 11
Sabokar V. K., Akhonin S. V., Petrichenko I. K., Yasinsky A. V.
Press welding of titanium aluminide with other titanium alloys 15

INDUSTRIAL

Welding and cutting-2009 18
*Shelyagin V. D., Khaskin V. Yu., Masin V. S., Pashulya M. P., Ber-
natsky A. V., Siora A. V.* Peculiarities of laser arc consumable
electrode welding of high-strength aluminium alloys 28
*Zelenin V. I., Kavunenko P. M., Tisenkov V. V., Teplyuk V. M.,
Poleshchuk M. A., Lebed V. D., Lipisiy V. I., Bondarev S. V.,
Gavrilov S. A., Olgard N. T., Cheburov S. A.* Application of plasma
arc metallization for restoration of cargo car wheelset axles 36
*Tsaryuk A. K., Ivanenko V. D., Volkov V. V., Mazur S. I., Trojnyak
A. A., Vavilov A. V., Kantor A. G., Volichenko N. P.* Repair welding
of turbine body parts of heat-resistant steels without postweld
heat treatment 41

BRIEF INFORMATION

Lankin Yu. N., Sushiy L. F. Electric conductivity of slag pool in
electroslag welding with wire electrode 47
Review of «Welding Journal» 49

NEWS

International Conference «Updating of turbine equipment using
methods of mathematic and physical modeling» 52
Seminar on welding technologies «Full readiness to perfect
welding of steel» 53
International Exhibition «Weldex/Rossvarka-2009» 57
International Scientific-Technical Conference «Problems of
welding, related processes and technologies» 59
International Conference «HighMatTech» 61
Yavdoshchin I. R. is 70 62

INFORMATION

Abicor-Binzel is powerful in innovations 63
Programs of professional training for 2010 67
Index of articles for 2009 70
Index of authors 74

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

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТАКТ ОТ НАЧАЛА И ДО КОНЦА ПРИ СВАРКЕ С Contec

Важным условием получения высококачественных и воспроизводимых сварных соединений является контроль условий процесса. При сварке МИГ/МАГ трение скользящей проволоки ведет к износу канала токоподводящего наконечника. В результате размеры и геометрия контактной поверхности изменяются, что отрицательно влияет на параметры сварки. Инновационный контактный наконечник Contec снижает эти негативные последствия до поддающегося расчету уровня, что повышает стабильность технологического процесса и готовность оборудования, особенно при автоматизированной сварке.



Разработчики компании Fronius спроектировали геометрию контактного канала наконечника так, чтобы поверхность, соприкасающаяся с проволокой, была настолько велика, насколько это возможно, и в то же время настолько мала, насколько это необходимо. Благодаря этому удастся, с одной стороны, добиться стабильного протекания тока, с другой — предотвратить преждевременное плавление проволоки из-за вызванного трением выделения тепла. Контактный наконечник состоит из двух элементов в форме конических полуцилиндров. Внутри этих элементов сварочный ток поступает к проволочному электроду, разделяясь на два пути. Пружина прижимает полуцилиндры друг к другу и к проходящей между ними про-

волоке с регулируемой силой. Благодаря этому во время сварки материал трубки изнашивается исключительно на расположенных кольцеобразных контактных поверхностях в передней части полуцилиндров. Это дает многочисленные преимущества: большую надежность процесса и более продолжительную эксплуатацию оборудования по сравнению с обычными контактными наконечниками. Благодаря меньшему количеству брака в долгосрочной перспективе такая технология имеет и экологические плюсы. Ресурс трубки Contec в семь раз выше, чем у обычных токоподводящих наконечников, а расход материала составляет лишь одну пятую по сравнению с обычными наконечниками.

Так как сила контакта в канале наконечника Contec не зависит от проволоки, ее можно отрегулировать относительно точно. Это снижает износ до минимума. При работе в непрерывном режиме оператор установки может сразу определить состояние токоподводящего наконечника и при необходимости заменить ее. Contec подходит для всех распространенных диаметров из обычной стальной и алюминиевой сварочной присадочной проволоки.

МАЛЕНЬКИЕ И ПРОЧНЫЕ СВАРНЫЕ ТОЧКИ

Компания KEMPPI (Финляндия) начала выпуск новых трехфазных аппаратов MasterTig MLStTM 3000/3003 ACDC для сварки ТИГ и ММА. Новые сварочные аппараты имеют очень полезные функции такие, как MicroTaskTM и MIX TIG.

Прихватка — это соединение деталей конструкции сварными точками для фиксации перед сваркой. В то время как этот этап обычно необходим при проведении сварочных работ, наличие прихваток часто замедляет основную сварку и увеличивает риск брака.



В частности, при сварке тонких заготовок велика вероятность прогорания прихваток, они также могут получиться выпуклыми или бугристыми, что приводит к дефектам качества конечного продукта. В то же время чрезмерное тепловложение на этапе выполнения прихватки может привести к искривлению заготовок и образованию между ними воздушных зазоров.

Компания KEMPPI разработала функцию MicroTask для выполнения прихватки, которая напоминает точечную сварку. Происходит мгновенная подача сильноточного импульса, благодаря которому происходит сплавление заготовок друг с другом. Особенно хорошо эта функция подходит для сложных работ, где необходима сварка тонколистовых заготовок или заготовок разной толщины.

Достоинством функции MicroTask является простота использования и низкое тепловложение. Благодаря этим характеристикам сварные точки остаются небольшими, имеют одинаковый размер, не происходит деформация свариваемых заготовок.

Функция MIX TIG — это еще одно из достоинств аппаратов MasterTig. Эта функция необходима при сварке алюминиевых заготовок и сочетает применение постоянного и переменного тока в определенном соотношении.

Использование переменного тока обеспечивает эффек-

тивность очистки, в то время как постоянный ток гарантирует большую глубину провара. Регулируя соотношение переменного и постоянного тока, сварщик получает великоколепную дугу, обеспечивающую качественную сварку заготовок разной толщины и гладкий шов.

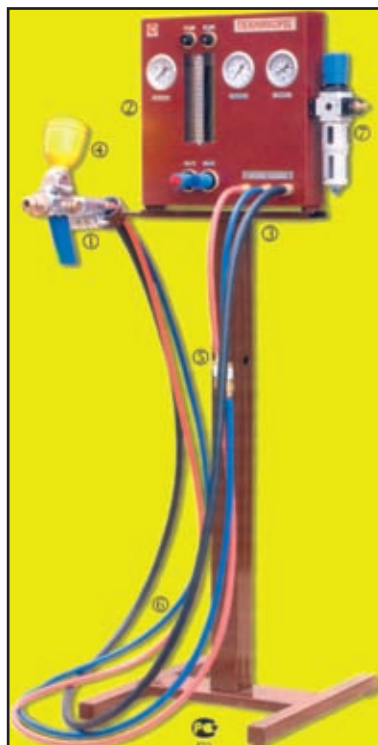
«МАГНИТ» – ПЕРЕНОСНАЯ МАШИНА КРИВОЛИНЕЙНОГО РАСКРОЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА

ООО «Фактор» (г. Москва) освоило выпуск переносных копирных машин «Магнит», предназначенных для вырезки деталей из листового металлопроката с помощью магнитного копировального устройства. Машина представляет собой направляющую, по которой движется каретка с перпендикулярно установленной на ней траверсой. Момент вращения передается на магнитный палец, который обегает заданный шаблон. На другом конце траверсы закреплены

В сравнении с известными машинами «АСШ-2», «АСШ-70», «Огонек» и «Стрела» она имеет ряд существенных преимуществ: мобильность; высокую точность воспроизведения заданного контура за счет жесткости конструкции; высокую скорость перемещения резака (от 50 до 6000 мм/мин); плавность хода; высокую надежность узлов благодаря использованию современной элементной базы и приводов ведущих мировых производителей.

УСТАНОВКА ГАЗОПЛАМЕННОЙ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВ

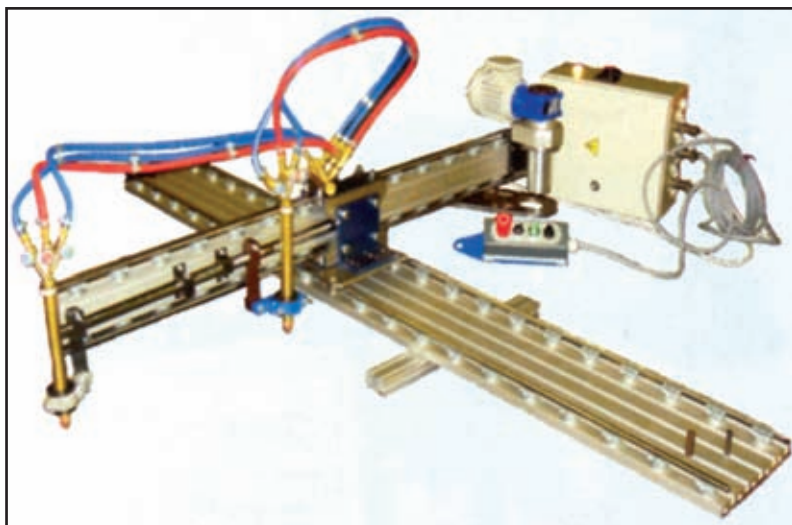
ООО «Технологический центр «Техникорд» предлагает установку газопламенную порошковую термораспылительную МРК-10 для термического распыления порошков металлов и сплавов с целью нанесения покрытий для защиты поверхностей деталей от различных видов изнашивания, кави-



управления 2 рабочими газами ПУ-03, смонтированный на стойке 3. На пистолете-распылителе предусмотрено крепление для установки бункера 4 — дозатора порошка. Пистолет-распылитель соединяется с пультом управления рабочими газами через защитные клапаны-пламегасители 5 резиноканевыми рукавами 6 с разъемами для кислорода, горючего газа (ацетилена, пропана или МАФ) и сжатого воздуха.

Кислород и горючий газ подаются по рукавам на пульт управления от стандартных газовых баллонов, оснащенных редукторами. Сжатый воздух, подаваемый от компрессора, предварительно очищается от следов масла и влаги, после чего поступает по рукаву на вход блока подготовки воздуха пульта управления газами.

Конструкция пульта управления газами позволяет использовать его для работы с газопламенными пистолетами-распылителями любых фирм. Установка может эксплуатироваться в цеховых или полевых условиях в средах, не содержащих паров кислот, щелочной и других едких жидкостей.



резак. Машина может оснащаться любым аппаратом для воздушно-плазменной резки металлов марки ПУРМ, а также оборудованием для газокислородной резки. Машина выполнена на современном уровне с использованием лучших образцов приводной техники.

тации, окисления, фреттинг-коррозии, коррозионного воздействия различных сред, а также восстановления изношенных деталей с одновременным улучшением их эксплуатационных свойств.

Установка МРК-10 включает порошковый пистолет-распылитель 1 ПР-10 и пульт



РИСК ОБРАЗОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **В. Д. ПОЗНЯКОВ**, канд. техн. наук,
Е. А. ВЕЛИКОИВАНЕНКО, канд. физ.-мат. наук, **О. В. МАХНЕНКО**, канд. техн. наук,
Г. Ф. РОЗЫНКА, **Н. И. ПИВТОРАК**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрена математическая модель риска образования холодных трещин при сварке конструкционных высокопрочных сталей на основе распределенных данных, касающихся состояния микроструктуры, содержания диффузионного водорода и напряженного состояния в элементарных объемах в зоне сварного соединения. Показана возможность на основе предлагаемой модели более прецизионно оценить локальные условия образования холодных трещин по указанным параметрам.

Ключевые слова: дуговая сварка, низколегированные высокопрочные стали, хрупкое разрушение, холодные трещины, диффузионный водород, микроструктура, напряженное состояние, вероятностная модель

Известно, что необходимыми условиями для образования холодных (водородных) трещин при сварке конструкционных сталей является наличие в зоне потенциального их образования закалочных структур, диффузионного водорода и растягивающих напряжений [1]. Что касается количественных характеристик указанных условий, то с учетом локальности процесса образования трещин, наличия значительного градиента изменения этих характеристик в зоне сварочного нагрева, их сильного взаимного влияния и других факторов пока можно только достаточно приближенно судить о критических значениях соответствующих характеристик, ограничивая их экстремальные проявления практически без учета взаимного влияния. Между тем, развитие методов (как экспериментальных, так и расчетных) вычисления распределенных параметров указанных характеристик при сварке различных соединений конструкционных сталей, а также стремление к оптимизации технологических мероприятий по предупреждению образования холодных трещин требуют построения более прецизионных критериев риска их образования.

Можно показать, что многие современные подходы [1], основанные на таких интегральных характеристиках, как эквивалент углерода в зоне термического влияния (ЗТВ), содержание водорода в присадочном металле, степень закрепления и свариваемые толщины в качестве количественных условий по микроструктуре, диффузионному водороду и действующим напряжениям, являются весьма общими и далеко не однозначно определяют при конкретных режимах сварочного нагрева количественные характеристики необходимых

условий образования холодных трещин. В последние десятилетия благодаря развитию компьютерных систем «Sysweld» и других их типов, с помощью которых получают расчетную информацию о распределенных характеристиках в металле шва и ЗТВ относительно условий образования холодных трещин, доказано, что далеко не всегда зоны потенциальных холодных трещин имеют наиболее экстремальные сочетания по объему закалочных микроструктур, содержанию диффузионного водорода и уровню растягивающих напряжений. Часто зоны с максимальными объемом мартенсита и содержанием диффузионного водорода находятся в зонах сжатия, либо зоны с высокими растягивающими напряжениями имеют чисто бейнитную микроструктуру и низкий уровень диффузионного водорода, т. е. не являются потенциальными очагами холодных трещин. Иными словами, необходимы соответствующие физически обоснованные критерии, связывающие количественно на уровне распределенных параметров необходимые условия образования холодных трещин при сварочном нагреве рассматриваемых конструкционных сталей.

Ниже предлагается подход для построения таких критериев, в основу которого положены следующие факторы:

вероятностная оценка риска образования холодных трещин выполняется в конкретной области сварного соединения (определенный участок зоны плавления либо ЗТВ);

зарождение и развитие холодных трещин происходит по механизму хрупкого разрушения, т. е. определяется соответствующими нормальными напряжениями $\sigma_{jj}(x, y, z)$ в точке с координатами x, y, z , действующими на площадке с нормалью j и соответствующей характеристикой сопротивления материала $A_j(x, y, z)$ образованию хрупкого разрушения;



A_j является для данной стали функцией микроструктурного состояния и содержания диффузионного водорода.

Вероятность хрупкого разрушения в конкретном объеме V в соответствии с теорией Вейбулла определяется зависимостью

$$P_j(V) = 1 - \exp \left[- \int_V \left(\frac{\sigma_{jj} - A_j}{B_j} \right)^\eta dV / V_0 \right], \quad (\sigma_{jj} > A_j). \quad (1)$$

В (1) интегрирование производится только по элементарным объемам dV , где $\sigma_{jj} > A_j$, A_j , η , $B_j V_0^{1/\eta}$ — параметры распределения Вейбулла. Как правило, $\eta = 4,0$, A_j и $\bar{B}_j = B_j V_0^{1/\eta}$ определяются опытным путем.

Значения $\bar{B}_j$ зависят от размеров объема V вдоль сечения с нормалью j (рис. 1). Если на длине l_j этого объема напряжения σ_{jj} и сопротивляемость материала A_j изменяются мало, то в интеграле выражения (1) можно выполнить замену $dV = l_j dF$, где F — площадь поперечного сечения объема V .

Соответственно вместо (1) получим

$$P_j = 1 - \exp \left[- \int_F \left(\frac{\sigma_{jj} - A_j}{\bar{B}_j / l_j^{1/\eta}} \right)^\eta dF \right]. \quad (2)$$

Откуда

$$P_j(l_j) = 1 - [1 - P_j(l_0)] \left(\frac{l_0}{l_j} \right)^{1/\eta}, \quad (3)$$

где $P_j(l_0)$ — вероятность появления холодных трещин в плоскости с нормалью j на длине l_0 объема V . В частном случае, когда нормаль j направлена поперек сварного шва, то l_j и l_0 — длина объема V вдоль сварного шва и речь идет о продольных трещинах A , если j направлена вдоль сварного шва, то l_j и l_0 — длина потенциального объема V расположена поперек сварного шва и речь идет об образовании поперечных холодных трещин. Из (2) и (3) можно видеть, что, если чувствительность материала к образованию поперечных и продольных холодных трещин отличается несущественно, т. е. значения параметров A , B , h для поперечных и продольных трещин примерно одинаковые, то вероятность образования продольных либо поперечных холодных трещин зависит не только от

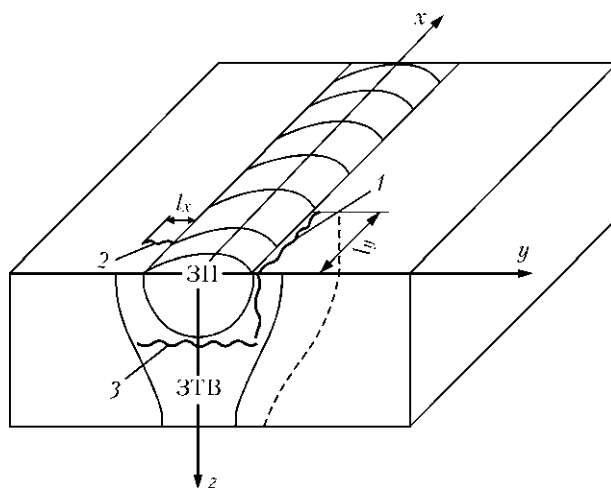


Рис. 1. Схема образования холодных трещин в зонах плавления (ЗП) и термического влияния (ЗТВ): 1 — продольная с нормалью y ; 2 — поперечная с нормалью x ; 3 — подваликовая с нормалью z (продольной)

уровня поперечных и продольных нормальных напряжений, но и от значений l_j в потенциальном объеме V в соответствующем направлении. Поэтому вполне естественно, что в ЗТВ возникают продольные холодные трещины при поперечных напряжениях значительно ниже таковых в продольном направлении.

Из изложенного выше следует, что при известных значениях параметров A , B , η , зависящих в основном только от микроструктуры и концентрации диффузионного водорода, а также от распределения напряжений в зоне соединения, по

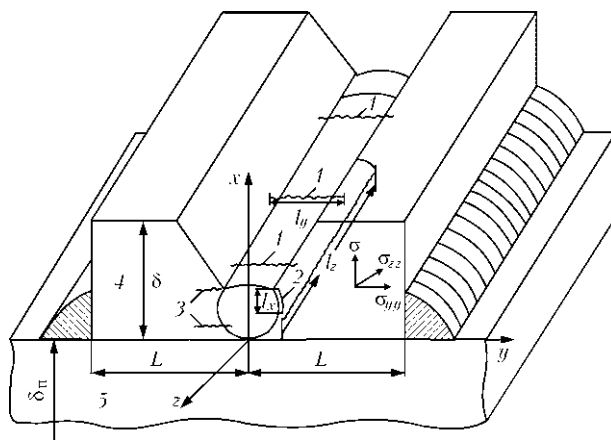


Рис. 2. Схема корневого шва с поперечными (1) и продольными (2, 3) трещинами в сварочной пробе (4) толщиной δ и шириной $2L$, закрепленной фланговыми швами к плите (5) толщиной $\delta_n \gg \delta$

Таблица 1. Химический состав (мас. %) основного и наплавленного электродами металла

Материал	C	Si	Mn	Cr	Cu	V	Al	P	S
Сталь 14ХГ2САФД	0,13	0,57	1,42	0,44	0,39	0,08	0,08	0,019	0,015
Электрод АНП-10	0,09	0,43	1,90	Следы	Следы	0,01	—	0,020	0,020



уравнению (2) можно рассчитать вероятность образования холодных трещин в различных сечениях с нормалью j .

Ниже показано применение изложенного подхода для описания условий образования холодных трещин при сварке корневого прохода стыкового шва в типичной сварочной пробе (рис. 2) из стали 14ХГ2САФД толщиной $\delta = 18$ мм, а также представлена термокинетическая диаграмма превращения аустенита (рис. 3). При этом применяли дуговую сварку электродами АНП-10. Химический состав основного и присадочного металла приведен в табл. 1.

На рис. 2 варьируемыми условиями сварки стыкового шва пробы являлись начальная температура подогрева T_0 , содержание водорода в присадочном металле $H_{\text{прис}}$ и база закрепления L . Дуговую сварку корневого прохода выполняли на режиме: $I = 140...150$ А; $U_d = 24$ В; $v_{\text{св}} = 7,2...7,5$ м/ч. В табл. 2 приведены значения варьируемых параметров T_0 , $H_{\text{прис}}$, L для различных вариантов сварки стыкового шва.

По каждому варианту выполняли сварку десяти образцов, по результатам обследования которых определяли вероятность появления холодных трещин, типа показанных на рис. 4. Дальнейшие исследования, связанные с определением температурных полей при сварке, микроструктурных изменений, диффузии водорода и напряжений в ЗП и ЗТВ, проводили численными методами на основе соответствующих математических моделей, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона

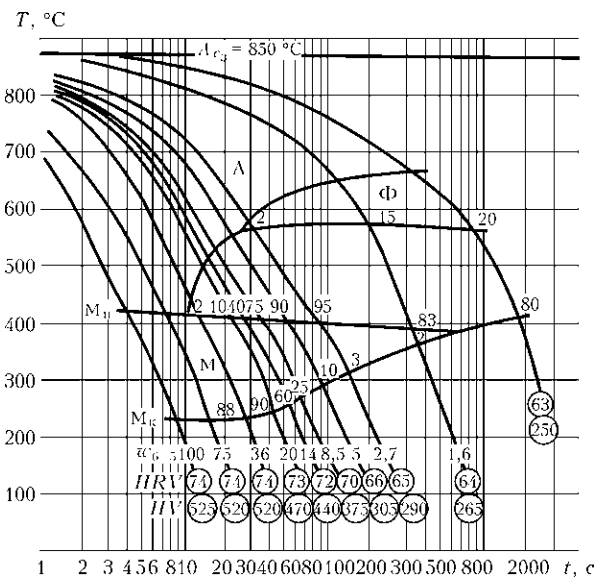


Рис. 3. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита в стали 14ХГ2САФД

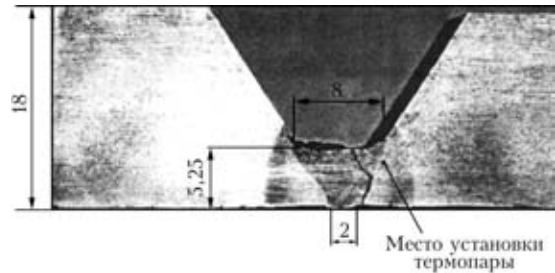


Рис. 4. Макрошлиф поперечного сечения шва после корневого прохода в исследуемой пробе при $L = 50$ мм и $T_0 = 11$ °C

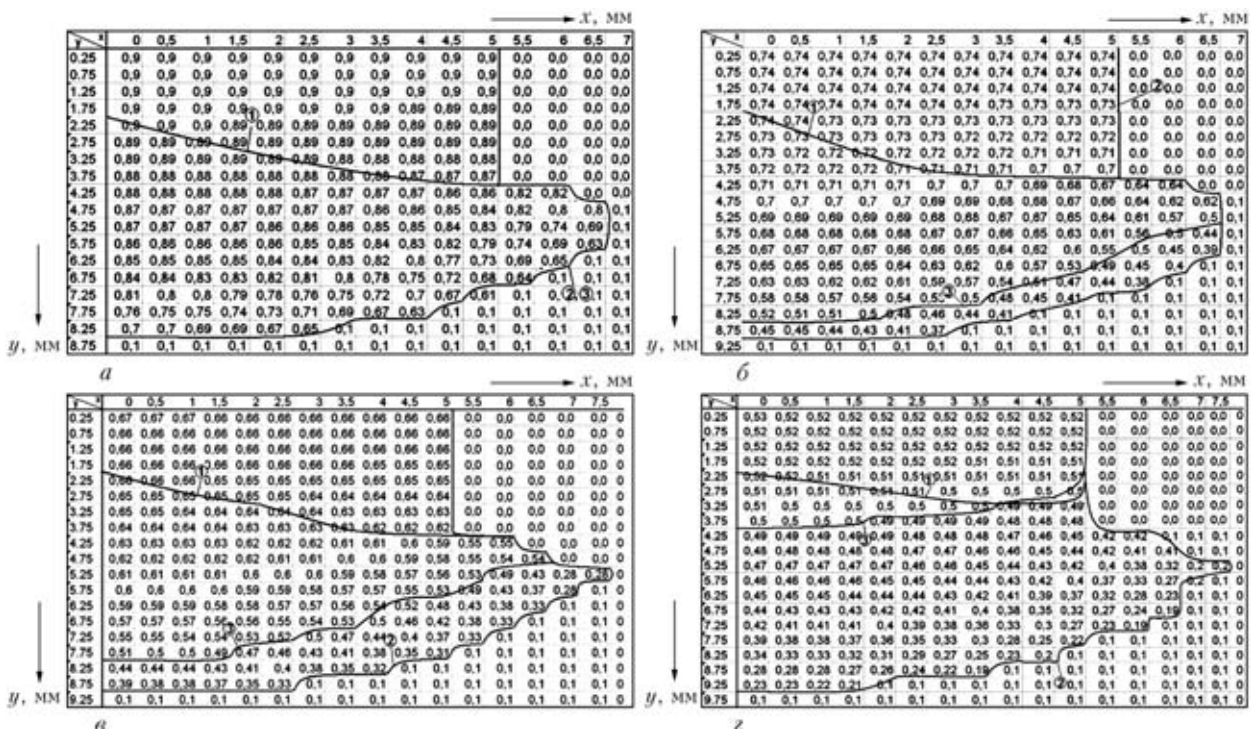


Рис. 5. Распечатка расчетных значений V_M в поперечном сечении корневого шва при $L = 50$ мм и $T_0 = 11$ (а), 70 (б), 90 (в) и 120 (г): 1 — граница ЗП; 2 — граница ЗТВ; 3 — граница, где $V_M \geq 0,5$



Таблица 2. Варианты испытаний на образование холодных трещин

№ варианта	$2L$, мм	T_0 , °C	$H_{\text{прис}}$, см ³ /100 г	Количество образцов без трещин	Вероятность разрушения	V_M
1	100	11	4,0	10	0	0,89
2	100	11	6,0	5	0,5	0,89
3	100	11	7,0	0	1,0	0,89
4	100	11	8,6	0	1,0	0,89
5	140	11	8,6	4	0,6	0,89
6	200	11	8,6	9	0,1	0,89
7	100	70	8,6	2	0,8	0,72
8	100	90	8,6	—	—	0,65
9	100	120	8,6	10	0	0,50

[2]. В основу этих моделей положен принцип последовательного прослеживания развития температурных полей, микроструктурных изменений, напряжений и деформаций, а также диффузия водорода от соответствующего начального распределения в присадочном и основном металлах с учетом изменения растворимости и коэффициентов диффузии в зависимости от температуры, а также микроструктурных изменений [2].

Не останавливаясь на подробностях такого моделирования применительно к рассматриваемой стали, теплофизические и механические свойства которой достаточно известны [3], ниже приводим основные расчетные результаты, использованные для получения параметров модели образования холодных трещин (2) при сварочном нагреве рассматриваемой стали.

На рис. 5 приведены данные о распределении мартенсита в поперечном сечении корневого шва (на расстоянии от его начала и конца) при сварке. Поскольку при скорости охлаждения в интервале $600...500$ °C $w_{6/5} > 7,8$ °C/c формируется в основном мартенситно-бейнитная структура (см. рис. 3), то данные, представленные на рис. 5, достаточно исчерпывающе характеризуют микроструктуру того объема (см. рис. 4), где образуется холодная трещина в зависимости от содержания водорода и напряжений. В частности, из рис. 5 следует, что при $T_0 = 11$ °C, которой соответствует $w_{6/5} \approx 25...35$ °C/c по термокинетической диаграмме (см. рис. 3), в металле ЗТВ содержание мартенсита составляет $V_M = 0,70...0,90$, при $T_0 = 70$ °C $V_M = 0,70...0,40$, при $T_0 = 90$ °C $V_M = 0,65...0,35$, при $T_0 = 120$ °C, что соответствует $w_{6/5} \approx 10$ °C/c, $V_M = 0,50...0,20$.

Что касается непосредственно зоны потенциального образования трещины (см. рис. 4), то содержание мартенсита по данным рис. 5 составляет $V_M = 0,89, 0,72, 0,65, 0,50$, т. е. соответствует классическим условиям появления холодных трещин при прочих необходимых условиях по водороду и напряжениям.

Рис. 6 дает представление о распределении диффузионного водорода к моменту времени ($t \approx 200$ с), когда создаются температурные условия для образования холодных трещин. Эти данные получены для исходного содержания водорода в присадочном металле $H_{\text{прис}} = 10$ см³/100 г.

Видно, что к моменту образования трещины реальное содержание диффузионного водорода в районе трещины (см. рис. 4) не превышает $(3,5 \pm 0,5)$ см³/100 г, т. е. 35 % $H_{\text{прис}}$, и мало зависит от значений T_0 в рассмотренных пределах. Отсюда следует, что по содержанию закалочных микроструктур (мартенсит, см. табл. 2) и исходному содержанию водорода $H_{\text{прис}} = 7,0...8,6$ см³/100 г, ко-

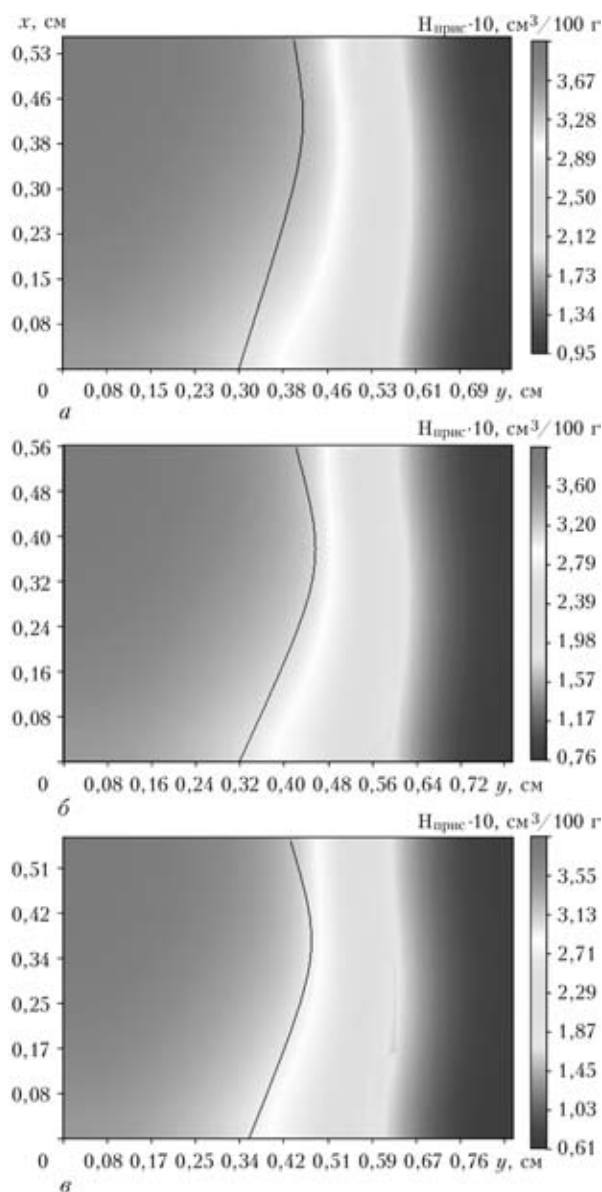


Рис. 6. Распределение диффузионного водорода в сечении $z = \text{const}$ в момент времени $t = 195$ с после прохождения источником данного сечения при $T_0 = 11$ (а), 70 (б) и 120 °C (в)

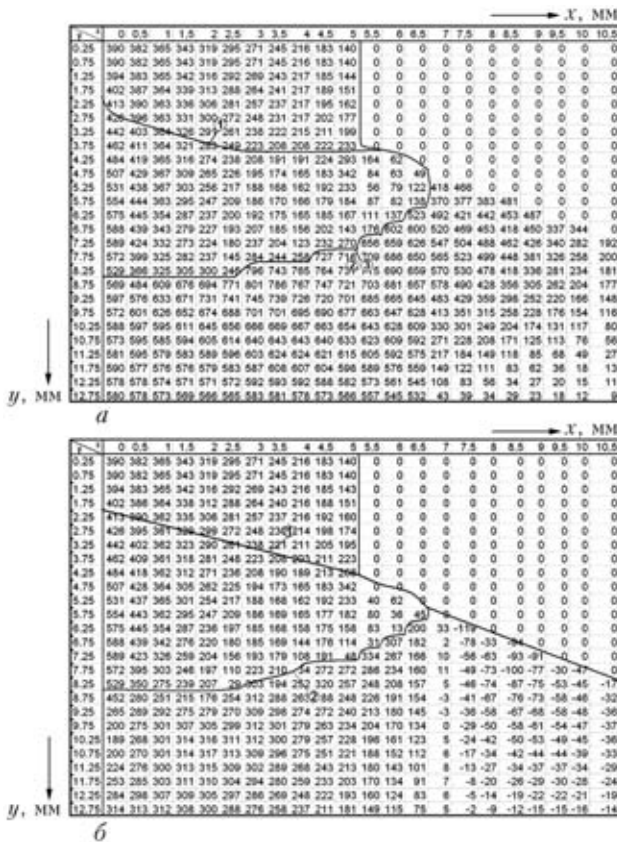
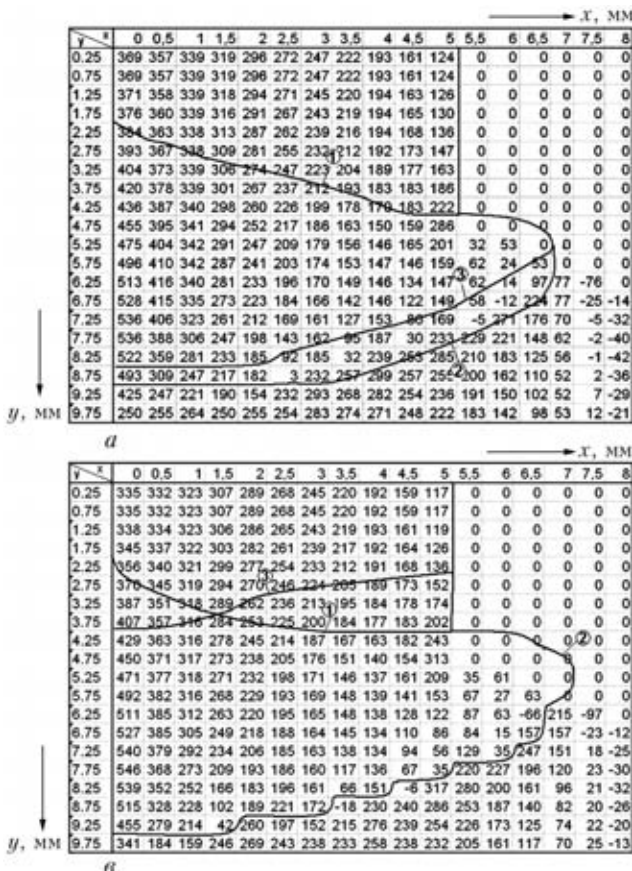


Рис. 7. Распечатка расчетных значений σ_1 (а) и σ_{yy} (б) при $T_0 = 11^\circ\text{C}$ и $L = 50\text{ мм}$ (№ 1–4, табл. 2); 1–3 — см. рис. 5



торое по сравнению с расчетным (см. рис. 6) должно снизиться приблизительно до $(2,5 \pm 0,3)$ см³/100 г, без привлечения данных о напряженном состоянии трудно объяснить экспериментальные данные о вероятности возникновения холодных трещин, представленные в табл. 2.

На рис. 7–9 приведены расчетные данные об остаточных главных максимальных напряжениях σ_1 и поперечных нормальных напряжениях σ_{yy} , ответственных за возникновение и распространение холодных трещин, типа приведенных на рис. 4 для вариантов, указанных в табл. 2.

Обработка этих данных по (1) для ЗТВ при $V_M > 0,5$ (на рис. 7–9 эту зону ограничивает кривая 3) позволила установить зависимость параметров

A , $\bar{B}$ и η (1) от содержания водорода в присадочном материале $H_{\text{прис}}$ (рис. 10). Характерно, что значение $A(H_{\text{прис}})$ достаточно хорошо коррелирует со значением $\sigma_{\text{кр}}(H_{\text{прис}})$, полученным при испытаниях «Имплант» при скорости охлаждения, соответствующей содержанию мартенсита свыше 50 % ($V_M > 0,5$).

Таким образом, из изложенного можно заключить, что количественные характеристики необходимых условий образования холодных трещин при сварке низколегированных высокопрочных сталей проявляются достаточно четко при использовании вероятностной модели хрупкого разрушения Вейбулла. Параметры распределения

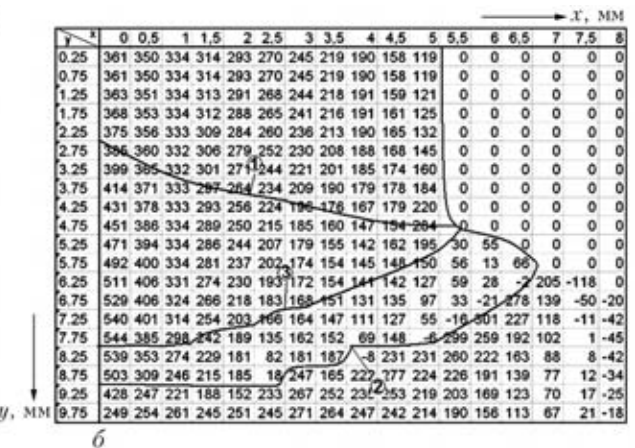


Рис. 8. Влияние T_0 на напряжения σ_{yy} при $L = 50\text{ мм}$: а — $T_0 = 70^\circ\text{C}$; б — 90°C ; в — 120°C

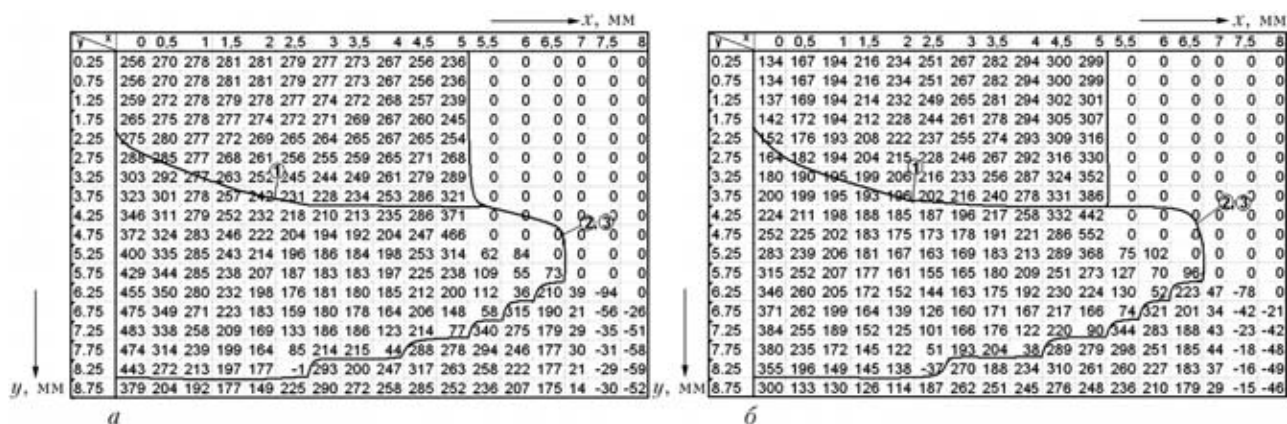


Рис. 9. Влияние значения L на напряжения σ_{yy} при $T_0 = 11^\circ\text{C}$: а — $L = 70$; б — 100 мм

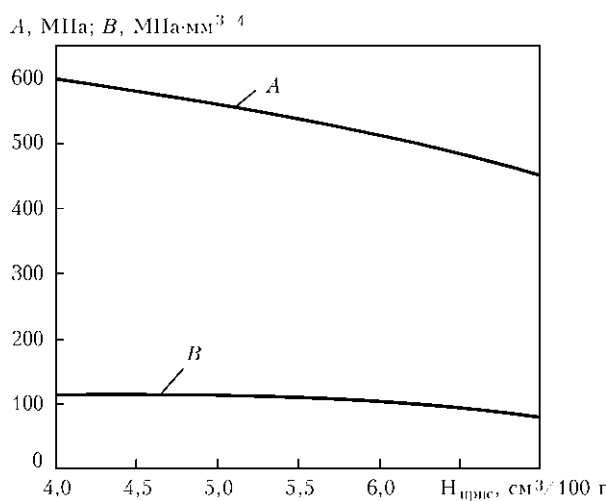


Рис. 10. Влияние содержания диффузионного водорода в при-
садочном металле на параметры Вейбулла A и B при $\eta = 4$

являются в общем виде функцией содержания
диффузионного водорода и микроструктурного

состояния материала при образовании разруше-
ния.

При сварке плавлением стали 14ХГ2САФД
можно принимать параметры распределения Вейбул-
ла $\eta = 4$, $A(H_{\text{прис}}) \approx \sigma_{\text{кр}}(H_{\text{прис}})$ (рис. 10), $\bar{B}_j \approx 100$
 $\text{МПа} \cdot \text{мм}^{3/4}$ при содержании мартенсита в ЗТВ
более 50 % ($V_M = 0,5$). При меньших значениях
 V_M заметно возрастает величина $A(H_{\text{прис}})$ так же,
как и $\sigma_{\text{кр}}(H_{\text{прис}})$ при испытаниях «Имплант», при
этом вероятность образования холодных трещин
в этой стали резко снижается.

1. *Welding handbook: Materials and applications.* — Miami, USA, 1998. — V. 4, pt. 2. — 620 p.
2. Махненко В. В., Королева Т. В., Лавринцев И. Г. Влияние микроструктурных изменений на перераспределение водорода при сварке плавлением конструкционных сталей // Автомат. сварка. — 2002. — № 2. — С. 7–13.
3. *Теплофизические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справ. /* Под ред. Б. Е. Неймарка. — М.: Энергия, 1967. — 219 с.

Mathematical model of the risk of cold cracking in welding of structural high-strength steels is considered. The model is based on distributed data on the state of microstructure, content of diffusible hydrogen and stressed state in elementary volumes within the welded joint zone. It is shown that the model makes it possible to more precisely evaluate the local conditions of cold cracking on the basis of the above parameters.

Поступила в редакцию 02.09.2009



УДК 621.791.04:669.018

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИДА ТИТАНА С ТИТАНОВЫМ СПЛАВОМ ВТ8, ПОЛУЧЕННЫХ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКОЙ

В. Ф. ГОРБАНЬ, д-р техн. наук (Ин-т проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины),
Г. К. ХАРЧЕНКО, д-р техн. наук, **Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО**, канд. техн. наук, **Л. В. ПЕТРУШИНЕЦ**, инж.
 (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы сварные соединения γ -TiAl (Ti–48 ат. % Al) со сплавом ВТ8, полученные методом диффузионной сварки в вакууме с применением нанослойных прослоек системы Ti–Al. Анализ прочностных свойств соединения проводили методом микроиндентирования на приборе «Микрон-гамма», а также путем механических испытаний на срез. Установлено, что после диффузионной сварки в вакууме исходная нанослойная прослойка преобразуется в интерметаллид, находящийся в состоянии, близком к нанокристаллическому.

Ключевые слова: диффузионная сварка, алюминид титана, зона соединения, нанослойная прослойка, микроиндентирование, твердость

В последние годы активно идет разработка новых жаропрочных материалов на основе интерметаллидов, в том числе алюминидов титана. Эти сплавы имеют более высокую температуру плавления, модуль упругости и более низкую плотность, чем суперсплавы на основе титана, железа и никеля. Благодаря высокому содержанию алюминия они не нуждаются в защите от окисления на воздухе и в продуктах сгорания топлива [1], что позволяет эффективно применять данные сплавы в качестве материалов для деталей газотурбинных двигателей, обшивки летательных аппаратов, деталей силового набора изделий авиакосмической техники, а также в различных отраслях промышленности [2].

Целью работы являлось исследование сплава алюминидов титана (Ti–47Al–1,5Cr–2Nb), который имеет двухфазное строение ($\alpha_2 + \gamma$), где α_2 –Ti₃Al и γ –TiAl, и сплава ВТ8 (6,5Al–3,3Mo–0,35Si). Диффузионную сварку в вакууме (ДСВ) выполняли на установке У-394 с применением нанослойных прослоек Al/Ti (Ti–52Al) по методике, описанной в работе [3], на оптимальном режиме: температура сварки 1200 °С, время сварки 20 мин, давление 10 МПа. В качестве источника нагрева образцов использовали электронно-лучевой нагреватель.

Использование нанослойных прослоек (НП) при ДСВ позволяет получить в зоне соединения состав и структуру, близкие основному металлу, вследствие протекания экзотермической реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Но непосредственное осаждение прослоек на свариваемые поверхности не всегда тех-

нологически осуществимо, поэтому более перспективным является использование отдельных НП в виде фольги.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан способ получения подобных материалов посредством совместного электронно-лучевого испарения элементов из двух источников в вакуумной камере [4].

На рис. 1 представлена типичная микроструктура поперечного сечения образца фольги в исходном состоянии. Из рисунка видно, что фольга состоит из непрерывных относительно ровных слоев. Светлые полосы соответствуют слоям титана, темные — алюминия.

Согласно работе [4] при нагреве НП Al/Ti в них происходят процессы, которые приводят к формированию структуры, состоящей из смеси интерметаллидов TiAl и Ti₃Al. Таким образом,

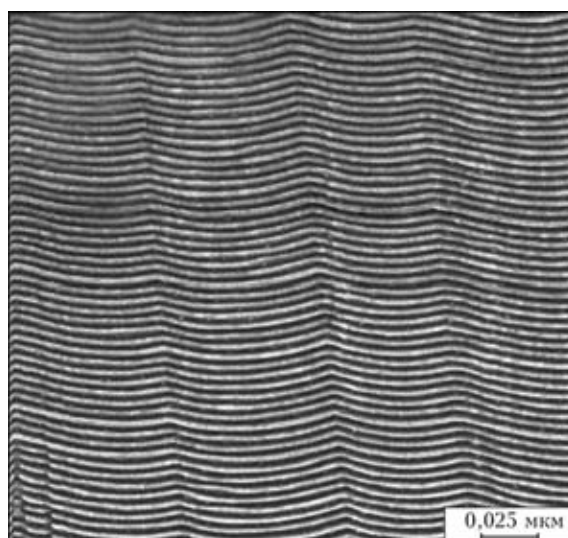


Рис. 1. Типичная микроструктура поперечного сечения образца фольги Al/Ti в исходном состоянии [4]

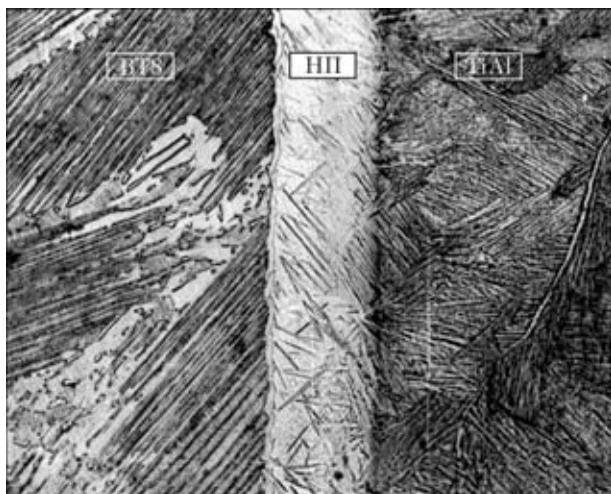


Рис. 2. Микроструктура (X400) соединения TiAl + НП + BT8

можно сделать вывод, что использование при ДСВ данного вида НП γ -TiAl с титановым сплавом BT8 позволит получить в зоне соединения структуру, подобную основному металлу.

Анализ микроструктуры биметаллического сварного соединения алюминид титана с титановым сплавом BT8 был проведен на микроскопах JSM-840 и «Неофот-32». В зоне соединения дефекты в виде пор и трещин отсутствуют. На бывшей границе контакта НП с алюминидом титана образуются общие зерна (рис. 2).

Определение механических свойств соединения проводили с помощью микроиндентирования, позволяющего исследовать труднодеформируемые сплавы без разрушения. Данный метод в соответствии со стандартом ISO 14577-1-2002(E) позволяет определять такие характеристики материалов, как твердость H_{IT} , модуль Юнга E_{IT} , ползучесть C_{IT} и упругость η_{IT} , а также идентифицировать его структурное состояние по соотношению твердости к эффективному модулю упругости. Значения указанных величин получают непосредственно с кривых автоматической записи кинетической диаграммы нагрузка–глубина внедрения индентора $P-h$ (рис. 3).

В основе данного метода лежит фундаментальное уравнение индентирования [5], которое устанавливает связь между показателями диаграммы индентирования и характеристиками деформации и напряжения материала (тарировочная зависимость индентирования):

$$H_{IT}/E^* = K(h_s/h_c), \quad (1)$$

где E^* — эффективный модуль упругости; K — константа формы индентора; h_s , h_c — контактная и внеконтактная глубина внедрения индентора.

Величина h_c является глубиной внедрения индентора, на протяжении которой осуществляется контакт между индентором и материалом после полного максимального нагружения P_{max} . В этой

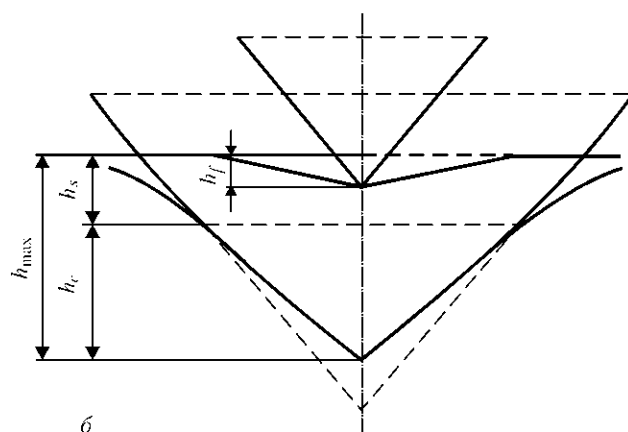
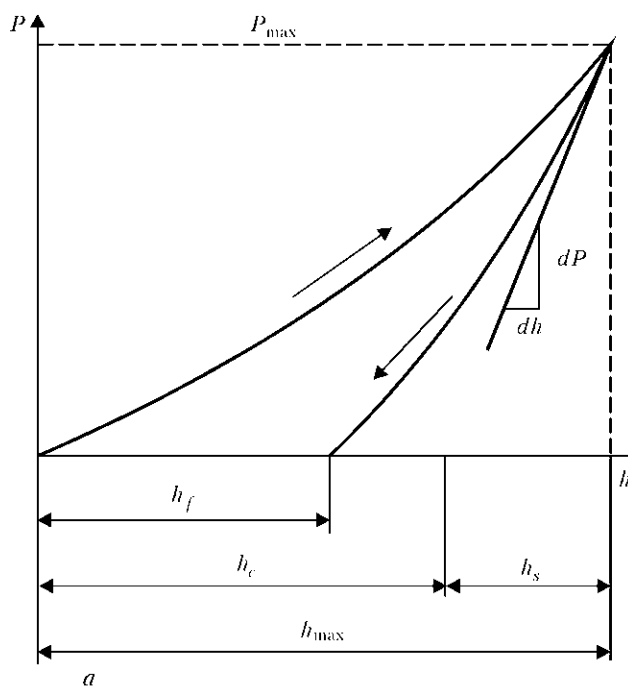


Рис. 3. Кинетическая диаграмма $P-h$ (а) и схема взаимодействия индентора с материалом (б) [5] (h_f — остаточная глубина внедрения после извлечения индентора; h_{max} — максимальная глубина внедрения при P_{max})

части отпечатка происходят упругопластическая деформация (возможное разрушение материала), а также упругая деформация индентора. Часть глубины внедрения индентора, на протяжении которой контакт с материалом отсутствует в результате образованного в материале углубления вокруг индентора, обозначена h_s . В этой части отпечатка имеет место полная упругая деформация материала.

Одной из важных характеристик материала является соотношение его твердости к модулю нормальной упругости H/E . Известно, что величина H/E характеризует способность материала оказывать сопротивление изменению размеров и формы в процессе деформирования, она отображает сформированное на основании стандартных механических испытаний материалов представление о соотношении их упругости [6].

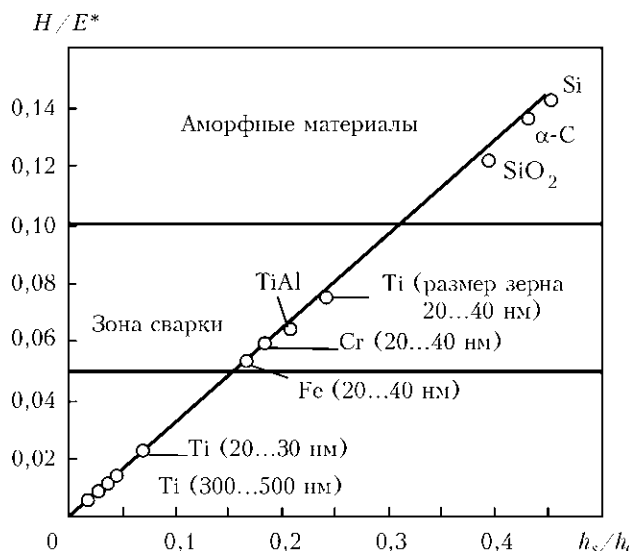


Рис. 4. Соотношение между величинами H/E^* и h_s/h_c в материалах с разным структурным состоянием

Величина H/E^* — нормированная твердость, по значению которой можно определить структурное состояние материала [6]. Для крупнокристаллических материалов данное соотношение не превышает 0,03. Мелкокристаллические (до 2...5 мкм) материалы имеют соотношение, достигающее 0,05. Для металлов в нанокристаллическом состоянии это соотношение составляет 0,06...0,10. При его значении более 0,12 материалы находятся в аморфном и аморфно-кристаллическом состоянии.

Микроиндентирование проводили на установке «Микрон-гамма» при комнатной температуре алмазной пирамидой Берковича с автоматически выполняемой нагрузкой ($P = 2$ Н) и разгрузкой на протяжении 30 с, а также записью диаграмм нагрузки, выдержки и разгрузки в координатах $P-h$. Нагрузку и разгрузку осуществляли путем электромагнитного влияния на индентор. Точность определения нагрузки P составляла $1 \cdot 10^{-3}$ Н, а глубина внедрения h индентора — $\pm 2,5$ нм. Значения характеристик P , $h_{\max}$, h_f , h_c , H , E^* , E определяли и фиксировали автоматически с использованием соответствующих формул согласно стандарту ISO 14577-1-2002(E).

Результаты индентирования различных зон сварного соединения приведены в таблице.

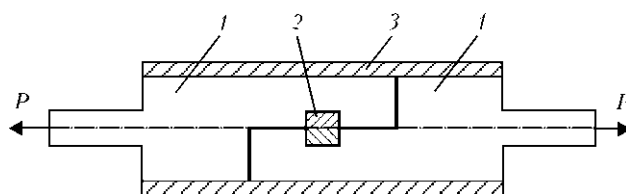


Рис. 5. Схема захватов для механических испытаний на срез сварных образцов: 1 — зажимные губки; 2 — сварные образцы; 3 — ограничительная труба

Для соединяемых материалов характерна структура зерна размером на уровне десятка микрометров и прочность в упругой зоне около 1100...1500 МПа. Соотношение H/E^* для материала НП в исходном состоянии (таблица) достигает 0,0710, что соответствует наноструктурным материалам (рис. 4). Несмотря на высокие значения твердости ($H_{IT} = 4,2$ ГПа) данный материал отличается значительной пластичностью $C_{IT} = 1,4$ %, т. е. для него характерны высокие показатели релаксации напряжений по сравнению с соединяемыми материалами, что улучшает контакт между ними.

Воздействия температуры сварки и высокого давления привели к значительным изменениям в переходном слое. Поввысились его твердость и модуль упругости до значений, характерных для сплава на основе TiAl. Таким образом, установлено, что после ДСВ исходная НП преобразуется в TiAl, который находится в состоянии, близком к нанокристаллическому (см. таблицу).

Авторы работы [7] утверждают, что при уменьшении размера структурных элементов до наноразмера живучесть материала резко возрастает. В работах [8, 9] указывается также на то, что материалы, находящиеся в нанокристаллическом состоянии, характеризуются повышенными механическими свойствами: увеличивается предел прочности, микротвердость, модуль Юнга. Авторы отмечают отсутствие в нанометровых кристалликах дислокаций, а также наличие большого объема межкристаллитной фазы с атомным беспорядком, что приводит к росту предела прочности в 2,0...2,5 раза.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что благодаря нанокристаллическому состоянию показатели механических свойств зоны соединения ВТ8 с TiAl находятся на высоком уровне.

Механические характеристики зон сварного соединения, полученные по данным автоматического индентирования

Исследуемый участок	H_{IT} , ГПа	E_{IT} , ГПа	C_{IT} , %	η_{IT} , %	H/E^*	$\varepsilon_{\text{упр}}$, %	$\sigma_{\text{упр}}$, МПа
Сплав ВТ8	3,85	101	1,07	31,8	0,0399	0,124	1181
Интерметаллид TiAl	4,90	120	1,00	32,0	0,0434	0,135	1503
Зона сварки	6,40	120	0,70	35,8	0,0565	0,176	1964
Исходная нанослойная фольга Ti/Al	4,20	60	1,40	48,2	0,0710	2,192	1218

Примечание. $\varepsilon_{\text{упр}}$, $\sigma_{\text{упр}}$ — соответственно упругая деформация и напряжение материала под индентором.

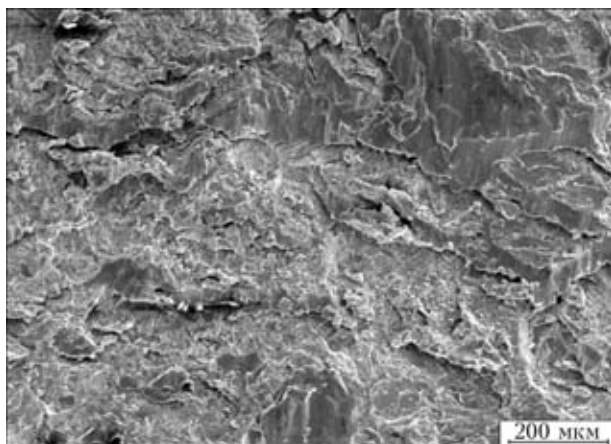


Рис. 6. Фрактографическая картина излома сварного соединения VT8+TiAl

Для оценки механических свойств сварных соединений VT8 с TiAl проводили испытания на срез. Образцы разрезали на электроэрозионной установке и доводили до размера 95×54 мм на алмазном круге, после чего разрывали с помощью специальных захватов (рис. 5).

Разрушение образцов происходило при прочности на срез $\sigma_{ср} = 6000...6500$ МПа, которая соответствует прочности основного металла. Излом имел вязкохрупкий характер (рис. 6). Анализ химического состава поверхности излома не выявил наличие ниобия. Из чего можно предположить, что разрушение произошло со стороны сплава VT8.

Таким образом, исследование зоны соединения методом микроиндентирования позволило определить, что в ходе термомодеформационного цикла сварки НП преобразуется в интерметаллид с нормированной твердостью $H/E^* = 0,0565$, характер-

ной для нанокристаллических материалов. Использование НП Ti/Al при ДСВ позволяет получать сварные соединения TiAl + НП + VT8, имеющие прочность на срез на уровне прочности основного металла.

1. Поварова К. Б., Банных О. А. Принципы создания конструкционных сплавов на основе интерметаллидов. Ч. 1 // Материаловедение. — 1999. — № 2. — С. 27–33.
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. Получение неразъемных соединений сплавов на основе γ -TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме / А. И. Устинов, Ю. В. Фальченко, А. Я. Ищенко и др. // Автомат. сварка. — 2009. — № 1. — С. 17–21.
4. Твердофазные реакции при нагреве многослойных фольг Al/Ti, полученных методом электронно-лучевого осаждения / А. И. Устинов, Л. А. Олиховская, Т. В. Мельниченко и др. // Спец. электрометаллургия. — 2008. — № 2. — С. 21–28.
5. Уравнение индентирования / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский, Н. А. Мамака // Доп. НАН України. — 2007. — № 12. — С. 100–106.
6. Связь прочностных характеристик материалов с показателями автоматического индентирования / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский, Н. А. Мамака // Материаловедение. — 2007. — № 11. — С. 26–31.
7. Мельников С. В., Пантелеев И. А. Приповерхностные слои структурных элементов нанокмпозитов как важный структурный уровень деформации // Мат. моделирование систем и процессов. — 2003. — № 11. — С. 67–75.
8. Золотухин И. В. Нанокристаллические металлические материалы // Соросов. образоват. журн. — 1998. — № 1. — С. 103–106.
9. Степанов Е. И., Григорьев М. В., Кирко В. И. Влияние добавок ультрадисперсного Al_2O_3 на физико-механические свойства корундовой керамики // J. of Siberian Federal university. Eng. & Techn. — 2008. — № 1. — P. 162–167.

Welded joints between γ -TiAl (Ti — 48 at. % Al) and alloy VT8 produced by diffusion bonding in vacuum through nanolayered interlayers of the Ti-Al systems were investigated. Analysis of strength properties of the joints was carried out by the microindentation method using the «Micron-Gamma» device, as well as by mechanical shear tests. After diffusion bonding in vacuum, the initial nanolayered interlayer was found to transform into intermetallic that is in the state close to the nanocrystalline one.

Поступила в редакцию 23.04.2009



ПРЕССОВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИДА ТИТАНА С ДРУГИМИ ТИТАНОВЫМИ СПЛАВАМИ

В. К. САБОКАРЬ, канд. техн. наук, **С. В. АХОНИН**, д-р техн. наук,
И. К. ПЕТРИЧЕНКО, **А. В. ЯСИНСКИЙ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведена металлографическая оценка качества сварных соединений интерметаллидного сплава Ti-32Al-2Cr с конструкционными сплавами ВТ1-0 и ВТ6, полученных сваркой давлением. Показано, что при прессовой сварке обеспечиваются условия для получения бездефектных сварных соединений.

Ключевые слова: прессовая сварка, алюминид титана, титан, микроструктура, соединения, микротвердость

Современные условия эксплуатации машин и механизмов требуют создания новых материалов конструкционного назначения с высокой удельной прочностью, способных выдерживать нагрузку при тяжелых условиях работы.

Предыдущие исследования показали, что титановым сплавам системы Ti-Al-Cr присуща низкая пластичность в литом состоянии при нормальной температуре, которая существенно ограничивает их применение в реальных изделиях [1]. Для повышения комплекса физико-механических характеристик при комнатной температуре и получения высокой жаропрочности и жаростойкости таких сплавов проводится оптимизация их химического состава, разработка режимов горячего деформирования, исследование их структуры и механических свойств в литом и деформированном состояниях.

В связи с этим определение закономерностей изменения физико-механических характеристик сплавов системы Ti-Al-Cr при эксплуатационных температурах 20...700 °C и оценка влияния структуры и механизмов разрушения этих материалов являются актуальными научными и прикладными задачами [2].

Проведены технологические эксперименты и исследования структур сварных соединений алюминид титана с титановыми сплавами разного состава, полученных прессовой сваркой. Целью настоящей работы стало проведение серии исследований, позволяющих установить особенности структурных изменений, а также влияние на них технологических факторов.

Для получения сварных соединений с алюминидом титана Ti-32Al-2Cr использовали прутки из сплава ВТ1-0 (технический титан) и ВТ6 (Ti-6Al-4V) диаметром 30 мм. В эксперименте отрабатывали принципиальную технологию получения разнородных сварных соединений перечис-

ленных металлов и исследовали процессы, протекающие в зоне соединения под действием параметров прессовой сварки.

При прессовой сварке алюминид титана соединения выполняются при температурах ниже температуры ($\alpha + \gamma$)-перехода, поэтому структура материала практически не изменяется и устраняются явления, обусловленные быстрым охлаждением соединения от высоких температур (выше температуры ($\alpha + \gamma$)-перехода), характерных для большинства других способов соединения (особенно для сварки плавлением).

К сварке были подготовлены образцы из сплавов ВТ1-0 и ВТ6 диаметром 23 мм, длиной 29 мм, а из алюминид титана — такого же диаметра, но длиной 16 мм. Сварку проводили в технологических кассетах со свободным деформированием пластического металла в пределах 5...8 мм от поверхности стыка.

Сварку алюминид титана с указанными титановыми сплавами осуществляли в вакуумной камере установки У-874 при температуре 820...830 °C. Образцы нагревали до этой температуры, выдерживали 15 мин с целью выравнивания температуры по всему сечению технологической оснастки, а затем прикладывали давление 300 МПа в течение 10 мин. Охлаждение образцов до температуры 200...300 °C осуществляли в вакуумной камере. Нагрев образцов в установке производили молибденовым нагревательным элементом со скоростью около 20 °C/мин.

Микроструктура зоны контакта полученных сварных соединений алюминид титана с техническим титаном ВТ1-0 и сплавом ВТ6 приведена на рис. 1. Зоны контакта обоих соединений имеют четко выраженную границу раздела между металлами и не имеют дефектов.

Исследование соединений алюминид титана+ВТ1-0 в состоянии после сварки (рис. 1, а) показало, что в зоне контакта соединяемых поверхностей образования общих зерен (при данных параметрах режима сварки) не обнаружено. При

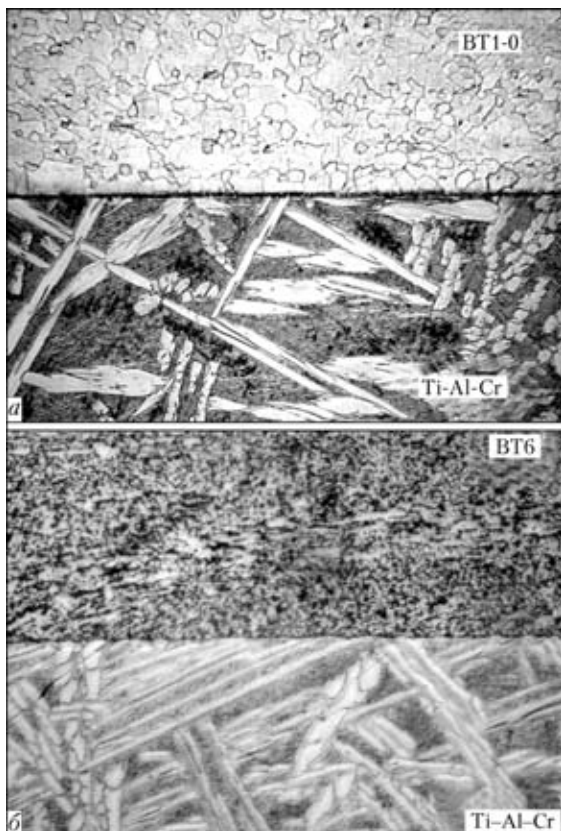


Рис. 1. Микроструктура зон контакта сварного соединения алюминид титана с техническим титаном BT1-0 (а, $\times 100$) и сплавом BT6 (б, $\times 200$)

большом увеличении (рис. 2) четко выявляется наличие диффузионной зоны как со стороны титана, так и со стороны алюминид титана.

С помощью микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) установлено, что более светлая фаза (рис. 2, позиция 1) в интерметаллидном сплаве имеет следующий химический состав, мас. %: 78,9 Ti; 18,88 Al; 2,16 Cr (рис. 3), а зерна более темной фазы с наличием продуктов распада (рис. 2, позиция 2) — 74,82 Ti; 18,63 Al; 6,55 Cr. Эти данные свидетельствуют о сложном внутреннем строении, в частности, о присутствии мелкодисперсных включений β -фазы, образовавшихся вследствие увеличения содержания хрома.

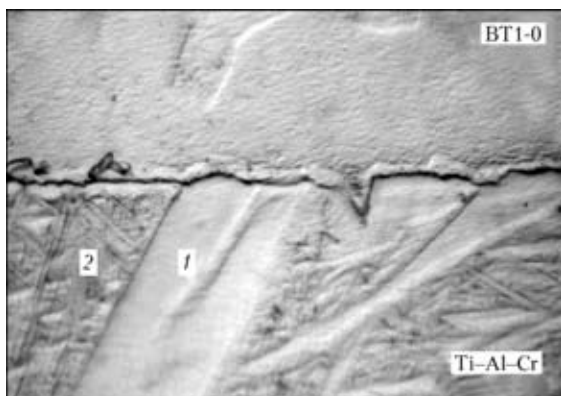


Рис. 2. Микроструктура ($\times 1250$) диффузионной зоны в сварном соединении алюминид титана+BT1-0

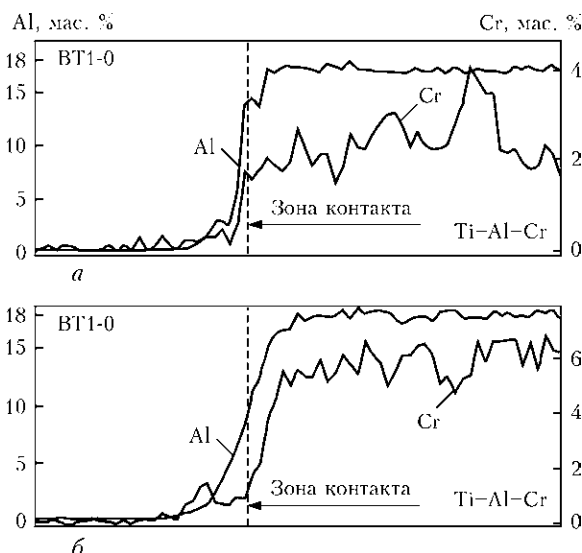


Рис. 3. Распределение алюминия и хрома в зоне контакта сварного соединения алюминид титана+BT1-0: а — светлые зерна; б — зерна с распадом

Характерной особенностью взаимодействия алюминид титана с техническим титаном BT1-0 под влиянием параметров режима сварки является диффузия алюминия через зону контакта из алюминид титана в титан по механизму зернограничной диффузии с образованием фазы. Наиболее интенсивно этот процесс происходит со стороны зерен с наличием продуктов распада (рис. 4).

Со стороны светлой фазы алюминид титана за время сварки в титан диффундируют как алюминий, так и хром, но последний — со значительно меньшей скоростью (рис. 3).

Исследование распределения микротвердости в направлении, перпендикулярном зоне контакта сварного соединения алюминид титана+BT1-0 (рис. 5), показало наличие диффузионной зоны шириной 5...7 мкм в направлении титана. Как установлено МРСА, происходит преимущественно диффузия алюминия со стороны алюминид титана (рис. 3, а), а также алюминия и хрома со стороны зерен фазы с распадом (рис. 3, б).

Исследования структуры сварного соединения алюминид титана+BT6 (рис. 6) показали, что существенных изменений в структуре обоих металлов не произошло. МРСА установлено распределение легирующих элементов в зоне контакта сварного соединения алюминид титана+BT6 (рис. 7). По данным МРСА, ширина диффузной зоны от зоны контакта в титановом сплаве BT6 составляет 2,5 мкм, а в алюминиде титана — 2,0 мкм.

Полученная микроструктура зоны сварки в оптическом микроскопе (рис. 6) показала, что вдоль зоны контакта двух металлов в алюминиде титана сформировались мелкие зерна α_2 -фазы с 11...15 мас. % Al. Кроме того, в пределах диффузионной зоны содержится 1,8...1,4 мас. % Cr и 0,4...1,8 мас. % V, который диффундирует из сплава BT6.

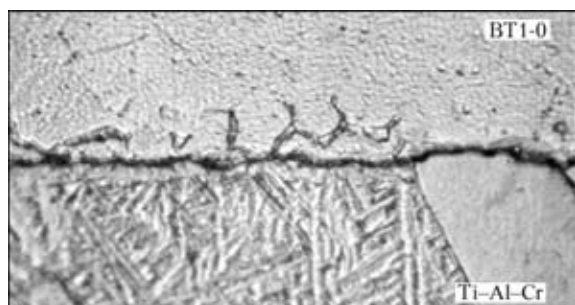


Рис. 4. Микроструктура ($\times 1250$) диффузионной зоны с зернограничной диффузией алюминия в титан

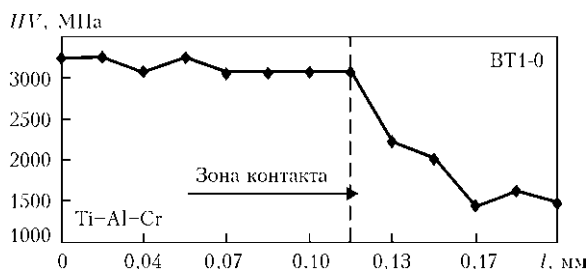


Рис. 5. Распределение микротвердости в зоне контакта сварного соединения алюминид титана+BT1-0 (l — расстояние между уколами индентора)

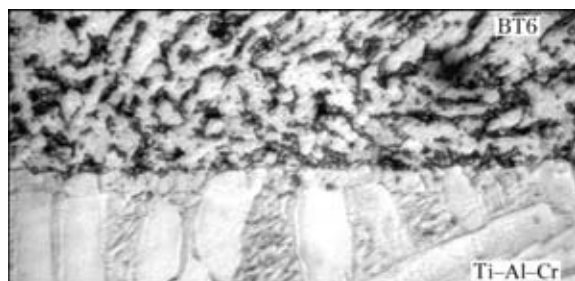


Рис. 6. Микроструктура ($\times 1250$) зоны контакта сварного соединения алюминид титана+BT6

В сплаве BT6 в диффузионной зоне содержание алюминия изменяется от 6,5 до 11,0 мас. %. Диффузионная зона обеднена ванадием (от 2,8 до 1,8 мас. %) за счет его диффузии в алюминид титана, но обогащена хромом (от 1,0 до 1,4 мас. %), который диффундирует из алюминид титана.

Исследовано распределение микротвердости поперек зоны контакта. Представленные на рис. 8 данные подтверждают наличие диффузионной зоны как в сплаве BT6, так и в алюминиде титана.

Таким образом, прессовой сваркой были получены бездефектные сварные соединения алюминид титана Ti-Al-Cr с титановыми сплавами

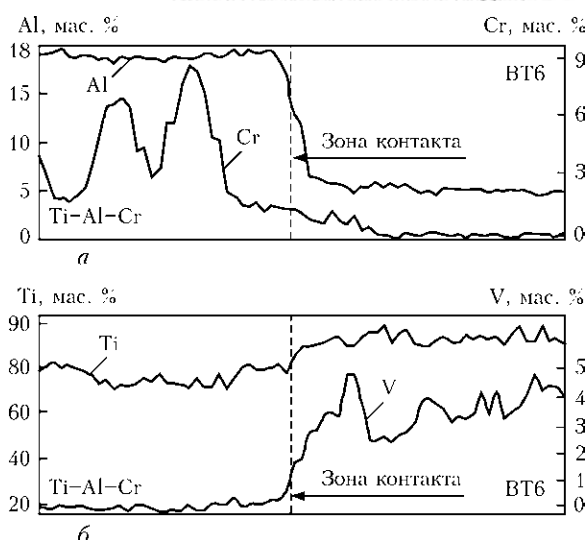


Рис. 7. Распределение алюминия, хрома (а) и титана, ванадия (б) в зоне контакта сварного соединения алюминид титана+BT6

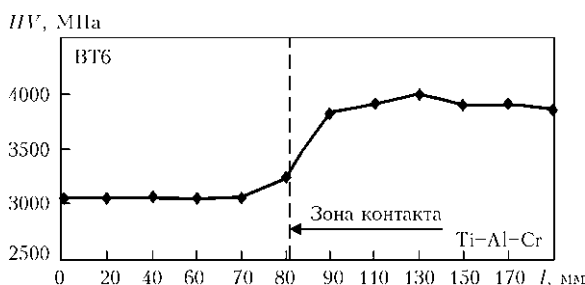


Рис. 8. Распределение микротвердости в зоне контакта сварного соединения алюминид титана+BT6

BT1-0 и BT6. Характерной особенностью взаимодействия алюминид титана с титаном BT1-0 под действием параметров режима сварки является диффузия алюминия через зону контакта по механизму зернограничной диффузии с образованием некоторой фазы.

При исследовании сварного соединения алюминид титана+BT6 наличия существенных изменений в структуре обоих металлов зафиксировано не было.

1. Новые подходы к деформационно-термической обработке литых интерметаллидных сплавов на основе γ -TiAl+ α_2 -Ti₃Al / В. М. Имаев, Р. М. Имаев, А. В. Кузнецов и др. // Физ. металлов и металловедение. — 2005. — 100, № 2. — С. 51–62.
2. Dimiduk D. M. Gamma titanium aluminides alloys — an assessment within the competition of aerospace structural materials // Mater. Sci. and Eng. A. — 1999. — 263. — P. 281–288.

The paper gives metallographic evaluation of the quality of welded joints of intermetallic alloy Ti-32Al-2Cr with VT1-0 and VT6 structural alloys made by pressure welding. It is shown that in pressure welding conditions are in place for producing sound welded joints.

Поступила в редакцию 08.04.2009



СВАРКА И РЕЗКА-2009 (Эссен, Германия, 14–19.09.2009)

Традиционная международная выставка «Сварка и резка», проводимая в Эссене каждые четыре года, вот уже 21 год, является своеобразным форумом сварщиков мира, на котором демонстрируются новые достижения в области сварки и родственных технологий.

В нынешней выставке приняли участие 1015 фирм из 42 стран мира, в том числе пять компаний из Украины и три из России. Несмотря на мировой экономический кризис количество участников по сравнению с 2005 г. не сократилось. На площади более 110 тыс. м² демонстрировалось 1000 стендов. Наиболее представительной была экспозиция Германии (417 фирм), далее Китая (137), Италии (122), США (49), Франции (38), Великобритании (33), Нидерландов (20), Индии (18), Швейцарии (15), Турции (14), Австрии (10). Остальные 29 стран имели экспозиции, демонстрирующие деятельность фирм, численностью менее десяти фирм от каждой. На выставке были представлены также восемь коллективных стендов: Великобритании (4 фирм), Италии (9), Китая (22), США (2 отдельных стенда, представляющих 34 фирмы), Тайваня (5 фирм), Франции (11), Японии (4), Украины (5).

За шесть дней работы выставки было зарегистрировано более 60 тыс. посетителей из 128 стран мира. Во время ее работы была проведена также конференция на тему «Математическое моделирование напряжений и деформаций в сварных соединениях».

На коллективном стенде Украины были представлены разработки Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев), ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования», фирмы «СЭЛМА» (г. Симферополь), ООО «Завод Донмет» (г. Краматорск), ООО «Промприлад» (г. Киев).

Представленный ниже обзор по ряду разделов выставки включает впечатления специалистов-членов делегации ИЭС им. Е. О. Патона, отражающие тенденции развития тех или иных направлений сварочного производства. В его подготовке приняли участие академик НАН Украины С. И. Кучук-Яценко (контактная сварка), чл.-кор. НАН Украины А. Я. Иценко и д-р техн. наук Л. Д. Добрушин (сварка в твердой фазе), д-р техн. наук С. В. Ахонин (сварка титана), кандидаты техн. наук В. А. Лебедев (оборудование для механизированной дуговой сварки), А. А. Рыбаков (технология, оборудование и сварочные материалы для трубосварочного производства), А. П. Жудра (материалы и технологии наплавки), В. Д. Шелягин (лазерная техника, лазерные и гибридные технологии), Ю. В. Демченко (разделительная резка, обрабатывающие станки, послесварочная обработка), П. П. Проценко (сварочные тренажеры), инж. Д. В. Коваленко (новые возможности ТИГ сварки).

Оборудование для механизированной дуговой сварки. По объему экспонатов на выставке оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки выглядело традиционно ведущим. Было широко представлено оборудование не только известных фирм и компаний из развитых стран, но и новых компаний из Китая, Португалии и других стран. Практически все основные дуговые процессы и технологии, реализуемые с использованием сварочных полуавтоматов, известны, однако имеются и некоторые интересные конструкторские решения, которые условно можно отнести к новым, так как они демонстрируют модификации уже известных разработок. Ряд фирм представили отдельные узлы для комплектации полуавтоматов: шланговые держатели, механизмы подачи (готовность встроить любой двигатель в разработанную конфигурацию механизма).

Источники питания для дуговой сварки (сетевые и инверторные). На выставке они были пред-

ставлены многочисленными фирмами: LINCOLN ELECTRIC, KEMPPI, FRONIUS, GRC Evans, Castolin Eutectic, ESAB, CLOOS, CEA, STARWELDSRL, SINCODA, TELWIN, FIMER S.p.A., FCW International, KHAZAR-TRANSFO, ALPNAPORCE. Китайскую промышленность представляли фирмы: HULONG, HUGONG welder, Aotai, Mitec, WTL, UNIPOW, YDULI, VIGEX, KIND, KAIERDA, JING GONG, JASIC и др.

Абсолютное большинство источников для комплектации полуавтоматов — это инверторные источники с цифровым программным управлением. Основные алгоритмы управления связаны с программным управлением переносом электродного металла, а также реализацией синергетического управления. Это и «холодный процесс» (фирма CLOOS) и SST-процесс (фирма LINCOLN ELECTRIC) и ряд процессов на их основе с видоизмененными параметрами импульсов. Фирма FRONIUS, например, существенно усовершенствовала CMT-процесс, синхронизировав по определенному алгоритму работу импульсного источ-



ника сварочного тока и импульсного механизма подачи, достигнув при этом дополнительные технологические эффекты.

Компьютеризированные источники сварочного тока, как правило, имеют от 24 до 60 программ реализации импульсно-дугового сварочного процесса с учетом режима, типа проволоки, положения шва и др. Кроме того, появились источники, например фирмы TELWIN S.p.A. (Италия) с возможностью on-line программирования с использованием информационного дисплея.

Большинство фирм выпускает инверторные источники на ток до 350 А, но имеются и образцы на токи до 600 и 1000 А.

Следует отметить, что на выставке были представлены достаточно простые конструкции источников сварочного тока, которые позиционировали как надежные и не требующие особого подхода при обслуживании.

Системы подачи электродной проволоки. Основное направление — это традиционные надежные пары подающих и прижимных роликов (одна и две пары) с различными конфигурациями канавок и других средств повышения тягового усилия в механизме подачи толкающего типа. Однако имеются системы подачи тянущего типа с механизмом в рукоятке шлангового держателя, при этом в качестве такого механизма могут быть использованы и редукторные механизмы, и механизмы на основе планетарных роликов.

В качестве электропривода используются комплектные электроприводы с электродвигателями постоянного тока (коллекторные и бесколлекторные). Для импульсной подачи фирмы CLOOS и FRONIUS используются специальные конструкции шаговых электроприводов. Регуляторы электроприводов в основном транзисторные, которые имеют программируемую регулировку с системами обратных связей. Новым в этой области является оснащение поста для полуавтоматической сварки двумя, независимо работающими механизмами подачи с двумя шланговыми-держателями, которые установлены на общем конструктиве с общей системой управления и источником сварочного тока. При этом одна система подачи предназначена для сварки сталей, а другая — цветных металлов. Такие полуавтоматы находят применение в автомобилестроении, где, кроме стальных элементов, в конструкциях используют узлы и детали из алюминиевых сплавов и меди. Эти полуавтоматы эффективны и при сварке длинномерных конструкций.

Конструкции полуавтоматов. На выставке было представлено большое количество полуавтоматов в основном общего назначения для сварки сталей и алюминия в среде инертных газов. Применение многокомпонентных смесей незначительно. Использование в полуавтоматах порош-

ковых электродных проволок предлагается лишь несколькими фирмами, среди которых известная компания Castoline Eutectic. Интерес представляли и полуавтоматы, в которых используется несколько алгоритмов работы, например, импульсное управление переносом электродного металла и модуляция режимов. Демонстрировались моноблочные конструкции и с переносным механизмом подачи, при этом управление сварочным процессом и его регулирование сосредотачиваются в одном месте. Широко используются корпуса полуавтоматов, выполненные из пластмасс, ряд фирм готов по требованию заказчика осуществить разработку и изготовление любых корпусных деталей (специальные корпуса, кассеты, элементы крепежа и др.) для механизированного оборудования.

На выставке не было представлено механизированное оборудование для сварки и резки под водой, полуавтоматы с использованием электродных проволок повышенных диаметров (порошковых и из сплавов алюминия диаметрами порядка 3,0 мм и более), полуавтоматы с управляемой импульсной подачей на основе бесколлекторных электродвигателей и ряд других позиций.

Ведущие фирмы LINCOLN ELECTRIC, ESAB, Air Liquide Welding, Castolin Eutectic, A&N EUROPE, Weber SHELDT, FRONIUS и ряд китайских компаний продемонстрировали в действии на узлах и элементах характерных металлоконструкций преимущества стационарных автоматизированных блочно-модульных комплексов и установок для выполнения стыковых и угловых соединений, плоскостных и цилиндрических металлоконструкций с прямо- и криволинейными поверхностями, а также для наплавки. Различные образцы такого оборудования предназначены для реализации технологий сварки проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой в защитных газах и под флюсом, самозащитной порошковой проволокой, неплавящимся электродом с присадкой проволоки. Комплексы изготавливаются из унифицированных функциональных модулей и включают технологический модуль; манипулятор технологического инструмента; модуль управления; модуль адаптации; модуль экологической защиты. В основе этих комплексов лежат прогрессивные решения приводов, исполнительных механизмов, специализированной оснастки и систем обеспечения экологического комфорта. Они могут быть взяты за основу при создании оборудования для осуществления технологий сварки и наплавки предприятиями малого и среднего бизнеса: наплавки железнодорожных и крановых колес, валов, валиков, шнеков, сварки емкостей, баллонов, ковшей, плоских металлических конструкций светотехнических опор, вварки элементов и горловин в емкости и т. п.



Большой интерес у посетителей вызвали универсальные легкие тележки (преимущественно ESAB, FRONIUS и ряд китайских фирм). Они предназначены для перемещения газокислородных резаков, горелок во всех пространственных положениях и могут успешно использоваться на монтаже и в стационарных условиях для резки, сварки, наплавки прямых и криволинейных поверхностей, а также кольцевых изделий. Массогабаритные и технические характеристики их таковы, что они могут перемещаться по направляющим рельсам, гибким полосам и без них. Несомненно, они могут широко использоваться для автоматизации процессов сварки, наплавки и резки даже в производственных условиях малых предприятий и мастерских.

Новые возможности ТИГ сварки. Отличительной особенностью прошедшей выставки является то, что не только ведущие мировые компании такие, как LINCOLN ELECTRIC, ESAB, FRONIUS, EWM, ITB, но и многие другие, в том числе и малоизвестные небольшие фирмы, значительно больше внимания уделяют разработке оборудования, материалов и аксессуаров для ТИГ сварки. На прошлых выставках из дуговых способов сварки очевидный акцент приходился на МИГ/МАГ сварку. Из всего многообразия представленных разработок и оборудования можно выделить следующие.

Technische Universitaet Chemnitz (Германия) представил устройство, повышающее глубину проплавления при ТИГ сварке. Принцип его действия заключается в импульсной подаче защитного газа (аргона) с определенной частотой (5 Гц), при этом расход аргона во время импульса составляет 30, а в момент паузы — 5 л/мин. Продемонстрированы образцы стыковых соединений из нержавеющей стали толщиной 5 мм, сваренные за один проход без разделки кромок. Фирма VBC Group (Англия) представила новый источник питания InterPulse, обеспечивающий контрагирование дуги с уменьшением ЗТВ; уменьшение погонной энергии в 1/3 раза по сравнению с обычной ТИГ сваркой; возможность сварки нового поколения монокристаллических суперсплавов; сварку титановых сплавов без защитных камер и козырьков.

Фирмы Jetline Engineering (США), United ProArc Corp. (Тайвань) предлагают большую гамму, в том числе, простых и недорогих установок для ТИГ сварки продольных и кольцевых швов. Фирма WELMAX (Норвегия), имеющая большой опыт сварки труб в монтажных условиях на нефтедобывающих месторождениях, представила автоматизированные установки для ТИГ сварки с подогреваемой присадочной проволокой поворотных и неповоротных стыков труб, в том числе в узкую разделку.

Фирма Astral Engineering GmbH (Германия) продемонстрировала комплексные линии оборудования

для спирально-шовной сварки труб из горячекатаной стали различного типоразмера диаметром от 170 до 3050 мм, толщиной от 4 до 25,4 мм и длиной от 6 до 20 м.

Фирма Systec Elektronik und Software GmbH (Германия) представила полностью готовые к интеграции системы позиционирования DriveSets как для поступательных, так и вращательных движений. Это укомплектованные универсальные мехатронные системы, которые поставляются полностью смонтированными и включают не только кинематику и устройство управления, но и программное обеспечение и документацию. Основные их преимущества: технические параметры (нагрузка, скорость и класс точности) в широком диапазоне; количество вариантов — более 36000; простой on-line выбор по диаграмме; срок поставки от 3 до 5 недель.

Около 40 фирм представили разнообразное оборудование для орбитальной ТИГ сварки, в частности высокоавтоматизированное и компьютеризированное оборудование с системами слежения и визуализации процесса сварки таких немецких фирм, как Arc Machines GmbH, ORBIMATIC, Orbitec GmbH, POLYSOUDE (Франция), ESAB AB (Швеция), Liburdi Automation Inc. (Канада).

Фирмы Meta Vision Systems Ltd. (Англия), SERVO-ROBOT Inc. (Канада), являющиеся лидерами в области лазерных систем слежения за стыком, представили гамму датчиков и систем для различных способов сварки (ТИГ, а также МИГ/МАГ, под флюсом, лазерной) применительно к производству труб, емкостей, корпусных конструкций и т. п., роботизированных технологий в автомобильной и космической промышленности. Фирма Scansonic (Германия) также экспонировала универсальный оптический датчик для систем слежения за стыком различных сварных соединений. Фирмы CAVITAR (Финляндия) и BFi OPTILAS GmbH (Германия) познакомили посетителей с интересной совместной разработкой — лазерно-оптической высокоскоростной системой CaviLux Welding Monitoring, позволяющей визуально вести наблюдение с очень высоким качеством и в реальном времени всего процесса сварки (как низко-, так и высокотемпературных зон). Фирма BFi OPTILAS также демонстрировала большую гамму различных цифровых видеокамер, дисплеев и программного обеспечения, которые могут найти широкое применение для научно-исследовательских работ в области различных сварочных процессов, а также промышленного применения.

Фирма Ing. Grimm Schweißtechnik GmbH. (Германия) представила высокоточную сварочную головку DKS 9000 для ТИГ сварки с подачей присадочной проволоки с цифровым программным управлением для автоматизированных установок



и роботизированных комплексов. Диаметр проволоки — 0,8...2,4 мм, скорость подачи (непрерывная и импульсная) — 0...15 м/мин. Фирма STB Schweißtechnik (Германия) демонстрировала установку TIG TIG с ручной сварочной горелкой для ТИГ сварки с подачей подогреваемой присадочной проволоки. Основные преимущества данной установки: высокая производительность (скорость наплавки — до 2 кг/ч и скорость ручной сварки — до 80 см/мин); снижение затрат до 150% по сравнению с обычной ТИГ сваркой. Фирма Rohrman Schweißtechnik GmbH. (Германия) представила сменное сопло-насадку Champagne Nozzle II для ручных сварочных ТИГ горелок. Основные преимущества: большой диаметр сопла — 28 мм; ламинарный поток газа при повышенном его расходе, что позволяет значительно повысить защитную способность сопла, что очень важно при ТИГ сварке нержавеющей сталей и активных металлов. Кроме того, можно значительно увеличить вылет вольфрамового электрода до 50 мм, что позволит сварщику лучше наблюдать сварочную ванну во время сварки.

Фирма Ges. fuer Wolfram Industrie (Германия) предложила вольфрамовые электроды типа WIT-STAR и ORBISTAR, не содержащие оксид тория, являющегося радиоактивным элементом. Кроме повышенной безопасности, данные электроды отличаются повышенной стойкостью по сравнению с обычными. Несколько фирм представили различные устройства для заточки вольфрамовых электродов: малогабаритные универсальные устройства серии Trix, а также устройство Neutrix, которое поставляется в кейсе (общая масса в комплекте 2,8 кг, мощность 650 Вт).

Фирма Aquasol (США) предложила следующую гамму материалов, повышающих эффективность сварки: Aquasol — водорастворимая бумага и лента; EZ Purge — готовые самоклеющиеся заглушки для продувки газа из водорастворимой бумаги; Solugar — водорастворимые прокладки уникальной конструкции для варки встраиваемых труб; Fiback — стекловолоконная подкладочная лента для устранения или уменьшения потребности в продувке газа и создания обратной защиты сварочной ванны; EZ Zone — двухслойная алюминиевая лента для герметизации зазоров между свариваемыми кромками; LiquiFilm — водорастворимая полимерная пленка для использования в качестве барьера для продувочного газа; EZ Wipes — многоцелевые очищающие салфетки. Для точного измерения концентрации кислорода после продувки труб защитным газом (аргоном) перед сваркой фирма демонстрировала переносной автономный оксиметр OX-100 с разрешающей способностью прибора — 0,1% (1000%).

Фирмы NITTY-GRITTY S.R.L. (Италия), Chemetall AG (Германия) и другие представили раз-

личные устройства типа Clinox и Antox для очистки сварных швов после сварки.

Технология, оборудование и сварочные материалы для трубосварочного производства. Технология и оборудование для производства труб большого диаметра были представлены на стендах фирм Uhrhan-Schwill и ESAB. В отличие от выставки 2005 г. фирма Uhrhan-Schwill не имела собственного стенда и размещалась на стенде фирмы LINCOLN ELECTRIC. В отличие от предыдущей выставки на стенде фирмы LINCOLN ELECTRIC был представлен лишь четырехдуговой аппарат для сварки внутренних швов труб, полный аналог образца 2004 г. Аппарат имеет систему опорных и направляющих роликов, регулирующую штангу, лазерную систему поддержания вылета электрода, цифровую систему управления процессом сварки и другие элементы. Указанные аппараты были включены в состав оборудования, поставленного фирмой SMS Meer для комплектации новых цехов по производству труб на Выксунский металлургический, Ижорский трубный и Челябинский трубопрокатный заводы.

Известно, что фирма Uhrhan-Schwill в 2008/2009 г. предложила, например, для Харцызского трубного завода новую конструкцию аппарата для сварки внутренних швов без опорных роликов (не опирающегося на внутреннюю поверхность трубы). В настоящее время аппарат данной конструкции находится в стадии доработки. Изготавливаемый фирмой пятидуговой аппарат для сварки наружных швов труб на выставке не был представлен. По имеющейся информации фирма не имеет каких-либо новых технологических решений по сварке труб и рекомендует применять, как и в разработках ИЭС им. Е. О. Патона, четырех- и пятидуговую сварку под флюсом. Разработанный фирмой LINCOLN ELECTRIC в содружестве с фирмой Uhrhan-Schwill инверторный источник питания Power wave 1500, представленный на прошлой выставке, пока не нашел применения в трубосварочном производстве. Партию таких источников четыре года назад закупил Europipe, однако нет сведений относительно их применения и технологических преимуществ. На данной выставке источник питания Power wave 1500 не был представлен.

В качестве сварочных материалов для трубосварочного производства фирма LINCOLN ELECTRIC предлагает известные агломерированные алюминатно-основные флюсы 995L и 998L и проволоку системы Fe-Mn-Mo (L-70) и Fe-Mn-Mo-Ti-B (LNS 140 TB). Новые разработки в области сварочных материалов для сварки труб отсутствуют.

На стенде фирмы ESAB был представлен четырехдуговой аппарат для сварки внутренних швов труб. В этом аппарате применяется плащеч-



ный плоский мундштук, размещенный поперек направления сварки взамен втулочного.

Дополнительно на стенде фирмы ESAB был установлен трехдуговой аппарат, с помощью которого демонстрировалась сварка толстостенных (примерно 60 мм) обечаек. Применяемый процесс близок к трехдуговой сварке труб.

Для сварки труб фирма ESAB, как и фирма LINCOLN ELECTRIC, предлагает уже известный алюминатно-основной флюс марок ОК 10.71 и ОК 10.74 и проволоки тех же систем легирования. Флюс ОК 10.71 по результатам исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона, не пригоден для многодуговой сварки труб и не применяется на трубосварочных заводах Украины и России. Новые разработки в области сварочных материалов для трубного производства отсутствуют.

Наплавка. За последние четыре года в области дуговой наплавки не произошло существенных изменений с точки зрения развития новых технологий. Традиционно на выставке были представлены такие фирмы, как Sulzer Metco Woka (Германия), Castolin Eutectic (Швейцария), WELDING ALLOYS GROUP (Англия), VAUTID GmbH (Германия), EIPA Eiseh Palmen (Германия), Contex (Германия), DURUM SA (Германия), ERGOTEM SA (Греция), SV Schweiß- und Verschleißtechnik GmbH и Co.KG (Германия), Kalenborn Kalprotect GmbH и Co. KG (Германия), фирма из Китая — Beijing Advanced Materials Co., Ltd. (Пекин) и китайский филиал Asiamet Inc. (США), а также ряд более мелких фирм из разных стран.

Большинство этих фирм представляли образцы наплавленных деталей преимущественно для металлургической, горнодобывающей, горноперерабатывающей, цементной и других областей промышленности. Доминирующее положение в широкой гамме наплавочных технологий по-прежнему принадлежит автоматической электродуговой наплавке порошковыми проволоками открытой дугой и под флюсом, а среди изделий наиболее массовым продуктом по-прежнему является износостойкий биметаллический лист. В отличие от ранее широко распространенной технологии наплавки по слою шихты сегодня такие крупные производители наплавочных работ, как Castolin Eutectic, EIPA, Contex и др., преимущественно производят наплавку листов порошковыми проволоками открытой дугой или под флюсом. До 12 установок работают на фирме VAUTID GmbH, 10 установок круглосуточно наплавляют листы на немецком заводе фирмы Castolin в г. Крифтель.

Значительно возросли объемы производства биметаллических листов, наплавленных плазменно-порошковым способом (РТА процессом) с упрочнением стальной или никель-хром-бор матрицей гранулами сферического и дробленого карбида вольфрама. Фирма DURUM демонстриро-

вала лист толщиной $2 + 2$ мм, наплавленный такими материалами. На фирмах Sulzer Metco Woka, Castolin (отделение в Австрии) и ряде других РТА процесс совмещают с лазером для получения композиционных слоев на деталях бурового оборудования, в частности, калибраторах, расширителях, долотах и пр.

Практически все фирмы традиционно представили большую номенклатуру наплавочных материалов, преимущественно порошковых проволок и электродов, в меньшей степени спеченных лент. Как достижение предлагаются порошковые проволоки на базе карбида хрома, легированные ниобием (до 7 %) и ванадием (до 8 %), наплавленный металл которых стойкий в условиях интенсивного абразивного и газоабразивного износа при температурах до 750°C . Особый интерес представляет порошковая проволока фирмы Castolin, позволяющая получать в наплавленном слое наноструктуру с твердостью до 70 HRC. Заметно возросло количество фирм по производству и соответственно потреблению карбидов вольфрама. Фирмы Sulzer Metco Woka, DURUM, Technogenia, BAM (Китай) Asiamet Inc. (США), а также немецкая фирма Carbide and Metal (C&M) сегодня предлагают несколько видов порошка для наплавки на базе карбидов вольфрама: макрокристаллический WC с 6 % углерода, плавный WC + W_2C , дробленый и сферический (полученный путем оплавления дробленого в струе индукционной плазмы), а также синтезированный, металлокерамический сплав вольфрама с кобальтом от 2 до 6 %. При этом следует отметить, что сферический карбид вольфрама, полученный по технологии ИЭС им. Е. О. Патона, которая основана на термоцентробежном распылении, по единодушному заключению всех заинтересованных фирм обладает наилучшими качествами и находится вне конкуренции.

Оборудование для производства наплавочных работ на выставке было представлено рядом специализированных установок и широкой гаммой роботов различных фирм.

Характерным для специализированных установок, предназначенных для наплавки и сварки крупногабаритных деталей, является массивная модульная база, установленная на мощной колонне или портале, что обеспечивает высокую точность наплавочных и сварочных работ. Примером может служить установка фирмы Key Plant (Германия). Особый интерес представляют установки фирмы WELDING ALLOYS для наплавки цилиндрических деталей массой до 3 т, а также установка для наплавки внутренних поверхностей корпусных деталей и труб длиной до 3 м. Ряд фирм представляли небольшие наплавочные установки на модульной основе.

Лазерная техника, лазерные и гибридные технологии. Лазерную технику, лазерные и гиб-



ридные технологии на выставке представили более 15 фирм: IPG Photonics (USA), IPG Laser GmbH (Германия), ROFIN; TRUMPF, JENOPTIK, LASERMAK TURKEY, HIGHYAG, ALPNALASER (Германия), Scansonic, WINLaserNC, PEIS-LASER-MATERIAL, BEARBEITUNG, GNLASER (Китай), BAM, SLV-Halle (Германия) и др.

Большой интерес вызвала экспозиция фирмы IPG, которая представила новые образцы мощных волоконных лазеров, технические и эксплуатационные характеристики, которых превосходят лазеры других конструкций:

- ресурс работы 50...100 тыс. ч с возможностью продления срока при небольших затратах;

- отсутствие расходующихся материалов и минимальные эксплуатационные затраты;

- минимальное время на пусконаладку, подготовку помещения и ввод в эксплуатацию;

- возможность многократного наращивания мощности путем приобретения дополнительных блоков;

- возможность транспортировки излучения по оптическому кабелю длиной 10...100 м и коммутации излучения на 6...8 таких кабелей с целью организации многофункциональных технологических участков;

- возможность эксплуатации оборудования персоналом с начальным или средним техническим образованием.

Одномодовые иттербиевые волоконные лазеры мощностью до 2 кВт фирмы IPG имеют превосходные характеристики пучка. Лазеры типа YLR-1000SM и YLR-2000 SM имеют расходимость пучка (BPP) 0,4 мм·мрад при работе от активного оптофильтра диаметром 20 мкм и 2 мм·мрад при работе через транспортный фидер диаметром 50 мкм.

На выставке был продемонстрирован волоконный лазер YLS-30000 мощностью 30 кВт, который при мощности 5 кВт имеет показатель качества пучка менее 2 мм·мрад, что в несколько раз меньше, чем у лазеров других конструкций. Этот лазер может быть укомплектован резательными и сварочными головками фирмы HIGHYAG, а также сканатором, который позволяет отклонять лазерный пучок на 160...200 мм в разные стороны, при расстоянии от изделия до сканатора 600 мм.

Фирма ROFIN также продемонстрировала одномодовый иттербиевый волоконный лазер, мощностью 1 кВт с высоким качеством пучка. Фирма TRUMPF представила 4-киловаттный дисковый лазер (с оптоволоком), сопряженный со сверхскоростным трехкоординатным манипулятором, на котором размещен сканатор со следующими техническими характеристиками: фокусное расстояние 450 мм; время полного отклонения 30 мс; диаметр пучка на изделии 600 мкм; размеры обрабатываемого объема: X-206 мм; Y-352 мм; Z-140 мм.

Технология сопряжения двух систем управления лазерным пучком позволяет значительно повысить производительность установки и осуществлять так называемую сварку на ходу. Быстрый «прыжок» лазерного пучка от одного места сварки к другому посредством сканирующей оптики сокращает потери времени на перемещение сварочной головки манипулятором и время расходуется лишь на сварку. Мощность и качественные параметры дисковых лазеров значительно улучшились. Так, при мощности 1 кВт — BPP 2 мм·мрад, при мощности 2...8 кВт — 8 мм·мрад. Мощность единичной установки увеличилась до 10...16 кВт.

Интересные устройства, сканаторы и приспособления были продемонстрированы фирмами Scansonic и ILV DC-SCANNER. Образцы головок для гибридной лазерно-дуговой сварки представили фирмы HIGHYAG, FRONIUS, ESAB, CLOOS, SLV-Halle и др.

Образцы труб диаметром 900 мм, толщиной до 14 мм, сваренных гибридным лазерно-дуговым способом, представили фирмы IPG, BAM, SLV-Halle (видеофильм) и VIETZ.

Фирма IPG представила образцы и проспекты по лазерно-контактной сварке. Аппаратуру для лазерной, плазменной и газовой резки демонстрировали такие, как фирмы ESAB, MESSER, KARABASIS, HUGONG, Koike, HONEYBEE, Eckert, PROARC, TECHNO, WTL, Szhuayilong, AUTOREX и др. Большое впечатление произвели машины для кислородной резки фирмы ESAB, KOIKE, Eckert. Выполненные ими образцы демонстрируют гладкую поверхность и минимальный уклон стенок, а также хорошую поверхность со скосом кромок.

Большой интерес представляют 5- и 6-координатные манипуляторы и роботы, выполняющие резку и сварку сложных пространственных деталей, например, врезку труб под различными углами. Несомненно, лазерные установки для резки вне конкуренции при обработке тонкого металла. Фирма LASAG представила серию установок, осуществляющих лазерную резку и сверление с рекордными показателями: ширина реза металла толщиной 1...0,04 мм, сверление металла толщиной до 0,5 мм под углом 30° при диаметре отверстия 0,1 мм.

Сварка титана. На выставке по сварке титана были представлены традиционные технологии: электронно-лучевая сварка (ЭЛС) и аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом в среде инертных газов (ТИГ).

Технология ЭЛС титана предлагается в основном для авиа- и энергомашиностроения. Установки для ЭЛС были представлены фирмами: probeam systems GmbH (Германия), TECHMETA (Франция), Cambrige Vacuum Engineering (Англия). Все фирмы оказывают весь комплекс услуг по поставке оборудования и технологий ЭЛС.



Поставки оборудования включают поставки вакуумных камер размерами от 300×300×300 до 7000×7000×14000 мм, электронно-лучевых пушек с ускоряющим напряжением от 60 до 175 кВ и мощностью луча до 80 кВт вместе с источниками питания, автоматизированные системы загрузки-разгрузки и манипуляторы, системы управления, а также вакуумные системы, позволяющие вакуумировать камеру установки менее чем за 30 мин, а также другие вспомогательные системы. Кроме сварки, фирмы предлагают технические и технологические решения по электронно-лучевой обработке поверхности и резке (сверлению отверстий).

Следует отметить, что фирма Cambridge Vacuum Engineering с 2006 г. по лицензионным соглашениям занимается реализацией новых разработок Британского института сварки, предлагая, в частности технологию электронно-лучевой наплавки заготовок, близких к форме конечных изделий (Near Net Shape Technology), ЭЛС в условиях низкого вакуума (Reduced Pressure EBW) и т. д.

Технологии аргонодуговой сварки титана в основном предлагаются для применения в области химического машиностроения (сварка труб и трубных досок теплообменников), причем основное внимание уделяется орбитальной сварке неповоротных стыков. Установки для орбитальной сварки были представлены фирмами: Orbitalum Tools GmbH (Германия), Stelin s. r. l. (Италия), Progettazione Apparecchiature Industriali Srl (Италия), Arc Machines, Inc. (США), POLYSOUDE (Франция). Все поставщики данного оборудования предлагают комплексные поставки, включающие специализированные сварочные головки со 100 % защитой сварных швов инертным газом при сварке труб диаметрами от 10 до 300 мм, источники питания сварочной дуги с компьютерным управлением режимов сварки, оборудование для разделки кромок, вспомогательную оснастку и оборудование. Кроме того, данные фирмы обеспечивают обучение персонала навыкам работы на поставляемом оборудовании.

Для сварки неповоротных и поворотных стыков труб с толщиной стенок до 150 мм из обычных и нержавеющей сталей фирма Arc Machines предлагает технологию и оборудование для ТИГ сварки в узкий зазор, а фирма POLYSOUDE — технологию и оборудование для МИГ сварки в узкий зазор.

Контактная сварка. Оборудование для контактной сварки демонстрировалось на стендах 15 фирм. Среди них наиболее широкий сортамент оборудования представлен фирмами DALEX Schweißmaschinen (Германия), GF Welding S.p.A. (Италия), Semsa (Италия), Wantec (Германия), ANTECH ELECT Ltd. (Китай) и др. Большая часть оборудования представляет собой универсальные

и специализированные машины для точечной и рельефной сварки, а также источники питания к ним.

Общей тенденцией последних лет для всех классов этого оборудования является использование инверторных источников энергоснабжения, обеспечивающих трехфазную загрузку сети, повышение энергетических показателей, расширение возможностей регулирования параметров процесса сварки.

Более 80 % всех машин для сварки сопротивлением мощностью более 100 кВт·А, представленных на выставке, были оборудованы преобразователями, обеспечивающими загрузку трех фаз сети, а также использование постоянного тока в сварочной цепи с постоянным током во вторичной сварочной цепи. Следует отметить, что за последние три-четыре года произошло резкое (почти на порядок) снижение цены таких преобразователей, что, безусловно, способствовало расширению их использования в современном оборудовании для контактной сварки. Особенно следует отметить, что снижение габаритов и массы преобразователей позволило широко использовать их в мобильных клещах для точечной сварки. Было представлено много типов клещей со встроенными в них источниками энергоснабжения (выпрямители, высокочастотные трансформаторы). Второй особенностью такого оборудования является использование модульного принципа компоновки конструкции клещей, собранных из типовых элементов (блоки выпрямителей, трансформаторы, системы управления). Это позволило создать специализированное оборудование, предельно адаптированное к особенностям конструкции свариваемых узлов, а также использовать его в составе роботизированных комплексов.

Кроме оборудования для точечной сварки, на нескольких стендах было представлено достаточно много типов портативных установок для приварки шпилек различного сечения и конфигурации. Установки обеспечивают сварку с использованием конденсаторных накопителей энергии, а также с электродуговым разрядом.

На стенде фирмы Dalex schweißtechnik был представлен полный набор инверторных источников для точечной сварки мощностью от 100 до 1000 кВт·А. Инверторы, кроме равномерной загрузки трех фаз, позволяют значительно снизить импеданс вторичной цепи сварочной машины и увеличить токи при сварке благодаря использованию постоянного тока.

На стенде фирмы Semsa демонстрировалась широкая гамма оборудования для точечной сварки, интегрированного в высокопроизводительные поточные линии, в том числе с роботизированной загрузкой. Представляет интерес оригинальная ус-



тановка для шовной контактной сварки тонкостенных цилиндрических оболочек из оцинкованных сталей (достигнута производительность до 2 м/мин), а также для приварки продольного орebrения.

Представлен набор модулей для точечной сварки, установленных на портале, с возможностью их многокоординатного перемещения в пространстве. Набор интегрированных модулей для компоновки специализированных клещей точечной сварки был представлен на стенде фирмы CF Welding. В их числе трансформаторы с промежуточной частотой 1000 Гц, наиболее используемые в инверторах для точечной сварки.

Оборудование для приварки шпилек демонстрировалось фирмами Nelson, HBS, Soyer, Koso (Германия), Silicon (США), в котором для ударной приварки используется разряд конденсатора или электродуговой разряд.

В первом случае привариваются детали малого диаметра 2...10 мм к тонкому листу (0,6...1,0 мм). Преимуществами этой технологии являются минимальная деформация, отсутствие подплавления обратной стороны, возможность приварки к тонкому месту, в том числе разнородных материалов. Для приварки шпилек большого диаметра (до 25 мм) используется технология с электродуговым разрядом, которая позволяет приваривать резьбовые шпильки, анкерные болты и прочий крепеж. Портативный ручной инструмент это делает с высокой производительностью (время сварки до 1 с) с использованием стандартных источников энергоснабжения для электродуговой сварки.

Фирма Silicon разработала установки для приварки болтов и анкеров диаметром до 50 мм с использованием инверторных источников, рассчитанных на токи до 4000 А. В этом случае для формирования сварного шва необходимы специальная подготовка торцов привариваемых стержней, а также специальные керамические кольца, устанавливаемые в месте сварки. Сварка стержней диаметром более 20 мм демонстрировалась впервые на выставке и вызвала интерес у посетителей.

Сварка в твердой фазе. На выставке этот способ сварки, включающий сварку взрывом, сварку трением, сварку трением с перемешиванием и другие смежные технологические процессы, был представлен на стендах фирм DMC (США), Uhde GmbH (Германия), Van Campen Exploform (Нидерланды), Druseid (Германия), ESAB (Швеция).

Американская корпорация Dynamic Materials Corporation (DMC) является мировым лидером в области сварки и резки металлов взрывом. Сегодня в состав этой корпорации входят уже такие европейские компании, как Dynaplat (Германия), Nitro Metall (Швеция) и Nobelclad (Франция). Корпорация DMC охватывает более 60% мирового

рынка по производству сваркой взрывом крупногабаритного биметалла.

Компания Uhde GmbH является мировым лидером по производству электролизеров для производства каустической соды. В электролизерах применяют электрические биметаллические переходники — длинномерные полоски Ti + Ni толщиной 1,0 + 1,0 мм соответственно, которые получают только сваркой взрывом. Годовая потребность в производстве переходников Ti + Ni составляет 240000 шт.

Компания Van Campen Exploform B.V. занимается преимущественно штамповкой взрывом сложных и высокоточных изделий из листового металла. В последнее время она намерена расширить свои интересы в области сварки взрывом и создания вакуумируемых взрывных камер.

Среди смежных направлений, представленных на выставке, следует отметить компанию Druseid, производящую биметалл Cu + Al холодным прокатом, компанию Cytex GmbH, изготавливающую оборудование и инструмент для сварки трением с перемешиванием, и компанию Orbitalum Tools GmbH, выпускающую пистолеты для полуавтоматической варки труб в сваренные взрывом биметаллические трубные доски.

Фирма ESAB продемонстрировала сварку трением с перемешиванием алюминиевых сплавов в различных пространственных положениях посредством робота и пяти комплектов сборочно-сварочных приспособлений. Заготовки из полуфабрикатов толщиной до 5...6 и 10...20 мм сваривали при частичном или полном проплавлении при одно- и двухпроходном соединении. Стыковые прямо- и криволинейные швы выполняли на плоских и цилиндрических деталях. Благодаря использованию робота и точной, жесткой сборочной оснастки были сварены угловые, торцевые и тавровые соединения, а также криволинейные швы по заданной программе. Действующая сварочная головка с рабочим инструментом посредством адаптера соединяется со шпинделем привода и двигателем. Имеется таблица технических параметров при использовании шпинделя со скоростью вращения 3000 об/мин (усилие 13 кН, вращательный момент 44 Нм).

Среди других разработок фирмы ESAB применительно к алюминию представляют интерес орбитальные головки (серия из трех типоразмеров) для соединения неповоротных стыков трубопроводов.

Разделительная резка, мобильные обрабатывающие станки, оборудование для механизации сварочных процессов. *Разделительная резка.* В мировой практике, в случаях когда традиционное газорежущее оборудование не приемлемо, а именно для разделительной резки, демонстрация конструкций или разделки дефектов на высоколегированных и углеродистых сталях, чугуне,



алюминиевых и медных сплавах, используют электроды со специальным покрытием, не требующие подачи в зону реза кислорода и сжатого воздуха. Фирмы ESAB, LASTEK, LINCOLN ELECTRIC и другие демонстрировали такие разработки. Практически все электроды обеспечивают достаточную скорость резки этих металлов во всех пространственных положениях, не перегреваются и используются полностью. При резке коррозионностойких и низкоуглеродистых сталей кромки реза не науглероживаются, что не требует их последующей зачистки перед сваркой.

Мобильные обрабатывающие станки. При выполнении комплексных ремонтов, например, уникальных литых и сварных конструкций металлургического оборудования, оборудования горнообогатительных фабрик, магистральных и технологических трубопроводов различного назначения, оборудования для электростанций с использованием сварки и родственных технологий остро стоит вопрос механической обработки как до, так и после сварки. Поэтому мобильное оборудование для механической обработки, в том числе разделки кромок, удаления дефектных мест, снятия наклепанного слоя, высокоточной обработки сопрягаемых мест в условиях конструкции или частичного демонтажа, весьма востребовано. На выставке мобильное оборудование было представлено такими фирмами, как PROTEM, COFIM, AXHAIR, PIPEWORK EQUIPMENT, TechnoPipe, TRUMPF и др. Среди них представляют интерес:

станки, рассчитанные на обработку концов труб, валов в диапазоне диаметров от 27 до 1460 мм. В зависимости от типоразмера они могут снабжаться пневматическим или электрическим приводом;

станки, предназначенные для расточки после восстановления запорной арматуры, фланцев и поверхностей сопряжения. Привод в основном электрический;

расточные станки с возможностью совмещения с оборудованием для наплавки внутренних поверхностей. В таких случаях наплавка и обработка производятся с одной установки. Их отличают эффективные конструкторские и технические решения для использования в ограниченных объемах, разнообразие приводов.

Всему оборудованию присущи жесткие несущие узлы и узлы сочленения, рассчитанные на тяжелые условия работы, компактные системы приводов для достижения оптимального соотношения мощности, массы и габаритов. Монтаж осуществляется с помощью установочных кронштейнов, сферических подшипников и самоцентрирующихся конусов.

Известные способы послесварочной обработки сварных конструкций, повышающие сопротивление усталости, условно разделяются на пять

групп: механические, термические, деформационные, импульсные, вибрационные и специальные. Наибольшее распространение благодаря доступности оборудования и достаточной эффективности получили деформационные способы с помощью вводимой различным образом механической энергии, стимулирующей деформации в различных зонах сварных соединений. На выставке фирмы PFEIFER и PITEC предлагали соответствующее специализированное оборудование и технологии, демонстрировали результаты, свидетельствующие о повышении сопротивления усталости сварных соединений в результате обработки металла шва и околошовной зоны путем проковки одно- и многобойковым инструментом. Примером практического использования указаны металлоконструкции морских стационарных платформ, мачтовых сооружений, кранов, мостов, подвижного состава, экскаваторов и т. п.

Сварочные тренажеры. На стенде Немецкого сварочного общества была представлена экспозиция технических средств практической подготовки сварщиков — сварочных тренажеров, в частности тренажеры восьми фирм — FRONIUS (Австрия), FWBI (Германия), LINCOLN ELECTRIC, Nave (Венгрия), SIMFOR (Испания), SLV (Германия), 123 Certification (Канада), ИЭС им. Е. О. Патона (Украина).

По способу имитации сварочного процесса представленные тренажеры можно разбить на две большие группы: электронные (виртуальные) и малоамперные (дуговые). Реализована идея компьютерного моделирования техники движений сварщика при их подготовке к выполнению практических заданий. Разработаны компьютерные программы виртуальной сварки, с помощью которых отрабатываются основные двигательные навыки, например, разные скорости сварки, разные расстояния от конца электрода до изделия и разные углы наклона электрода. В программу тренажера входит моделирование упражнений по сварке в разных пространственных положениях, стыковыми и угловыми швами. Благодаря обратной связи и постоянному анализу обучаемый сварщик быстрее начинает приобретать двигательные навыки по технике ведения ручного дугового процесса сварки.

Для моделирования формы сварного шва и качества сварки используются специальные датчики систем слежения, которые отслеживают положение рабочего инструмента (электрододержателя/горелки) и скорость его перемещения.

Электронные тренажеры моделируют сварочную обстановку на экране монитора, встроенного в шлем сварщика, и/или на мониторе, встроенного в стойку тренажера. Имитатор свариваемой конструкции присутствует не у всех и служит для начальной ориентации ученика в виртуальной ре-



альности, поскольку аналогичная конструкция отображается на экране монитора. Эргономические показатели имитаторов ручного инструмента, как правило, значительно отличаются от реальных ручных инструментов. На выставке электронные тренажеры были представлены фирмами: FRONIUS, FWB, LINCOLN ELECTRIC, Nave, SIMFOR, 123 Certification. Электронные тренажеры могут быть дополнительным техническим средством для закрепления теоретического материала на уровне учебных фильмов и мультипликации. Они дают хорошее представление об основных элементах сварочной обстановки и их взаимодействии. Тем не менее, говорить о формировании психомоторных (двигательных) навыков ведения сварочного процесса у студентов на сегодня нельзя, поскольку не учитываются основные эргономические особенности сварки. Среди представленных электронных тренажеров необходимо отметить тренажеры фирм FRONIUS и LINCOLN ELECTRIC, которые отличаются дружелюбным интерфейсом, удобством в работе и хорошей визуализацией элементов сварочной обстановки (шов, разогретый металл, ванна, дуга).

Сварочные тренажеры с технологией имитируемого или виртуального дугового сварочного процесса позволяют моделировать движение сварщика во время сварки с отображением процесса сварки и анализом полученных результатов.

Виртуальный сварочный процесс и его результаты отображаются на специальном экране, смонтированном в маску сварщика, а также выводятся на отдельный монитор. Все параметры тренажа записываются и могут быть использованы в дальнейшем для детального анализа инструктором.

Основная идея — моделирование условий для приобретения психомоторных навыков при практической подготовке сварщиков на основе компьютерных технологий без использования реального дугового процесса сварки. Применение таких тренажеров призвано решить проблемы организации обучения, повысить качество профессиональной подготовки, уменьшить затраты и сроки обучения.

Следует отметить высокую стоимость электронных виртуальных тренажеров (от 50...80 тыс. евро).

Малоамперные дуговые тренажеры сварщика построены на имитации сварочной обстановки на основе реальной малоамперной дуги. Эргономика такой модели максимально приближена

к реальному процессу, что в свою очередь дает основание говорить о возможности использования таких тренажеров на начальных этапах формирования психомоторных навыков ведения сварочного процесса.

На выставке малоамперные дуговые тренажеры представляли SLV, ИЭС им. Е. О. Патона. По функциональным возможностям они похожи, поэтому есть смысл отметить их отличительные особенности.

Тренажер SLV — оригинальный оптический способ определения пространственного положения имитатора ручного инструмента. Для этого используется видеокамера, а на имитаторе ручного инструмента горят два светодиода красного цвета. По взаимному положению светодиодов относительно жестко установленной видеокамеры определяется пространственное положение имитатора электрода. Такой способ дает довольно хорошие результаты, но требует дополнительных программно-аппаратных затрат, что влечет заметное удорожание тренажера.

Программное обеспечение хорошо организовано и для управления программой используется touch screen (сенсорный экран).

Толщина имитатора свариваемых поверхностей (металлическая пластина толщиной около 2 мм) и недостаточная мощность источника тока приводят к ограничению возможной длины дугового промежутка до 2 мм. Дугу удерживать довольно сложно. В результате для работы с тренажером уже необходимы психомоторные навыки ведения сварочного процесса. Таким образом, тренажер затруднительно использовать на ранних этапах обучения, но он может оправдать себя для поддержания навыка ведения сварочного процесса. Стоимость тренажера в зависимости от комплектации от 20 тыс. евро.

Тренажер ИЭС им. Е. О. Патона (МУАЦ) — в качестве имитатора ручного инструмента использует реальные рабочие инструменты (электрододержатели и горелки) со встроенными в них датчиками пространственного положения. Такой подход позволяет сохранить эргономические характеристики ручного инструмента. Облегченное программное обеспечение обеспечивает работу тренажера под управлением как современных, так и устаревших моделей вычислительной техники без потери функциональных возможностей. Стоимость составляет 1,5 тыс. евро.



ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Д. ШЕЛЯГИН, В. Ю. ХАСКИН, В. С. МАШИН, кандидаты техн. наук, **М. П. ПАШУЛЯ, А. В. БЕРНАЦКИЙ, А. В. СИОРА**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено влияние интенсивности испарения элементов основного металла и электродной проволоки, а также состава защитной газовой среды на прохождение лазерного излучения к свариваемому металлу при гибридной сварке алюминиевых сплавов. Исследованы технологические особенности гибридной лазерно-дуговой сварки плавящимся электродом, выбраны режимы, проведено сравнение полученных результатов со сваркой импульсной дугой плавящегося электрода.

Ключевые слова: лазерно-дуговая сварка, алюминиевые сплавы, импульсная дуга, плавящийся электрод, гибридный процесс, стыковые соединения, параметры режима, характерные дефекты, механические свойства

Алюминиевые сплавы применяют для сварных конструкций автомобильного и железнодорожного транспорта, судов различного назначения, авиационной и космической техники, корпусов приборов и т. д. Основной проблемой изготовления таких конструкций чаще всего является получение качественных сварных соединений, при выполнении которых используют присадочные или электродные проволоки, а также отбортовку кромок. Толщина стенок соединяемых деталей преимущественно составляет от десятых долей миллиметра до 1...3 мм (реже 4...8 мм) [1]. Одним из важных моментов при выборе того или иного алюминиевого сплава для изготовления элементов указанных выше конструкций является максимально возможное снижение общей массы изделий при сохранении их механических характеристик. Этот подход приводит к необходимости применения сплавов с различными системами легирования. Так, в современных ответственных конструкциях переходят от сплавов систем легирования Al–Mg–Mn (сплав АМг6) и Al–Cu–Mg (сплав Д16) к сплавам, например, системы Al–Mg–Li (сплав 1420), имеющим высокие механические характеристики при низкой их плотности и повышенном модуле упругости [2].

Для изготовления конструкций с указанным диапазоном толщин стенок отдельных элементов, кроме дуговых и плазменных (микроплазменных) способов сварки, можно использовать лазерную сварку (ЛС) [3]. На практике этот способ не получил широкого применения, в первую очередь, из-за высокой стоимости технологических лазеров. Однако использование лазерно-дуговой свар-

ки позволяет снизить примерно на 50 % себестоимость погонного метра сварного шва за счет частичной замены лазерной мощности дуговой и повысить на 50 % производительность процесса [4]. Такой процесс должен позволить сохранить большинство преимуществ ЛС и сделать его более привлекательным для потребителя.

Перед проведением экспериментальных исследований проанализированы публикации, посвященные гибридной лазерно-дуговой сварке алюминиевых сплавов с целью уточнения параметров режима сварки. В работе [5] рассмотрены технологические особенности сварки алюминия и его сплавов излучением CO₂-лазера мощностью $P = 0,6$ кВт совместно с дугой неплавящегося вольфрамового электрода. Так, сплав 5052 толщиной $\delta = 3,2$ мм предложено сваривать со скоростью $v_{\text{св}} = 30,5$ м/ч при токе $I_{\text{св}} = 70$ А в защитной среде гелия [5]. Соотношение лазерной мощности к дуговой составляло примерно 1:3. В связи с малой мощностью лазерного излучения формирование шва имело типичный для дуговой сварки характер. При соотношении лазерной и дуговой мощностей приблизительно 1:1 формирование швов имело кинжальный вид, который приближался к характерному для ЛС [6, 7]. Так, при повышении мощности лазерного излучения от 0,1 до 1,5 кВт (длина дуги 10 мм) для получения надежного проплавления скорость увеличивалась от 0,5 до 2,0 м/мин. При этом отношение глубины проплавления к ширине шва изменялось от 0,5 до 2,0, а погонная энергия от 3,2 до 0,5 кДж/см.

В работе [8] отмечается, что в отличие от ЛС, при которой зазор между стыкуемыми элементами не должен превышать 10 % толщины металла, при гибридной сварке этот параметр может составлять 25...30 %. В работе [9] рассматривалась гибридная сварка алюминиевых сплавов излуче-

нием CO_2 - и Nd:YAG-лазеров в диапазоне мощностей от 0,4 до 6,0 кВт. По критерию снижения склонности к трещинообразованию был подобран режим гибридной сварки алюминиевого сплава серии 6000 ($\delta = 2$ мм), превосходящий по скорости ЛС на 40 %. В обзорной работе немецких ученых [10] отдельно рассмотрены технологические возможности комбинированной лазерно-дуговой сварки (при которой дуга и лазерный пучок воздействуют на изделие на определенном расстоянии один от другого) и гибридной сварки (оба источника тепла воздействуют на изделие в пределах общей сварочной ванны). Особое внимание авторы уделяют сварке алюминиевых сплавов гибридом лазерного излучения с дугой плавящегося электрода и даже рассматривают двухдуговой гибридный способ. В обзорной работе [11] для сварки алюминиевых сплавов (5052 и 6008) рекомендуемый диапазон варьирования расстояния между сфокусированным излучением Nd:YAG-лазера и дугой плавящегося электрода составлял 0...10 мм (лучше 4...10 мм). При этом ток дуги изменяли в пределах $I_{\text{св}} = 60...240$ А, мощность непрерывного излучения лазера $P = 1,5...3,5$ кВт.

Проанализировав литературные данные, можно заключить, что для гибридной сварки алюминиевых сплавов толщиной $\delta = 4...6$ мм целесообразно использовать лазерное излучение с длиной волны 1,06 мкм в диапазоне мощностей $P = 2...5$ кВт и дугу плавящегося электрода. При этом соотношение мощностей лазерного излучения и дуги должно лежать в пределах от 1/1 до 1/1,5.

Целью данного исследования являлась отработка техники и технологических режимов сварки алюминиевых сплавов АМг6, 1420 и Д16 гибридным способом с использованием излучения Nd:YAG-лазера и импульсной дуги плавящегося электрода (ИДПЭ), а также изучение технологических особенностей такой гибридной лазерно-дуговой сварки.

Для достижения поставленной цели был проведен ряд экспериментов согласно схеме, приведенной в работе [12] (рис. 1). Как показано в работе [13], эта схема полностью пригодна для сварки алюминиевых сплавов. В качестве источника лазерного излучения использовали Nd:YAG-лазер модели DY 044 (фирмы «Rofin Sygar», Германия) с мощностью излучения до $P = 4,4$ кВт. Импульсную дугу плавящегося электрода питали от установки «Fronius TPS-2700» (фирмы «Fronius», Австрия), обеспечивающей сварочный ток до $I_{\text{св}} = 270$ А.

Гибридную головку размещали на манипуляторе, перемещавшем ее относительно неподвижного образца, зажатого в сварочном приспособо-

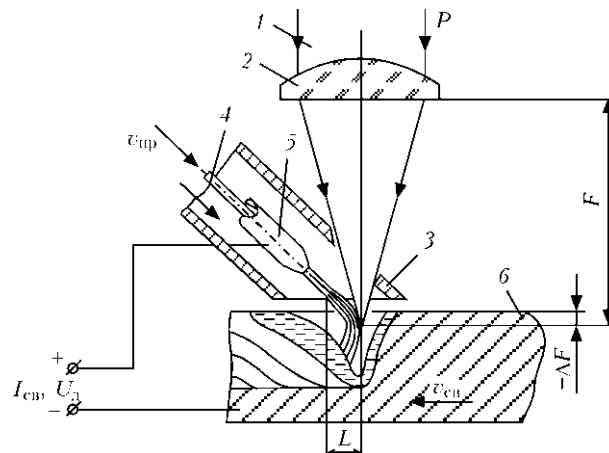


Рис. 1. Схема проведения экспериментов по гибридной лазерно-дуговой сварке алюминиевых сплавов: 1 — лазерное излучение мощностью P ; 2 — фокусирующий объектив с фокусным расстоянием F ; 3 — защитное сопло; 4 — присадочная проволока; 5 — медный токоподводящий мундштук; 6 — образец; ΔF — заглубление горловины каустики излучения относительно поверхности образца; L — расстояние между концом плавящегося электрода и осью лазерного излучения

лении. Образцы размером $300 \times 100 \times \delta$ мм сваривали встык. Использовали сплавы АМг6 ($\delta = 6$ мм), Д16 ($\delta = 5$ мм) и 1420 ($\delta = 4$ мм) (ГОСТ 4784–74), а также проволоки СВАМг6 и СВАК5 диаметром 1,2 мм (ГОСТ 7871–75). Перед проведением экспериментов были определены механические свойства свариваемых металлов (табл. 1). Испытания на растяжение образцов проводили на машине УМЭ-10ТМ. Сварку проводили на съемной подкладке из нержавеющей стали с канавкой глубиной 2 мм в аргоне (ГОСТ 10157–79) или гелии марки Б (ТУ 51-940–80), подаваемых соответственно с расходом 20 и 30 л/мин. Сварку вели «углом вперед». При этом угол наклона оси лазерного излучения относительно нормали к образцу составлял 9° , а угол наклона дуговой горелки — 55° . Скорость сварки изменяли в пределах $v_{\text{св}} = 30...60$ м/ч. В момент завершения каждого эксперимента по гибридной сварке при остановке сварочной головки сначала выключали ИДПЭ, а через 1...2 с лазерное излучение, что позволяло точно определить положение сфокусированного лазерного излучения относительно зоны действия ИДПЭ. Наибольшая глубина проплавления соответствовала расстоянию 2...4 мм. Кроме того, исследовали взаимное влияние мощ-

Т а б л и ц а 1. Механические свойства свариваемых алюминиевых сплавов

Сплав	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,01}$, МПа	δ_5 , %
Д16	$\frac{458...462}{460}$	$\frac{318...348}{330}$	$\frac{235...265}{257}$	$\frac{14,6...16,2}{15,4}$
1420	$\frac{465...477}{470}$	$\frac{236...252}{244}$	—	$\frac{9,1...10,1}{9,5}$



ности лазерного излучения и скорости подачи электродной проволоки (сварочного тока) на электрические параметры процесса ИДПЭ.

Для исследований по подбору режимов гибридной сварки сплавов АМгб, Д16 и 1420 приняли следующую методику. Критерием оптимизации режима служило стабильное формирование корня шва при минимальной мощности обоих источников нагрева и максимальной скорости сварки $v_{св}$. При этом сочетание мощностей лазерного и дугового источников выбирали близким к рекомендованному в литературе соотношению 1:1. Выбор режима проводили путем выполнения наплавов образцов и их сварки. Геометрические параметры швов определяли по поперечным макрошлифам с точностью $\pm 0,1$ мм. Измеряли ширину швов B , высоту их выпуклости H , ширину b и высоту h корня шва при полном проплавлении металла (табл. 2), глубину швов (в случае непол-

ного проплавления металла) и площадь сечения швов S в различных их зонах. Оценивали также количество и диаметр пор и пустот в швах. Макроструктуру швов выявляли путем химического травления шлифов в растворе, состоявшем из трех кислот — $72 \text{ см}^3 \text{ HCl} + 24 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 + 4 \text{ см}^3 \text{ HF}$. Для определения прочностных характеристик сварных соединений использовали образцы с выпуклостью швов и удаленным корнем.

В ходе проведения экспериментов установлено, что через 5...10 с после начала гибридной сварки начиналось интенсивное поглощение лазерного излучения образующимся над сварочной ванной плазменным факелом. Это приводило к падению глубины проплавления. По нашему мнению, это связано с интенсивным выделением сварочных аэрозолей, образующихся над ванной расплава под действием дуги плавящегося электрода [14]. Исследования, проведенные в ИЭС им.

Таблица 2. Влияние режимов сварки ИДПЭ и гибридной ИДПЭ+ЛС алюминиевого сплава АМгб в аргоне на геометрические параметры швов

№ образца	$v_{св}$, м/ч	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{пр}$, м/ч	P^* , кВт	B , мм	H , мм	b , мм	h , мм
1	30	126	20,0	8,3	—	9,0	3,0	—	—
2-1	30	113	21,9	8,3	2	9,5	2,7	—	—
2-2	30	119	20,6	8,3	2	10,0	3,0	—	—
3	30	121	20,1	8,3	3	—	—	—	—
4	30	120	20,0	8,3	4	9,0	2,5	5,0	2,0
15	30	119	19,0	7,5	—	8,0	2,8	—	—
14	30	111	20,5	7,5	4	14,0	2,5	2,5	1,0
16	30	130	20,5	8,3	—	8,8	2,7	—	—
18	30	122	21,0	8,3	4	14,2	1,5	5,5	1,4
17	30	145	21,5	9,3	—	9,0	3,3	—	—
19	30	138	21,5	9,3	4	16,0	2,0	4,0	1,3
20	45	131	19,6	8,3	—	6,2	2,7	—	—
12	45	123	21,1	8,3	4	11,0	2,3	—	—
22	45	150	21,3	9,3	—	8,5	2,2	—	—
11	45	142	21,1	9,3	4	12,0	2,0	3,0	1,2
23	45	164	21,9	10,1	—	9,0	2,3	—	—
21	45	156	22,6	10,1	4	13,0	2,0	—	—
25	60	150	21,0	9,3	—	7,0	2,2	—	—
6	60	140	21,7	9,3	4	10,0	2,2	—	—
27	60	177	22,0	10,9	—	8,0	2,5	—	—
9	60	162	22,4	10,9	4	11,0	1,5	—	—
26	60	198	22,3	12,2	—	8,5	2,2	—	—
24	60	194	23,0	12,2	4	12,0	2,0	—	—
7	60	126	20,5	8,3	4	9,0	2,0	—	—
8	60	157	22,0	10,1	4	10,0	2,0	—	—
10	60	182	23,7	11,6	4	12,0	1,7	—	—

* Непрерывное излучение с длиной волны 1,06 мкм.

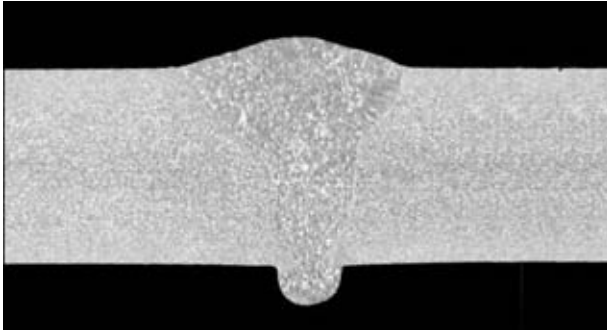


Рис. 2. Макрошлиф соединения сплава АМг6, полученного гибридным процессом сварки в среде гелия: $v_{св} = 60$ м/ч; $P = 3$ кВт; $I_{св} \approx 74$ А; $U_d = 17$ В

Е. О. Патона, показали [15], что с увеличением тока при сварке плавящимся электродом в инертных газах средняя температура капель электродного металла повышается, достигая температуры кипения алюминиевого сплава, из которого изготовлена электродная проволока. При неизменном сварочном токе повышение диаметра проволоки приводит к снижению средней температуры капель электродного металла. С повышением содержания гелия в гелий-аргоновых смесях температура капель также снижается, достигая наименьших значений при сварке в чистом гелии [15]. Это, в свою очередь, приводит к снижению испарения магния в каплях, повышению его содержания в шве и улучшению механических свойств соединений. При гибридной сварке ИД-ПЭ+ЛС наблюдалось свечение лазерного излучения над сварочной ванной около зоны действия ИДПЭ, свидетельствующее о возросшем поглощении излучения. С повышением скорости плавления проволоки (сварочного тока) увеличивается количество капель электродного металла и объем продуктов испарения из них и основного металла [14]. Это повышает плотность газовой среды, способствует поглощению лазерного излучения и соответственно снижению глубины проплавления.

Как показано в работе [16], при ЛС в гелии и в аргоне процесс испарения металла сварочной ванны различный. При испарении в гелии в результате более интенсивной боковой разгрузки парового факела плотность паров металла на пути лазерного излучения оказывается существенно меньше, чем при испарении в аргоне. Это позволяет объяснить наблюдаемый эффект достижения стабильного глубокого проплавления при использовании гелия или гелийсодержащих смесей.

В связи с предположением относительно изменения характера разлета паров металла, образующихся над сварочной ванной в том или ином защитном газе, было предложено использовать вместо непрерывного излучения импульсное. Ожидалось, что в случае защиты аргонном на протяжении паузы произойдет необходимый для устранения экранирования лазерного излучения раз-

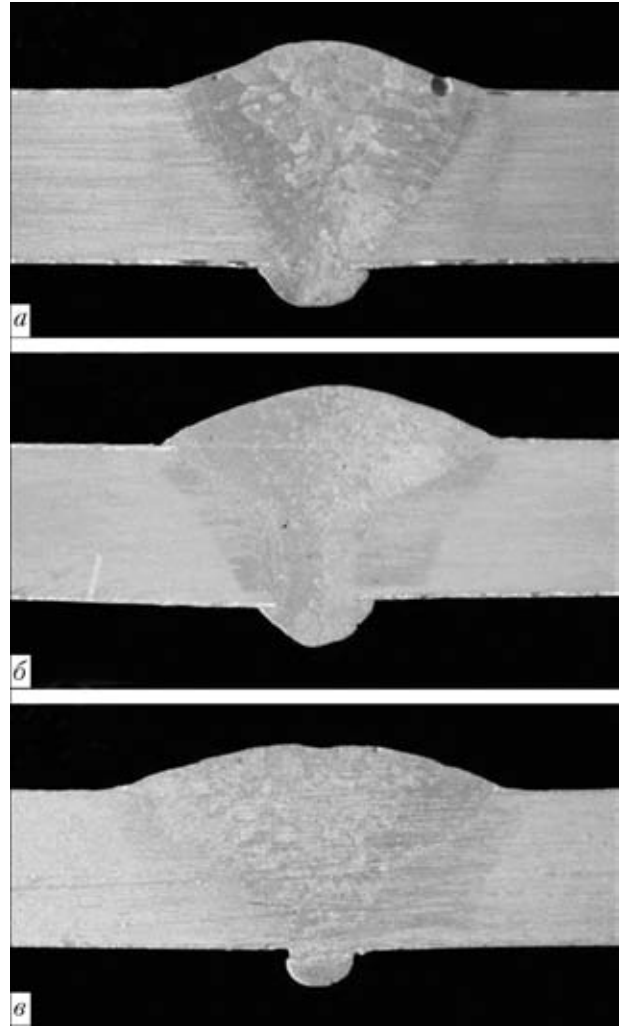


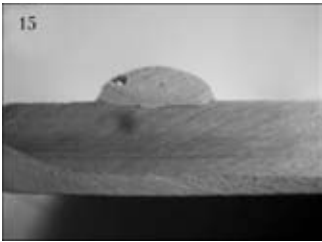
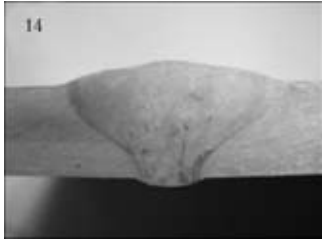
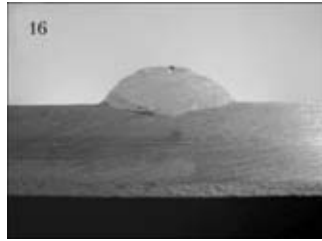
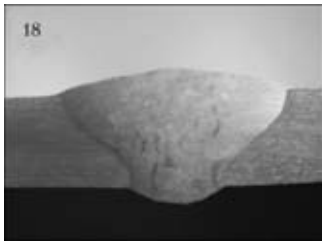
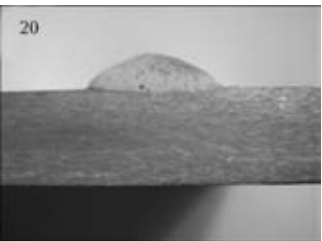
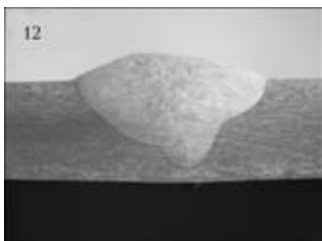
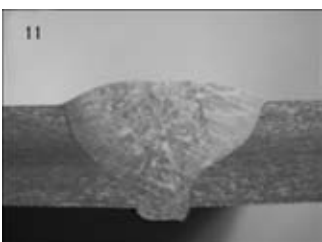
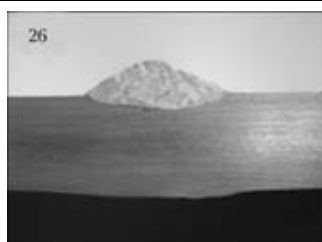
Рис. 3. Макрошлифы стыковых соединений сплава Д16, полученных гибридной сваркой с импульсным лазерным излучением в среде аргона проволокой СвАМг6 ($P_{ср} = 3$ кВт, $P_{пик} = 4$ кВт, $Q_{имп} = 3$, $f = 250$ Гц, $v_{св} = 60$ м/ч): а — $I_{св} \approx 185$ А, $U_d \approx 21,5$ В, $v_{пр} = 11,6$ м/мин; б — $I_{св} \approx 200$ А, $U_d \approx 21,5$ В, $v_{пр} = 12,4$ м/мин; в — $I_{св} \approx 210$ А, $U_d \approx 21,5$ В, $v_{пр} = 13,0$ м/мин

лет паров свариваемого металла. Соотношение длительности импульса и паузы излучения выбирали по критерию отсутствия характерного снижения глубины проплавления при гибридном процессе. Выбранное соотношение составило 3:1, т. е. скважность импульса $Q_{имп} = 3$ при частоте следования импульсов $f = 250$ Гц. Такой импульсный режим излучения позволил проводить гибридную сварку в защите аргона. Возможно, выбранное соотношение не является оптимальным, а частота следования импульсов лазерного излучения должна определенным образом соответствовать частоте импульсов дуги плавящегося электрода. Этот момент, очевидно, требует дальнейших исследований.

Пример влияния режимов сварки сплава АМг6 на форму швов приведен в табл. 3, из которой видно, что в диапазоне скоростей сварки $v_{св} = 30 \dots 45$ м/ч и подачи электродной проволоки



Таблица 3. Форма швов в зависимости от скорости сварки и скорости подачи электродной проволоки СвАМг6 при сварке ИДПЭ и гибридной ИДПЭ+ЛС сплава АМг6

Режим сварки		ИДПЭ*	ИДПЭ+ЛС* ($P = 4 \text{ кВт}$)
$v_{\text{св}}$, м/ч	$v_{\text{пр}}$, м/мин		
30	7,5		
	8,3		
45	8,3		
	9,3		
60	10,9		
	12,2		

* Номера шрифтов соответствуют номерам образцов из табл. 2.

$v_{\text{пр}} = 7,5 \dots 9,3$ м/мин ИДПЭ не удастся полностью от ИДПЭ+ЛС. Оптимальные режимы гибридного проплавить образец из сплава АМг6, в отличие процесса ИДПЭ+ЛС в защите аргона наблюда-

ются при $v_{св} = 30$ м/ч, $P = 4$ кВт, $I_{св} \approx 120$ А и при $v_{св} = 45$ м/ч, $P = 4$ кВт, $I_{св} \approx 140$ А. При использовании гелия появляется возможность повышения скорости сварки до 60 м/ч при одновременном снижении мощности излучения и тока ИДПЭ (рис. 2). Результаты гибридной сварки сплава Д16 в защите аргона с использованием импульсного лазерного излучения с пиковой мощностью $P_{пик} = 4$ кВт и средней мощностью $P_{ср} = 3$ кВт показаны на рис. 3. Наилучший режим такого вида сварки имеет место при $I_{св} = 200$ А, $U_d = 21,5$ В, $v_{пр} = 12,4$ м/мин. Использование импульсного излучения привело к необходимости повышения мощности ИДПЭ, однако при этом форма провара, размер ЗТВ и величина зерна остались на уровне, характерном для гибридной сварки непрерывным излучением (см. табл. 3). При одной и той же скорости подачи проволоки ($v_{св} = 30$ м/ч) гибридный процесс ИДПЭ+ЛС по сравнению с ИДПЭ позволяет повысить в 1,6...1,9 раза ширину швов и снизить в 1,1...1,6 раза высоту их выпуклости H . Такие зависимости наблюдаются и при больших скоростях сварки, но при меньших абсолютных значениях геометрических параметров швов. Характерным недостатком гибридной сварки является порообразование в швах. При сварке рассмотренных сплавов это явление наиболее четко проявляется на сплаве 1420 (рис. 4). По всей вероятности это связано с интенсивным испарением лития и магния из основного металла под действием лазерного излучения.

Установлено, что независимо от скорости подачи проволоки (от 7,5 до 13,2 м/мин) лазерное излучение мощностью 4 кВт повышает на 1...2 В напряжение на дуге (наблюдаемую длину дуги) и уменьшает на 10...15 А сварочный ток. С повышением мощности лазерного излучения от 1 до 4 кВт и неизменной подаче электродной проволоки наблюдается обратная зависимость — увеличивается сварочный ток и уменьшается напряжение на дуге (табл. 2, 4). Это связано, в первую очередь, с повышением ионизации дуговой области лазерным излучением и соответственно изменением вольт-амперных характеристик дуги.

Еще одним важным параметром, характеризующим сварочный процесс, является погонная энергия, которая была определена для дуговой и гибридной сварки сплава АМг6. При этом КПД дуговой сварки в аргоне приняли за 0,72, а в гелии — за 0,88 [17]. КПД лазерной составляющей гибридного процесса приняли за единицу, так как сварку вели с глубоким проплавлением. Проведенные расчеты позволили построить зависимости влияния погонной энергии на ширину швов, их общую высоту (глубину проплавления δ и высоту корня шва h), а также площадь сечения

Таблица 4. Режимы гибридной сварки стыковых соединений алюминиевых сплавов ($v_{св} = 60$ м/ч)

Сплав (проволока)	$I_{св}$, А	U_d , В	$v_{пр}$, м/мин	P , кВт
Д16 (СвАМг6)	185...190	21,5...21,6	11,6	4,0
Д16 (СвАК5)	190...200	22,5...23,0	10,3	4,0
1420 (СвАМг6)	48...50	13,8	3,1	2,0

переплавленного металла (рис. 5). Установлено, что при одинаковой погонной энергии гибридная сварка по сравнению с ИДПЭ позволяет повысить глубину проплавления металла, а также снизить ширину швов и площадь их сечения.

Анализ результатов механических испытаний высокопрочных алюминиевых сплавов показал (табл. 5), что соединения сплава Д16, полученные проволокой СвАК5, имеют более высокие прочностные характеристики, чем соединения, сваренные проволокой СвАМг6. Во всех случаях разрушения образцов сплава Д16 начинаются с зоны сплавления корня шва с основным металлом и переходят в шов. Соединения сплава 1420 как

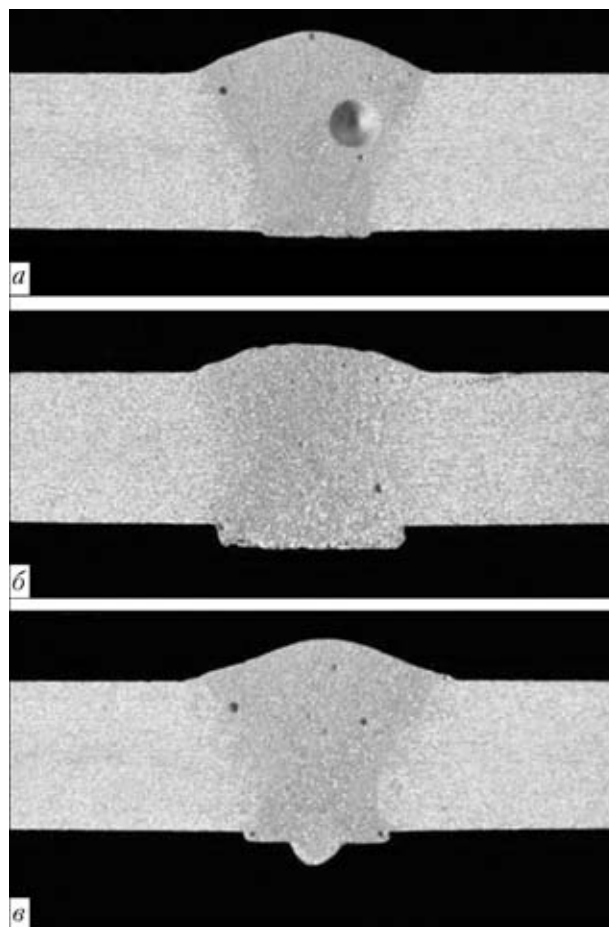


Рис. 4. Влияние параметров режима ИДПЭ ($v_{св} = 60$ м/ч) при гибридной сварке (непрерывное излучение, $P = 2$ кВт) в аргоне на геометрические параметры швов сплава 1420: а — $I_{св} = 40$ А, $U_d = 12,3$ В, $v_{пр} = 2,3$ м/мин; б — $I_{св} = 42$ А, $U_d = 12,5$ В, $v_{пр} = 2,7$ м/мин; в — $I_{св} = 51$ А, $U_d = 14,3$ В, $v_{пр} = 3,1$ м/мин



Таблица 5. Механические свойства соединений алюминиевых сплавов, полученных гибридной сваркой

Сплав (проволока)	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,01}$, МПа	$\sigma_B^{c.c.}/\sigma_B^{o.m.}$	$\sigma_{0,2}^{c.c.}/\sigma_{0,2}^{o.m.}$
Д16* (СвАМг6)	$\frac{290...324}{304}$	$\frac{229...238}{234}$	$\frac{101...161}{139}$	0,66	0,71
Д16** (СвАМг6)	$\frac{291...300}{294}$	$\frac{211...218}{216}$	$\frac{96...122}{111}$	0,64	0,65
Д16* (СвАК5)	$\frac{311...326}{319}$	$\frac{236...245}{240}$	$\frac{126...155}{139}$	0,69	0,77
Д16** (СвАК5)	$\frac{286...306}{293}$	$\frac{200...228}{217}$	$\frac{93...134}{117}$	0,64	0,66
1420* (СвАМг6)	$\frac{293...318}{302}$	$\frac{179...184}{181}$	$\frac{86...96}{92}$	0,64	0,74
1420** (СвАМг6)	$\frac{275...308}{294}$	$\frac{167...180}{173}$	$\frac{91...120}{106}$	0,63	0,71

* В образцах удалено усиление корня шва. ** В образцах удалены верхнее усиление и усиление корня шва.

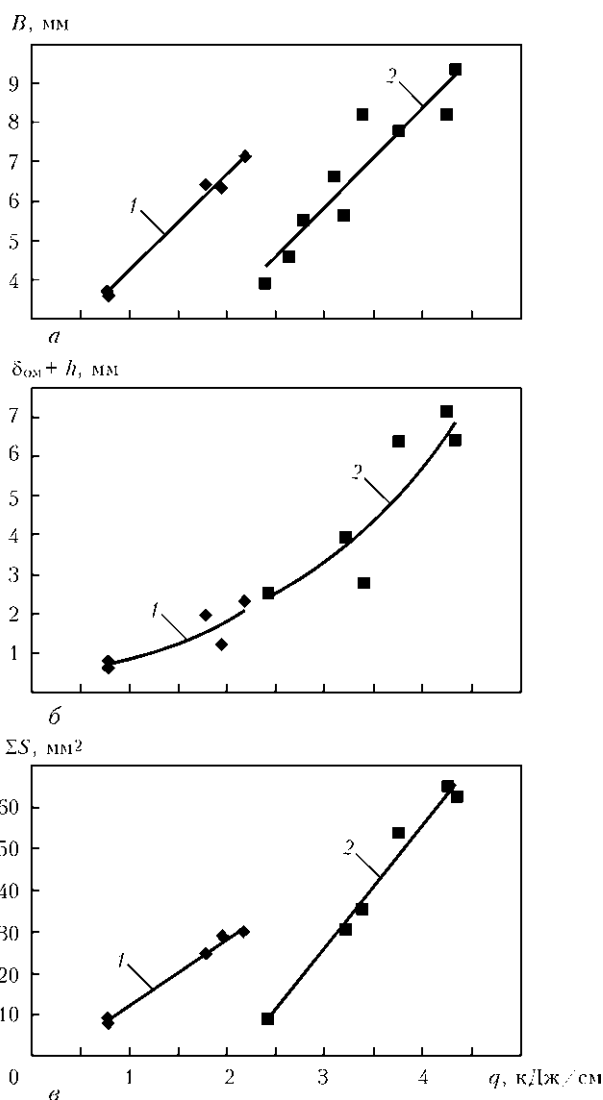


Рис. 5. Влияние погонной энергии q процессов ИДПЭ (1) и ИДПЭ+ЛС (2) сплава АМг6 при использовании непрерывного излучения мощностью $P = 4$ кВт на ширину швов B (а), глубину проплавления $\delta_{o.m.} + h$ (б), площадь сечения швов ΣS (в)

с верхним усилением, так и без него разрушаются по центру шва. Коэффициенты прочности соединений сплавов Д16 и 1420, полученные гибридной лазерно-дуговой сваркой плавящимся электродом, составляют $\sigma_B^{c.c.}/\sigma_B^{o.m.} = 0,63...0,69$, а коэффициенты текучести соединений — $\sigma_{0,2}^{c.c.}/\sigma_{0,2}^{o.m.} = 0,65...0,77$. Удаление усилений верхней части и корня шва приводит к некоторому снижению прочностных характеристик соединений.

Выводы

1. При гибридной лазерно-дуговой сварке плавящимся электродом (ИДПЭ+ЛС) алюминиевых сплавов интенсивность испарения отдельных элементов из основного металла и электродной проволоки, а также состав защитной газовой среды существенно влияют на прохождение лазерного излучения к свариваемому металлу. Использование аргона и высоких сварочных токов приводит к экранированию излучения и, как следствие, к значительному уменьшению глубины проплавления. Для устранения этого эффекта целесообразно применять для защиты сварочной ванны смеси аргона с гелием или чистый гелий, а также использовать импульсную модуляцию лазерного излучения.

2. В диапазоне скоростей 30...60 м/ч гибридная сварка по сравнению с ИДПЭ позволяет повысить в 1,8...2,6 раза скорость сварки металла толщиной 6 мм, снизить в 1,3...1,6 раза тепловложение в свариваемый металл и значительно уменьшить деформации соединений толщиной 4 мм. Исследование характера формирования сварных швов позволяет заключить, что при гибридной сварке металла толщиной 6 мм и более с использованием лазерного излучения мощностью 1...4 кВт ведущую роль играет способ ИДПЭ.

3. Устранить такие характерные дефекты при гибридной сварке алюминиевых сплавов систем легирования Al-Mg-Mn, Al-Cu-Mg и Al-Mg-Li, как пористость и свищи, можно путем улучшения защиты сварочной ванны, а также тщательного подбора и оптимизации режимов сварки.

4. Такие механические характеристики сварных соединений, как прочность и текучесть, для гибридного лазерно-дугового процесса несколько превышают уровень аналогичных значений, получаемых при использовании ИДПЭ. С учетом повышения производительности это свидетельствует о целесообразности замены процесса ИДПЭ процессом ИДПЭ+ЛС.

1. Рабкин Д. М. Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов. — Киев: Наук. думка, 1986. — 256 с.
2. Шахов С. В. Технологические и металлургические особенности лазерной сварки современных авиационных алюминиевых сплавов: Дис. ... канд. техн. наук. — М., 2007. — 223 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
4. Irving B. Automotive engineers plunge into tomorrow's joining problems // Welding J. — 1994. — 73, № 11. — P. 47–50.
5. Diebold T. P., Albright C. E. «Laser-GTA» welding of aluminum alloy 5052 // Ibid. — 1984. — 63, № 6. — P. 18–24.
6. Wendelstorf J., Decker I., Wohlfahrt H. Laser-enhanced gas tungsten arc welding (laser-TIG) // Welding in the World. — 1994. — 34. — P. 395–396.
7. Moeniralam Z., Luijendijk T. Wisselwerking tussen laserlasen en booglassen // Lastechniek. — 1996. — 62, № 7–8. — P. 3–6.

The paper deals with the influence of the intensity of evaporation of base metal and electrode wire elements, as well as shielding gas atmosphere composition on laser radiation propagation to the metal being welded in hybrid welding of aluminium alloys. Technological features of hybrid consumable electrode laser-arc welding were studied, modes were selected and the obtained results were compared with consumable electrode pulsed arc welding.

8. Walduck R. P., Biffin J. Plasma arc augmented laser welding // Welding and Metal Fabric. — 1994. — 62, № 4. — P. 172–176.
9. Blundell N. J. Arc takes laser welding into new territory // Materials World. — 1998. — № 9. — P. 537–538.
10. Diltthey U., Wieschemann A. Prospects by combining and coupling laser beam and arc welding processes // Rivista Italiana della Saldatura. — 2000. — 52, № 6. — P. 749–759.
11. Катаяма С. Развитие гибридной лазерно-дуговой сварки // Welding Technology (яп.). — 2008. — 56, № 2. — P. 51–58.
12. Гибридная сварка излучением CO₂-лазера и дугой плавящегося электрода в углекислом газе / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, В. П. Гарашук и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 10. — С. 38–41.
13. Гибридная лазерно-дуговая сварка углеродистых сталей и алюминиевых сплавов / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, Т. Н. Набока и др. // Доп. НАН України. — 2005. — № 7. — С. 97–102.
14. Левченко О. Г., Машин В. С. Санитарно-гигиенические характеристики процесса сварки плавящимся электродом в инертных газах алюминиевого сплава АМг6 // Автомат. сварка. — 2003. — № 1. — С. 48–50.
15. Средняя температура металла электродных капель при сварке алюминиевых сплавов в инертных газах / А. Я. Ищенко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко и др. // Там же. — 1994. — № 1. — С. 48–49.
16. Сухоруков С. Б., Кривцун И. В., Сидорец В. Н. Математическое моделирование газодинамики, тепло- и массообмена в потоке металлического пара при лазерной сварке с глубоким проплавлением // Четвертая международ. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах», 27–30 мая 2008 г. — Кацивели, Крым. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2009. — С. 155–164.
17. Ищенко А. Я., Машин В. С., Будник В. П. О пористости швов при сварке алюминиевых сплавов плавящимся электродом в инертных газах // Автомат. сварка. — 1995. — № 1. — С. 16–18, 22.

Поступила в редакцию 07.04.2009

ВЫШЕЛ ИЗ ПЕЧАТИ И РАССЫЛАЕТСЯ СПЕЦИАЛИСТАМ

Українсько-російський, російсько-український словник із зварювання (CD-ROM). — К.: Довіра, 2008.

В рамках проекта «Словники України» Інститутом електросварки ім. Е. О. Патона совместно с Украинским языково-информационным фондом НАН Украины к 90-летию Национальной академии наук Украины издан «Українсько-російський, російсько-український словник із зварювання» в электронном формате (CD-ROM).

Словарь, имея нормативный характер, содержит более 6,5 тыс. терминов и терминосочетаний, которые отражают основную терминологию по сварочным и родственным технологиям, актуализированную с действующими международными и национальными стандартами по сварке.

Словарь предназначен для инженерно-технических работников, студентов и переводчиков технической литературы.

Институт електросварки ім. Е. О. Патона НАН України вишлет **БЕСПЛАТНО** «Словарь...» при условии направления заявки с точным указанием Ваших почтовых реквизитов на адрес:

Киев-150, ул. Боженко, 1, ИЭС им. Е. О. Патона, отдел № 41
тел.: 287-62-68, факс: 287-74-57
E-mail: bernadsky@paton.kiev.ua



ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В. И. ЗЕЛЕНИН, канд. техн. наук,

П. М. КАВУНЕНКО, В. В. ТИСЕНКОВ, В. М. ТЕПЛОК, М. А. ПОЛЕЩУК, инженеры

(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

В. Д. ЛЕБЕДЬ, В. И. ЛИПСИЙ, инженеры (ГП ПКБ ЦВ УЗ, г. Киев),

С. В. БОНДАРЕВ, С. А. ГАВРИЛОВ, Н. Т. ОЛЬГАРД, С. А. ЧЕБУРОВ, инженеры (ГП «УкрНИИВ», г. Кременчуг)

Рассмотрен метод восстановления шеек и подступичных частей осей колесных пар грузовых вагонов с помощью плазменно-дуговой металлизации, изложены результаты стендовых испытаний на усталость с рекомендуемым сроком эксплуатации восстановленных осей.

Ключевые слова: плазменно-дуговая металлизация, аксиальный поток, промежуточный анод, колесные пары, шейки, подступичные части, структура покрытий, тензорезистор

На железнодорожном транспорте имеется несколько десятков тысяч колесных пар, оси которых отбракованы по причине наличия дефектов шеек и подступичных частей осей — износ, задиры, риски, наклеп на шейке. Восстановление этих деталей позволяет использовать их повторно, что приносит значительный экономический эффект.

Материалом для вагонных осей служит углеродистая сталь марки ОСВ (ГОСТ 4728–96) с содержанием углерода 0,38...0,47 %, которая отличается высокой износостойкостью и контактно-усталостной прочностью.

Успешное восстановление осей колесных пар выполняют в Германии, Швеции, Румынии, России, а также в других странах [1–3].

В ИЭС им. Е. О. Патона и ПКБ ЦВ УЗ разработана новая технология плазменно-дуговой металлизации в инертной среде.

Техника напыления таких покрытий отличается тем, что распыление производится плазменной дугой в аргоне токоведущей проволокой-анодом, служащей исходным материалом для образования покрытия, с одновременной механической обработкой последнего специальным щеточным устройством, очищающим покрытие от оксидов и частиц, попадающих на него под большим углом.

В настоящей работе для напыления покрытий применяли аргонодуговой плазматрон с вольфрамовым катодом и воздушным охлаждением. Поджиг осуществляли на промежуточный анод охлаждаемым воздухом, формирующим струю плаз-

мы. После поджига электрический потенциал смещается на распыляемую проволоку. Использование проволоки в качестве распыляемого анода повышает КПД процесса, поскольку энергия плазмы расходуется на распыление проволоки и создание покрытий, а не на нагрев плазматрона. Катод находится в аргоне, что увеличивает его стойкость.

Поток аргоновой плазмы аксиально обдувается по окружности потоком воздуха, одновременно охлаждающим плазматрон, что качественно влияет на форму и состав плазмы.

Режим обдуваемого потока подбирали таким образом, чтобы давление в нем было равным давлению плазменной струи. Создавались условия, когда контуры видимого конуса исходящей плазмы становились почти параллельными, что свидетельствовало о незначительном смещении плазмы с охлаждающим воздухом.

В связи со значительной разницей температур потока плазмы и аксиально-исходящего воздушного потока смешивания потоков не наблюдается. Предположительно, из-за высокой скорости истекаемого потока зона с максимальным содержанием аргона имеет значительную (до 150...200 мм) длину, что позволяет осуществлять в ней напыление без существенного окисления.

Отмеченное хорошо коррелирует с данными, полученными с помощью расчетных моделей (рис. 1, а, б) [4].

В качестве материала для покрытий использовали проволоку из сталей 65Г, 70, 20Х, 30 ХДС, а также порошковые проволоки [5].

Предложенная технология позволяет снизить пористость в покрытиях до 2...5 %, исключить образование оксидов и увеличить сцепление получаемого покрытия с подложкой до 40...60 МПа. На

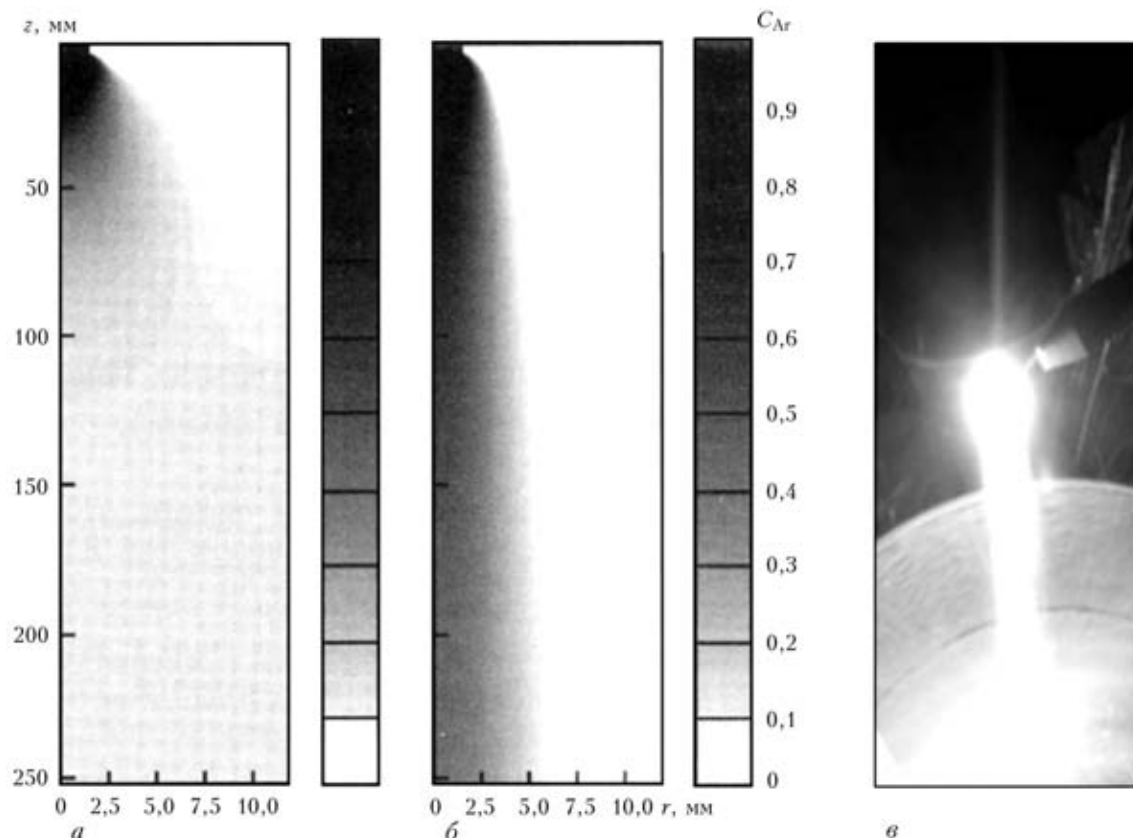


Рис. 1. Расчетное распределение относительной концентрации аргона C_{Ar} в плазменной струе, истекающей в воздушное пространство без обдува (а), с обдувом воздухом (б) и внешний вид потока плазмы (в)

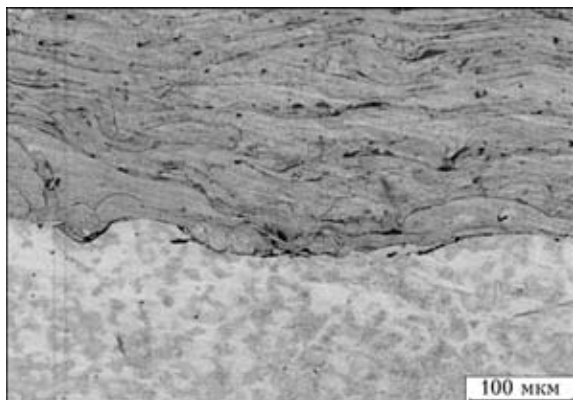


Рис. 2. Микроструктура покрытия из стали 65Г, полученного способом плазменно-дуговой металлизации

рис. 2 приведена микроструктура покрытия из стали 65Г, полученного плазменно-дуговой металлизацией проволокой. Наличие в нем пористости, оксидов и других дефектов не наблюдается. Твердость покрытия составляла $HRC\ 30...35$, что соответствует нормативной документации. Показатели механических свойств и химического состава покрытия приближаются к стали марки ОСВ.

На рис. 3 представлен общий вид установки КТ-088 для восстановления шеек и подступичной части осей колесных пар, разработанной и изготовленной ИЭС им. Е. О. Патона и ПКТЬ ЦВ УЗ. Установка представляет собой плазматрон с источ-



Рис. 3. Общий вид установки КТ-088 для восстановления шейки и подступичной части оси колесной пары способом плазменно-дуговой металлизации

ником тока и шумопоглощающей камерой с закрепленной в ней осью.

Напыление выполняется плазматроном с воздушным охлаждением (мощностью 14...16 кВт) в аргоне, что значительно увеличивает срок службы сопла плазматрона (более 100 ч) (рис. 4). Перед металлизацией восстанавливаемые поверхности оси протачиваются до необходимого размера, упрочняются накатыванием, обезжириваются и активируются металлической дробью ДЧК-1-3. После нанесения покрытий толщиной не более



Рис. 4. Процесс плазменно-дуговой металлизации шейки оси

2 мм на ось колесных пар ее подвергают механической обработке.

В табл. 1 приведены данные замеров твердости после напыления партии осей типа РУ1 и РУ1Ш шеек проволокой из стали марки 65Г.

Внешний осмотр и металлографические исследования контрольных образцов подтвердили удовлетворительное состояние покрытий, выполненных на шейках осей.

Напрессовку и распрессовку колес на подступичную часть осей выполняли на Дарницком ВРЗ по стандартной технологии. Усилие запрессовки составляло от 630 до 800 кН в зависимости от натяга. Распрессовку проводили через неделю после запрессовки. Внешний осмотр подступичной части осей показал удовлетворительное состояние их поверхности — без рисок, сколов и трещин.

Преимущества разработанной технологии восстановления шеек и подступичной части осей состоят в следующем:

процесс плазменно-дуговой металлизации не снижает прочностных свойств восстанавливаемой детали (нагрев изделия не более 200 °С) и не влияет на ее механические свойства;

не вызывает деформации восстановленной детали;

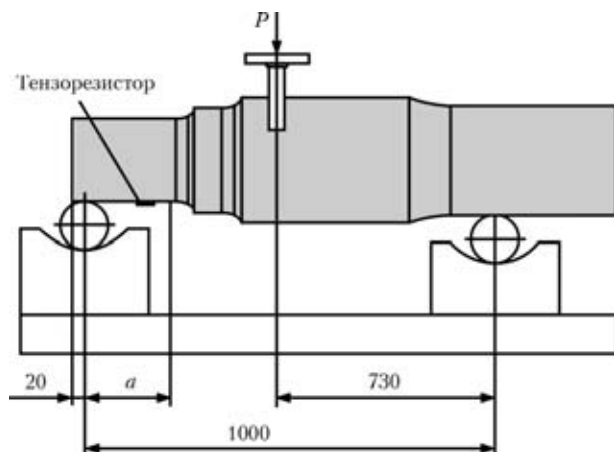
Рис. 5. Схема нагружения образца оси (a — расстояние опоры до места излома)

Таблица 1. Показатели твердости шейки осей после напыления

Тип оси	Номер оси	Среднее значение твердости поверхности шейки HB	
		правой	левой
РУ1Ш	42097	343	358
	52073	319	305
	42827	312	344
РУ1	49764	387	376

Примечания. 1. Шейку осей после напыления шлифуют до альбомных размеров. 2. Замеры твердости поверхности каждой шейки проводили в пяти точках твердомером ТДМ-1.

позволяет наносить покрытие толщиной от 0,1 до 20 мм;

пористость составляет не более 2...4 %;

имеет место высокая стабильность процесса напыления (ресурс формирующего плазменную дугу сопла и катода плазмотрона составляет не менее 100 ч машинного времени).

Проведенные научно-исследовательские работы показали целесообразность применения плазменно-дуговой металлизации на предприятиях вагонного хозяйства Укрзализниці. Дальнейшее испытание осей на предприятии ГП «УкрНИИВ» подтвердили полученные результаты.

Испытания на усталость осей проводили по согласованной и утвержденной ПМ 07.00307–2007 «Оси с восстановленными шейками и подступичными частями (типы РУ1 и РУ1Ш) по программе и методике испытаний на усталость» на гидropульсаторном стенде ЦДМ-200Пу. Перед проведением испытаний разрезанные образцы осей оснастили тензорезисторами для настройки и контроля режима испытаний. Схема нагружения образца оси с указанным местом расположения тензорезисторов представлена на рис. 5. Образец устанавливали на стенде на двух опорах. Нагрузке через специальный давяльник прикладывали к подступичной части образца оси. Расстояние между опорами и место приложения нагрузки P выбирали руководствуясь возможностями испытательного оборудования и необходимостью гарантированного усталостного разрушения шейки оси в зоне галтели.

По результатам расчетов расстояние между опорами принято 1000 мм, плечо приложения вертикальной нагрузки составляло 730 мм (рис. 5) от правой опоры, при этом вертикальная нагрузка не превышала $P = 883$ кН.

Испытания образцов на усталость проводили методом многократного циклического нагружения при асимметричном цикле с асимметрией 0,1 при разных уровнях нагрузки.

Определение усталостных трещин производили органолептическим методом (визуально) с помощью керосиновой пробы.

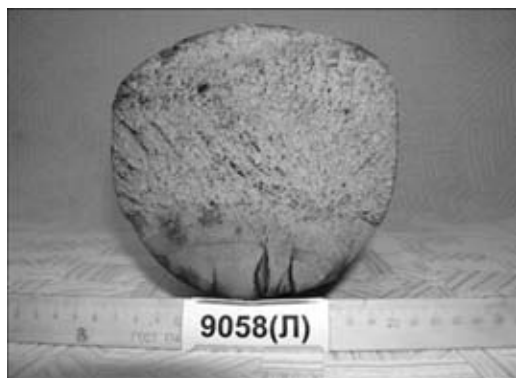


Рис. 6. Вид излома разрушенного образца шейки оси

Все образцы были испытаны на пяти уровнях нагружения: пять образцов осей типа РУ1 — на четырех уровнях, а четыре образца осей типа РУ1Ш — на трех уровнях.

Восемь образцов разрушились на галтельном переходе от шейки оси до ее предступичной части. Один образец выдержал базовое количество $5 \cdot 10^6$ циклов нагружений без усталостных повреждений и разрушений. Вид излома разрушенного образца шейки оси представлен на рис. 6.

После испытаний определяли максимальные напряжения $\sigma_{\max}$ в зоне разрушения по формуле

$$\sigma_{\max} = 0,73 \frac{aP}{W} [\text{МПа}],$$

где W — момент сопротивления шейки оси в месте излома, мм^3 .

Момент сопротивления шейки оси W определяли по формуле

$$W = \frac{\pi D^3}{32},$$

где D — диаметр шейки оси в месте излома, мм.

Предел выносливости в зоне галтели шейки при симметричном цикле нагружения составил для осей типа РУ1 167 МПа, а для типа РУ1Ш — 189,5 МПа.

Поскольку при испытаниях количество образцов осей каждого типа было небольшим, а годы их изготовления разные, то вероятностно-статистическую обработку проводили по результатам испытаний всех образцов. Предел выносливости при этом составил 149,5 МПа.

Для новых деталей предел выносливости в зоне галтели шейки при симметричном цикле нагружения на базе $5 \cdot 10^6$ цикл должен быть не ниже 195 МПа, что обеспечивает средний срок эксплуатации вагонных осей 15 лет в соответствии с требованиями ГОСТ 30237–96 [6].

Все оси, которые подлежат восстановлению, должны проходить ультразвуковой контроль.

Определение увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после на-

Т а б л и ц а 2. Результаты расчета увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после накатки по [6, 7]

Контролируемая характеристика	Значение параметра	
	по документации	фактическое
Увеличение твердости после накатки в сравнении с исходной, не менее, %:		
шейки	22	24,9
подступичной части	22	29,6
Глубина упрочненного слоя, мм:		
шейки	2,6...5,2	3,2
подступичной части	3,9...7,8	4,0

катки проводили на образцах, изготовленных из шейки и подступичной части оси, которая не испытывалась на усталость, в соответствии с требованиями нормативных документов [7, 8].

Увеличение поверхностной твердости Δ после накатки осей определяли по формуле

$$\Delta = \frac{H_{\text{пов}} - H_{\text{осн}}}{H_{\text{осн}}} \cdot 100 [\%],$$

где $H_{\text{пов}}$ — наибольшее значение поверхностной твердости; $H_{\text{осн}}$ — исходная твердость неупрочненного металла, которая определялась на одной из перпендикулярных к поверхности оси сторон на глубине 15...20 мм.

Результаты расчета увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после накатки приведены в табл. 2.

В настоящий момент согласно программе испытаний партия восстановленных осей проходит эксплуатационные испытания на замкнутом испытательном маршруте Роковатая–Ужгород–Кошице.

Таким образом, по результатам испытаний на усталость осей типа РУ1 и РУ1Ш колесных пар грузовых вагонов с восстановленными шейками и подступичными частями по технологии плазменно-дуговой металлизации на базе $5 \cdot 10^6$ цикл нагружения предел выносливости в зоне галтели шейки равен 149,5 МПа, что составляет 0,76 нормативного значения (195,0 МПа) и соответствует среднему сроку эксплуатации 11,4 года. Учитывая то, что восстанавливаться будут оси разных сроков эксплуатации и типов, а также различных годов изготовления, рекомендуется срок эксплуатации восстановленных осей установить в пределах десяти лет.

Технология плазменно-дуговой металлизации шеек и подступичных частей осей колесных пар позволяет увеличить поверхностную твердость и глубину упрочненного слоя после накатки до требований нормативной документации.



1. *Восстановление шеек осей колесных пар напылением* / В. П. Кузьмин, М. М. Бердин, Е. С. Кулешов и др. // Железнодорож. трансп. — 2002. — № 1. — С. 46–49.
2. *ИЗ32-ВНИИЖТ0501/6–95*. Технологическая инструкция. — Введ. 05.06.95.
3. *Кузьмин В. П., Пурехов А. Н.* Восстановление шеек осей вагонных колесных пар электродуговой металлизацией напылением // Железнодорож. вест. ВНИИЖТ. — 2002. — № 1. — С. 46.
4. *Влияние* рода газа спутного потока на характеристики дуговой плазмы, создаваемой плазмотроном с проволокой-анодом / М. Ю. Харламов, И. В. Кривцун, В. Н. Коржик, А. И. Демьянов // Автомат. сварка. — 2008. — № 6. — С. 19–24.
5. *Восстановление осей колесных пар железнодорожного транспорта плазменно-дуговой металлизацией* / М. Л. Жадкевич, В. И. Зеленин, В. М. Теплюк и др. // Эффективность реализации научного ресурса и промышленного потенциала в современных условиях: Материалы Седьмой ежегод. междунар. промыш. конф., г. Славск, 9–13 февр. 2007 г. — Киев, 2007. — С. 417–418.
6. *ГОСТ 30237–96*. Оси чистовые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. — Введ. 01.01.96.
7. *ТИ 32 ЦВ ВНИИЖТ-86*. Технологическая инструкция по упрочнению накатыванием роликами осей колесных пар вагонов. — Введ. 01.07.87.
8. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)*. — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 212 с.

Method for repair of journals and under-hub parts of axles of freight car wheelsets by plasma-arc metallisation is considered, results of fatigue rig tests are presented, and recommendations on service life of the repaired axles are given.

Поступила в редакцию 15.06.2009

НОВАЯ КНИГА

Лазерные технологии в сварке и обработке материалов: Сб. тр. Четвертой междунар. конф., 26–29 мая 2009 г., пос. Кацивели, Крым, Украина. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2009 (англ. яз).

В сборнике представлены доклады ученых и специалистов из восьми стран в области лазерных технологий, отражающие тенденции развития лазерной сварки, наплавки, нанесения покрытий, лазерной правки и «штамповки», 3-D прототипирования.

Для ученых и специалистов в области лазерных и сварочных технологий.

Настоящий сборник, а также сборники трудов предыдущих конференций (2003, 2005 и 2007 гг.) можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка» по тел./факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.





УДК 621.791:62-135

РЕМОНТНАЯ СВАРКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТУРБИН ИЗ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ БЕЗ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМООБРАБОТКИ*

А. К. ЦАРЮК, канд. техн. наук, **В. Д. ИВАНЕНКО**, инж., **В. В. ВОЛКОВ**, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины),

С. И. МАЗУР, **А. А. ТРОЙНЯК**, инженеры (Трипольская ТЭС, г. Украинка),

А. В. ВАВИЛОВ, **А. Г. КАНТОР**, **Н. П. ВОЛИЧЕНКО**, инженеры (ОАО «Турбоатом», г. Харьков)

Рассмотрены вопросы ремонтной сварки поврежденных корпусных деталей турбин после длительной эксплуатации при рабочих параметрах пара. Предложена технология сварки с использованием перлитных электродов без последующей термообработки (высокого отпуска). Для ремонта поврежденных компонентов корпусного оборудования турбоагрегатов из литых теплоустойчивых сталей рекомендуется технология ручной дуговой сварки перлитными электродами типа Э-06Х1М, предусматривающая применение предварительного и сопутствующего подогрева с последующим термическим отпуском. Сварные соединения, выполненные по разработанной технологии, имеют высокую трещиностойкость и требуемые механические свойства. Предложенная технология прошла успешное испытание при ремонтной сварке цилиндров высокого давления турбины К-300-240.

Ключевые слова: ремонтная сварка, повреждения, теплоустойчивые литые стали, корпусные детали турбин, электроды, предварительный подогрев, термический отпуск, ресурс

Продление ресурса работы энергетического оборудования тепловых электростанций (ТЭС) возможно после исследования состояния его отдельных узлов и технической диагностики с целью выявления повреждений, при обнаружении которых необходимо провести ремонтные работы для обеспечения дальнейшей работы агрегатов. Повреждения элементов оборудования, длительно эксплуатируемого на ТЭС, обусловлены технологическими, конструкционными и эксплуатационными факторами. Одними из наиболее повреждаемых элементов турбоагрегатов являются корпусные детали турбин — цилиндры высокого (ЦВД) и среднего давления, корпуса регулирующих клапанов парораспределения, пароводяная арматура высокого давления и др. [1]. Ряд таких деталей имеют сложную конфигурацию и изготавливаются из литых теплоустойчивых сложнотемпированных сталей (15Х1М1ФЛ, 20ХМФЛ и 20ХМЛ). В корпусных деталях турбин, работающих в условиях высокого давления и температуры, имеют место повреждения в виде трещин, вызванных ползучестью металла, термической усталостью и хрупким разрушением. Эти повреждения в большинстве случаев находятся на участках деталей с резким переходом толщин или в

зонах дефектов литья. Повышенная повреждаемость возникает также в местах сварки, которые выполнены с нарушениями технологии [2]. Ремонт поврежденных деталей составляет определенные трудности, связанные с обеспечением проведения работ в производственных условиях. Поэтому разработка прогрессивных технологий сварки как основного способа ремонта энергетического оборудования является важной и актуальной задачей для продления ресурса и надежной работы энергоагрегатов ТЭС [3].

Сварка литых хромомолибденовых сталей представляет определенные трудности и выполняется, как правило, с применением предварительного и сопутствующего подогрева мест сварки, а также их последующей термической обработки. Учитывая, что в условиях действующих ТЭС проведение термообработки отремонтированных сварных соединений проблематично, весьма перспективно применение методов сварки без послесварочной термообработки. Работы в этом направлении выполняются в специализированных организациях РФ (ОАО «ВТИ», НПО «ЦКТИ», НПО «ЦНИИТМаш» и др.), что нашло свое отражение в нормативном документе РД 108.021.112–88 [4] и других источниках [1–3, 5]. Ремонтную сварку без термообработки рекомендовано выполнять аустенитными электродами без подогрева или перлитными электродами с предварительным и сопутствующим подогревом и фальшподогревом определенных зон отремонтированного участка [1, 4].

Опыт использования электродов аустенитного класса свидетельствует о значительной неоднородности химического состава наплавленного ме-

* Статья подготовлена по результатам выполнения комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» (2006–2009 гг.).



Химический состав стали 15X1M1ФЛ, мас. %

Сталь 15X1M1ФЛ	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P
							не более	
По ТУ 108.671–77	0,14...0,20	0,2...0,4	0,6...0,9	1,2...1,7	0,9...1,2	0,25...0,40	0,025	0,025
Исследуемая плавка	0,16	0,28	0,55	1,3	1,0	0,30	0,003	0,003

талла и механических свойств соединения, что способствует преждевременному разрушению в зоне перемешивания основного и электродного материала и по линии сплавления. Повторные ремонты этих мест в корпусных деталях аустенитными электродами сопровождаются новыми разрушениями и увеличивают объемы ремонтных работ.

Применение перлитных электродов по рекомендованным технологиям [1, 4, 5] в сочетании с предварительным и послесварочным подогревом мест ремонтной сварки обеспечивает требуемый химический состав и необходимый уровень механических свойств наплавленного металла, близкий к свойствам основного металла, что способствует получению более высокого качества ремонта и увеличению ресурса отремонтированных деталей турбин.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона проведен комплекс работ по изучению возможности применения ремонтной сварки корпусных деталей турбин из литых хромомолибденованадиевых сталей без последующей термической обработки. В качестве базового принят вариант ремонтной сварки широко применяемой литой теплоустойчивой стали 15X1M1ФЛ перлитными электродами. Химический состав этой стали приведен в таблице.

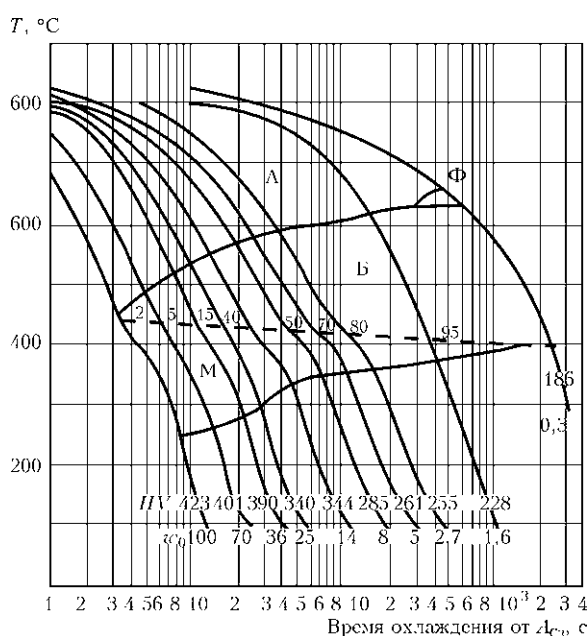


Рис. 1. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита в теплоустойчивой стали 15X1M1ФЛ

Требования к механическим свойствам отливок из стали 15X1M1ФЛ (по ТУ 108.671–77) следующие: $\sigma_m = 350$ МПа; $\sigma_B = 550...600$ МПа; $\delta = 22$ %; $\psi = 69$ %; $KCU = 40$ Дж/см².

Технология ремонтной сварки должна предусматривать меры, предупреждающие образование холодных трещин в сварных соединениях. Трещиностойкость сварных соединений можно обеспечить выбором тепловых режимов и условий сварки, при которых скорость охлаждения будет способствовать формированию структуры металла ЗТВ, не склонной к образованию трещин. Поэтому в первую очередь было исследовано влияние термического цикла сварки на структуру и свойства литой корпусной стали 15X1M1ФЛ. В соответствии с построенной термокинетической диаграммой превращения аустенита в этой стали (рис. 1) при различных условиях нагрева и охлаждения, характерных для различных условий сварки, в интервале скоростей охлаждения 0,33...25 °C/с при 500 °C температура окончания мартенситного превращения находится выше 290 °C, а твердость структурных составляющих находится на уровне HV 180...340. При увеличении скорости охлаждения выше 25 °C/с структура стали мартенситная (рис. 2). При этом твердость возрастает и при 100 °C/с достигает HV 390–420. Известно [6–8], что после окончания мартенситного превращения ниже 290 °C и содержании мартенсита более 50 % возникает опасность образования холодных трещин. Поэтому при сварке такой стали возникает необходимость применения дополнительных мер по регулированию процесса охлаждения зоны сварки в виде предварительного и сопутствующего подогрева или применения способов сварки, обеспечивающих автоподогрев соединения.

В соответствии с работами [1, 3, 4] для ремонтной сварки без последующей термообработки сталей типа 15X1M1ФЛ, 20XMФЛ и 20XМЛ рекомендованы электроды типа Э-06X1М (ГОСТ 9467–75).

Химический состав металла, наплавленного электродами марки ТМЛ-5 (тип Э-06X1М) в исходном после сварки состоянии следующий: мас. %: 0,044 C; 0,25 Si; 0,56 Mn; 0,69 Cr; 0,51 Mo; 0,021 P; 0,017 S. Механические свойства наплавленного металла при 20 °C: $\sigma_B = 600$ МПа; $\delta = 26$ %; $KCU = 173$ Дж/см².

Для оценки стойкости стали 15X1M1ФЛ против образования холодных трещин и определения

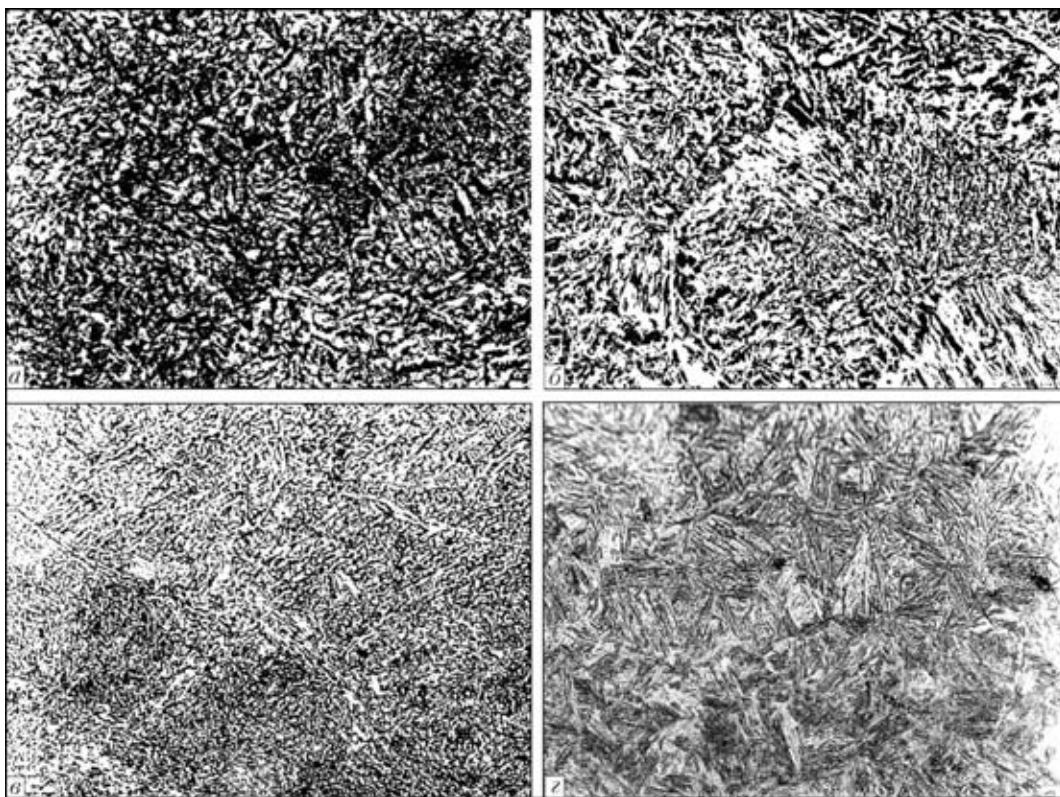


Рис. 2. Микроструктура ($\times 300$) стали 15X1M1ФЛ в исходном состоянии (а) и при $w_0 = 0,3$ (б), 1,6 (в), 100 (г) $^{\circ}\text{C}/\text{с}$

необходимой температуры предварительного подогрева при ремонтной сварке проведены исследования по методу Implant (метод вставок) [9], а также на технологических пробах Теккен и Лихайского университета [10].

В качестве критерия трещиностойкости сварного соединения в испытаниях по методу Implant принимали максимальные (критические) напряжения в образцах до начала разрушения. Под нагрузкой образцы выдерживали до 24 ч. Наплавку при испытаниях выполняли ручной дуговой сваркой электродами диаметром 4 мм марки ТМЛ-5 при $I_{\text{св}} = 175$ А. Длина валика 70 мм, время выполнения наплавки 30 ± 2 с. Наплавку выполняли непосредственно на установке в условиях как отсутствия подогрева, так и с подогревом до 250°C .

Экспериментальные данные показали, что при сварке сталей типа 15X1M1ФЛ имеет место образование холодных трещин по механизму замедленного разрушения (инкубационный период, период стойкого возрастания микропластических деформаций и период ускоренного разрушения при критических напряжениях) и, вероятно, формирование неблагоприятной структуры в зоне наплавки (рис. 3, а). Применение подогрева до 200°C позволило поднять уровень критических напряжений до $0,7 \dots 0,75$ предела текучести основного металла (рис. 3, б). Предварительный подогрев способствует снижению скорости охлаждения при структурных превращениях, благоприятно влияет на характер протекания микропласти-

ческих деформаций и удаление диффузионного водорода.

Технологические пробы для оценки трещиностойкости изготавливали из литой стали 15X1M1ФЛ толщиной 20 мм. Ручную дуговую сварку выполняли электродами ТМЛ-5 и УОНИ-13/45А на режиме $I_{\text{св}} = 170 \dots 180$ А, током обратной полярности. Применение электродов УОНИ-13/45 необходимо для создания «мягких прослоек» при многослойном заваривании дефектов или для облицовки кромок выборок.

Как показали результаты проведенных испытаний технологических проб, для обеспечения

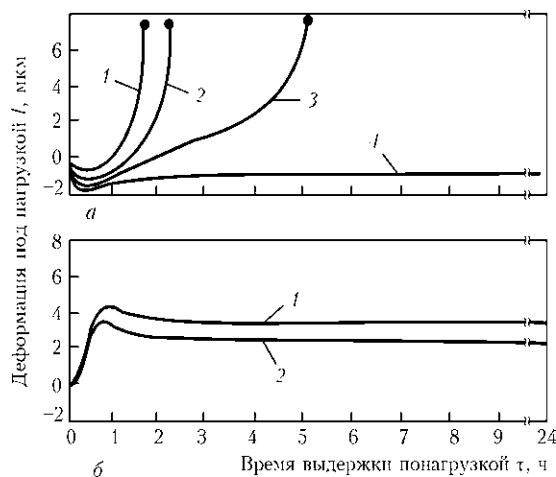


Рис. 3. Кинетика деформаций при испытаниях стали 15X1M1ФЛ по методу Implant: а — без подогрева; 1 — критическое напряжение 300; 2 — 280; 3 — 240; 4 — 220 МПа; б — подогрев до 200°C ; 1 — 350; 2 — 300 МПа

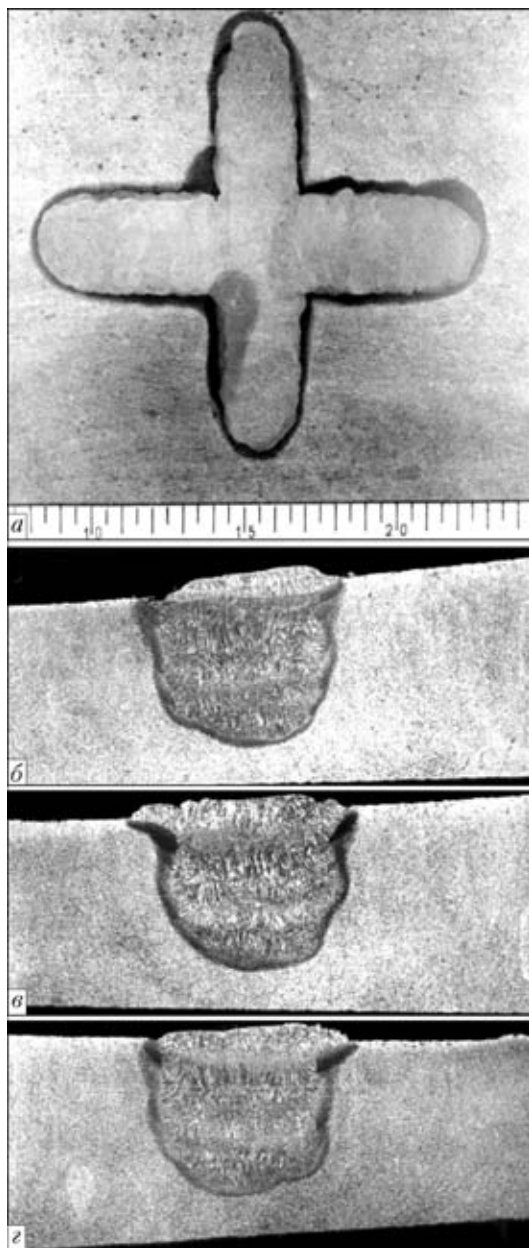


Рис. 4. Макрошлифы заваренных крестообразных выборок на стали 15X1M1ФЛ: *а* — продольное сечение; *б–г* — поперечные сечения соответственно в начале, середине и конце выборок

трещиностойкости при сварке литой стали 15X1M1ФЛ электродами типа Э-06X1М необходимо применение предварительного подогрева до 200...250 °С.

Известно [11], что свойства металла шва и ЗТВ сварных соединений теплоустойчивых сталей в значительной степени зависят от температурных условий их пребывания непосредственно после завершения процесса сварки. На повышение пластических свойств и трещиностойкость сварных соединений особенно эффективно воздействует послесварочный отпуск [12, 13]. При этом фазовых превращений не наблюдается, но создаются благоприятные условия для удаления диффузионного водорода в зоне сварки.

Следует отметить, что послесварочный отпуск в сравнении с высоким отпуском не снижает уровень остаточных сварочных напряжений. Релаксация же остаточных напряжений при температуре эксплуатации незначительна. Поэтому отремонтированные детали турбоагрегатов могут работать с ограниченным ресурсом (до очередного ППР). После проведения очередного обслуживания и технической диагностики принимается решение о дальнейшей их промышленной эксплуатации.

На основании имеющегося опыта показано [13], что для повышения трещиностойкости сварных соединений наиболее эффективно применение отжига при температуре, превышающей температурный интервал хладноломкости металла конкретной марки стали. Исходя из этого положения, температуру отжига сварных соединений стали типа 15X1M1ФЛ можно установить на уровне 250...280 °С.

Проведенные исследования основных технологических характеристик свариваемости теплоустойчивых сталей для корпусных деталей турбин на базе литой стали 15X1M1ФЛ с применением электродов типа Э-06X1М позволяют подтвердить рекомендации [4] о возможности исправления дефектов в литых корпусных деталях с использованием перлитных электродов. Для стабилизации структуры металла в зоне ремонтной сварки, ускорения выделения диффузионного водорода и предотвращения образования трещин после сварки необходим также послесварочный подогрев в виде термического отжига [11, 13].

С целью оценки автоподогрева при ремонтной сварке корпусных деталей без подогрева и послесварочной термообработки был опробован способ сварки «поперечной горкой» [14], который, благодаря непрерывному нанесению сварочных валиков по всему сечению выборок дефектов, обеспечивает автоподогрев и позволяет выполнять ремонтную сварку без предварительного подогрева. Заваривание выборок можно выполнять в нижнем, горизонтальном и вертикальном положениях.

Для определения стойкости соединений против образования холодных трещин при заваривании поврежденных корпусных деталей способом «поперечной горки» выполняли сварку крестообразных выборок. На пластине из литой стали 15X1M1ФЛ толщиной 60 мм делали две выборки перпендикулярно одна к другой длиной по 50 мм, шириной 30 мм и глубиной 40 мм. Сварку выполняли без применения предварительного и послесварочного нагрева как с облицовкой кромок перед сваркой электродами УОНИ-13/45, так и без облицовки (рис. 4, *а*). Заполнение выборок выполняли электродами ТМЛ-5 диаметром 4 мм, в обоих случаях при $I_{св} = 180$ А. Сварку начинали от торцов выборок.

После сварки пробы разрезали на темплеты с целью выявления трещин и других дефектов, а также изучения макроструктуры. Как видно из макрошлифов, представленных на рис. 4, б–г, металл шва и ЗТВ имеет вид, характерный для соединений, выполненных обычной многослойной сваркой. Наплавленный металл плотный, без пор, трещин, шлаковых включений и других дефектов. Полученные результаты позволяют рассматривать способ сварки «поперечной горкой» как один из возможных вариантов при устранении повреждений в литых корпусных деталях из теплоустойчивых сталей без применения предварительного и послесварочного подогрева.

Результаты проведенных исследований позволили рассмотреть вопрос о возможности выполнения ремонтной сварки без последующей термообработки при заварке повреждений на корпусных деталях турбинного оборудования в стационарных условиях. Объектом применения предложенной ремонтной технологии сварки была выбрана крышка корпуса ЦВД паровой турбины К-300-240 из теплоустойчивой литой стали 20ХМФЛ. Во время проведения капитального ремонта блока № 3 Трипольской ТЭС было проведено обследование ЦВД. При визуальном оптическом контроле (ВИК) на внутренней поверхности наружной крышки корпуса ЦВД (рис. 5) в районе прилива под шпоночный разъем были выявлены несквозные трещины с минимальным раскрытием. Турбина находилась в эксплуатации в течение 248667 ч. Рабочие параметры пара: температура 545 °С, давление 245 атм. Для принятия технического решения о возможности проведения ремонтной сварки без последующей термообработки предварительно была выполнена аттестация предложенной технологии в условиях ТЭС. Аттестационные испытания проводили на образце из литой стали 20ХМФЛ размером 500×300×60 мм. Выборка на образце имитировала несквозную трещину длиной 200 мм и глубиной 30 мм. Химический состав металла образца стали 20ХМФЛ следующий, мас. %: 0,20 С; 0,30 Si; 0,70 Mn; 1,10 Cr; 0,60 Mo; 0,25 V; 0,25 Ni; 0,28 Cu; 0,020 S; 0,020 P.

При проведении аттестационных испытаний отрабатывали режимы и технологию ремонтной сварки; проводили неразрушающий и разрушающий контроль качества сварного соединения по предложенной технологии; исследовали физико-механические свойства и структуру выполненного сварного соединения и их соответствия требованиям нормативной документации.

Аттестационные испытания проводили по разработанной в ИЭС им. Е.О. Патона программе, учитывающей все требования к проведению ремонтной сварки в корпусных литых деталях паровых турбин [4].

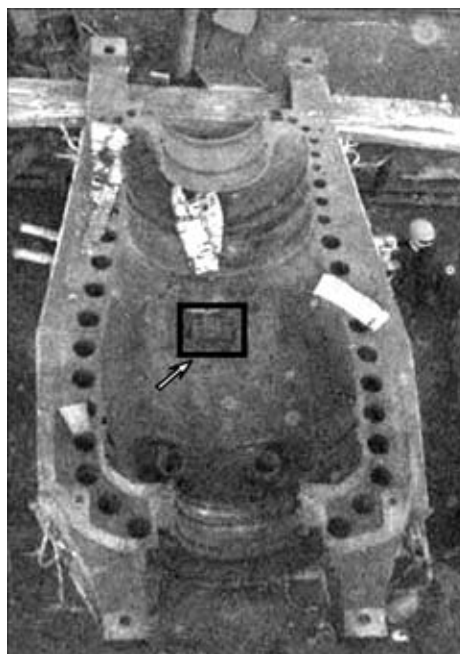


Рис. 5. Общий вид внутренней поверхности крышки корпуса ЦВД турбины К-300-240 (стрелкой указан шпоночный разъем, возле которого обнаружены участки с трещинами)

Заварку выборки выполняли электродами ТМЛ-5 диаметром 4 мм. Electrodes перед сваркой прокаливали при температуре 400 °С в течение 2 ч.

Подогрев пластины проводили до 250 °С на режимах: облицовка выборки при $I_{св} = 140...170$ А; заполнение выборки (кроме середины) при $I_{св} = 160...180$ А; середина выборки $I_{св} = 140...170$ А.

После полного заполнения выборки проводили нагрев по режиму термического отдыха при температуре 250 °С с выдержкой 15 ч. После окончания времени отдыха соединение охлаждали со скоростью около 50 °С/мин до снижения температуры пластины до 80 °С.

Качество сварного соединения оценивали визуальным контролем (раздел 16.3 РТМ-1с-89), магнитно-порошковым методом (ГОСТ 21105-87), а также ультразвуковым контролем (раздел 16.5 РТМ-1с-89). Проведенный контроль качества сварного соединения не обнаружил отклонений от нормативных требований.

Исследования механических свойств показали, что предел прочности сварного соединения при испытаниях образцов на растяжение находится в пределах 530...560 МПа, а ударная вязкость наплавленного металла составляет 148...170 Дж/см², что отвечает требованиям к этой стали ($\sigma_B = 500$ МПа и $a_n = 50$ Дж/см² соответственно).

Проведены металлографические исследования макро- и микроструктуры. Исследования показали отсутствие дефектов в металле шва и ЗТВ. Твердость металла шва составляет *HV* 184, металла ЗТВ — *HV* 172 при допустимых для стали 20ХМФЛ *HV* 104...223, а для металла шва — *HV* 150...240.

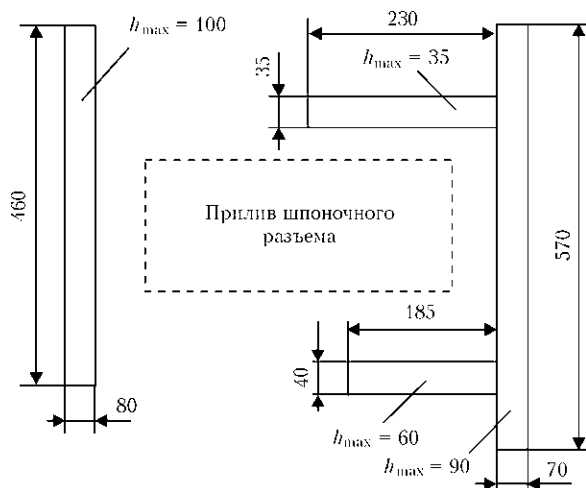


Рис. 6. Схема расположения выборок трещин на внутренней поверхности крышки корпуса ЦВД турбины К-300-240 (h — глубина выборки)

Таким образом, проведенные испытания ремонтной заварки условного дефекта на пластине из стали 20ХМФЛ по разработанной технологии в соответствии с программой аттестационных испытаний, показали положительные результаты. Это позволило принять техническое решение и рекомендовать технологию для ремонтной сварки крышки ЦВД турбины К-300-240 из литой стали типа 20ХМФЛ. Разработан технологический процесс сварки и составлена технологическая инструкция по ремонтной сварке крышки корпуса ЦВД. Выборку трещин проводили с помощью пневмозубила и абразивных инструментов с периодическим контролем поверхности. Характер расположения выборок и их окончательные размеры приведены на рис. 6. После выборки трещин поверхность зачищали механическим способом и контролировали ВИК и цветной дефектоскопией. Результаты контроля удовлетворительные.

Заварку и последующий термический отдых места заварки проводили согласно разработанному технологическому процессу ремонтной сварки. Неразрушающий контроль отремонтированных участков показал высокое качество выполненных сварных соединений. Блок № 3 с турбиной К-300-240 был принят для дальнейшей эксплуатации.

Выводы

1. Исследована свариваемость типичной литой теплоустойчивой стали 15Х1М1ФЛ, широко при-

меняемой для изготовления корпусного оборудования турбоагрегатов и пароводяной арматуры высокого давления.

2. Показано, что при ремонтной сварке корпусных деталей турбин для сварных соединений, выполненных перлитными электродами с предварительным и сопутствующим подогревом, взамен послесварочной термообработки может быть применен термический отдых.

3. Для ремонта поврежденных компонентов корпусного оборудования турбоагрегатов из литых теплоустойчивых сталей предложена технология сварки, предусматривающая применение предварительного и сопутствующего подогревов с последующим термическим отдыхом. При этом ресурс отремонтированных турбоагрегатов может быть продлен на ограниченный срок.

1. Хромченко Ф.А. Сварочные технологии при ремонтных работах. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005. — 368 с.
2. Анохов А.Е., Корольков П.М. Сварка и термическая обработка в энергетике. — Киев: Екотехнологія, 2006. — 319 с.
3. Анохов А.Е., Хромченко Ф.А., Федина И.В. Новая технология ремонтной сварки литых деталей из хромо-молибденованадиевых сталей без термической обработки // Свароч. пр-во. — 1986. — № 10. — С. 15–17.
4. РД 108.021.112–88. Исправление дефектов в литых корпусных деталях турбин и арматуры методами заварки без термической обработки. — М., 1988. — 15 с.
5. Анохов А.Е., Ганиев Ф.Б., Корольков П.М. Совершенствование технологии ремонтной сварки и термообработки — основа продления ресурса паровых турбин // Монтаж. и спец. работы в стр-ве. — 2003. — № 7. — С. 7–11.
6. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. — М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.
7. Гривняк И. Свариваемость сталей. — М.: Машиностроение, 1984. — 215 с.
8. Шориоров М.Х., Чернышева Т.А., Красовский А.И. Испытание металлов на свариваемость. — М.: Металлургия, 1972. — 240 с.
9. Касаткин Б.С., Бреднев В.И., Волков В.В. Методика исследования кинетики деформаций при замедленном разрушении // Автомат. сварка. — 1981. — № 11. — С. 1–3.
10. Касаткин Б.С., Мусияченко В.Ф. Низколегированные стали высокой прочности для сварных конструкций. — Киев: Техніка, 1970. — 188 с.
11. Козлов Р.А. Водород при сварке корпусных сталей. — Л.: Судостроение, 1969. — 175 с.
12. Шориоров М.Х., Белов В.В. Фазовые превращения и изменение свойств стали при сварке. — М.: Наука, 1972. — 220 с.
13. Козлов Р.А. Сварка теплоустойчивых сталей. — Л.: Машиностроение, 1986. — 160 с.
14. А. с. 202383 МПК В 23 К 9/00. Способ многопроходной сварки / С. Е. Синадский // БИ № 19 от 4.09.1967.

The paper deals with the issues of repair welding of damaged basic parts of turbines after long-term operation at steam working parameters. A technology of welding with pearlite electrodes without subsequent heat treatment (high tempering) is proposed. A technology of manual arc welding with pearlite electrodes of E-09Kh1M type is recommended for repair of damaged components of basic equipment of turbo units from cast heat-resistant steels. This technology involves application of preheating and concurrent heating with subsequent thermal pause. Welded joints made by the developed technology have high crack resistance and required mechanical properties. The proposed technology has been successfully tested in repair welding of HPC of K-300-240 turbines.

Поступила в редакцию 05.06.2009



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ШЛАКОВОЙ ВАННЫ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ ПРОВОЛОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук, Л. Ф. СУШИЙ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены уравнения и зависимости электрической проводимости шлаковой ванны от заглубления и положения проволочного электрода при электрошлаковой сварке. Представлены результаты моделирования проводимости шлаковой ванны с помощью электролитической ванны.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, электропроводность шлаковой ванны, проволочный электрод, моделирование, электролитическая ванна

Удельное сопротивление расплавленного шлака на несколько порядков превышает удельное сопротивление токоподводящих кабелей и свариваемого металла. Поэтому сопротивление шлаковой ванны $R_{шл}$ в значительной мере определяет значение сварочного тока, а следовательно, процесс плавления электрода и его устойчивость.

Для определения закономерностей изменения сопротивления шлаковой ванны при электрошлаковом переплаве (ЭШП) в работе [1] исследовали распределение потенциала в электролите, помещенном в мензурку с ртутным электродом на дне. В электролит погружали покрытый платиной титановый электрод. Полученные результаты описаны нелинейным уравнением

$$R = C \left(\frac{S}{D^2} \right) \left(\frac{S}{d} \right)^\alpha \left(\frac{p}{d} \right)^\gamma, \quad (1)$$

где R — общее сопротивление; S — межэлектродный промежуток; D — внутренний диаметр мензурки; d — диаметр электрода; p — заглубление электрода; C , α , γ — константы, нелинейно зависящие от коэффициента заполнения, значение которого составляет $1,07 \leq D/d \leq 6,6$.

Зависимость (1) справедлива для ЭШП с изолированным кристаллизатором. При моделировании электрошлаковой сварки (ЭШС) мензурка должна быть металлическая. Поэтому для ЭШС формулу (1) можно использовать только как возможный вид зависимости сопротивления шлаковой ванны от ее параметров.

В работе [2] сопротивление шлаковой ванны при ЭШП представлено в виде двух параллельно соединенных сопротивлений: между заглубленной частью электрода и стенкой кристаллизатора R_1 , а также между концом электрода и поверх-

ностью ванны слитка R_2 . Эти сопротивления описаны следующими уравнениями:

$$R_1 = \frac{\rho L}{H}; \quad R_2 = \frac{\rho l}{\left[\frac{(C_1 + C_2)}{2} \right] \left[D - \frac{AL}{B} \right]}. \quad (2)$$

Здесь ρ — удельное сопротивление шлака, Ом·см; L — межэлектродный промежуток, см; A — поперечное сечение слитка, см²; l — расстояние между электродом и кристаллизатором, см; C_1 , C_2 — длина окружности соответственно электрода и кристаллизатора, см; B — площадь кольцевого зазора между электродом и кристаллизатором, см².

Авторы [2] полагают, что описанная модель дает достаточно точную аппроксимацию влияния различных параметров процесса ЭШП на характеристики сопротивления шлаковой ванны.

Формулы (2) выведены для круглого кристаллизатора, а уравнения (1) подразумевает нетокопроводящий кристаллизатор. При ЭШС шлаковая ванна глубиной h_s находится в прямоугольном «кристаллизаторе» шириной b_a (соответствует ширине сварочного зазора) и длиной (соответствует толщине свариваемых деталей). Ниже рассмотрим не сопротивление шлаковой ванны, а обратную ему величину — электрическую проводимость, поскольку при этом аналитические зависимости проще. Электрическая проводимость шлаковой ванны между погруженным в нее на глубину погружения (заглубление) электрода L_s в шлак и электропроводящими стенками шлаковой ванны можно представить в виде суммы электрических проводимостей между электродом и каждой стенкой:

$$G = \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^5 G_i.$$

В первом приближении длина стенок принята неограниченной. Для подсчета проводимости шлаковой ванны между электродом и одной из вертикальных стенок воспользуемся формулой



для емкости однопроводной линии и земли на единицу длины, заменив в ней диэлектрическую проницаемость среды ϵ_a средней по объему ванны удельной электрической проводимостью шлаковой ванны γ_s [3]:

$$G_i' = \frac{2\pi\gamma_s}{\ln\left(\frac{H_i + \sqrt{H_i^2 - r^2}}{r}\right)},$$

где H_i — расстояние от центра электрода до i -й стенки шлаковой ванны; r — радиус электрода; $H_3 = b_a - H_1$; $H_4 = S - H_2$. Для электрода, погруженного в шлак на глубину l_s , получим электрическую проводимость $G_i = l_s G_i'$.

При подсчете электрической проводимости шлаковой ванны между электродом и металлической ванной G_5 воспользуемся преобразованной формулой для емкости двух конечных цилиндров [4]:

$$G_5 = 2\pi\gamma_s \left(\frac{r^2}{2(h_s - l_s)} + \frac{2r}{\pi} \ln \left(\frac{4h_s}{h_s - l_s} \right) + \frac{l_s}{2} \right).$$

На рис. 1 представлена зависимость электрической проводимости шлаковой ванны от заглубления электрода при следующих условиях: глубина шлаковой ванны $h_s = 50$ мм; зазор $b_a = 30$ мм; толщина свариваемых деталей 40 мм; диаметр электрода $2r = 4$ мм; электрод находится в центре шлаковой ванны ($H_1 = H_3 = 15$ мм; $H_2 = H_4 = 20$ мм). Из рисунка видно, что электрическая проводимость шлаковой ванны при сварке проволочным электродом возрастает практически линейно с увеличением заглубления электрода. Вклад каждой из трех составляющих электрической проводимости (электрод–кромки изделия, электрод–ползуны, электрод–металлическая ванна) приблизительно одинаков.

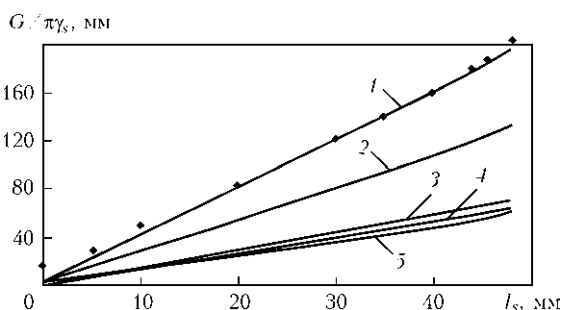


Рис. 1. Зависимость электрической проводимости шлаковой ванны от заглубления в нее электрода: 1 — полная проводимость шлаковой ванны G ; 2 — проводимость шлаковой ванны при изолированных ползунах $G_1 + G_3 + G_5$; 3 — проводимость промежутка электрод–ванна расплавленного металла G_5 ; 4 — проводимость промежутка электрод–кромки свариваемых деталей $G_1 + G_4$; 5 — проводимость промежутка электрод–ползуны $G_2 + G_3$

Зависимость электрической проводимости шлаковой ванны от положения электрода относительно кромок свариваемого изделия показана рис. 2. При расчете принято заглубление электрода $l_s = 25$ мм.

Следует заметить, что значение электрической проводимости участка электрод–ползуны несколько завышено. Поскольку теплопроводность медных ползунов высокая и они интенсивно охлаждаются водой, расплавленный шлак вблизи поверхности ползунов имеет пониженную по сравнению со средней по ванне температуру. Влияние температуры $T_{шл}$ на удельную электрическую проводимость жидкого шлака γ_s описывается уравнением [1]

$$\gamma_s = \gamma_0 \exp(-c/T_{шл}),$$

где γ_0 , c — константы для данного шлака. Согласно [5], электропроводимость популярного флюса АН-8 изменяется от 0 (при 950 °С) до 4 Ом⁻¹·см⁻¹ (при 2000 °С). Таким образом, электрическая проводимость шлака уменьшается при понижении температуры, и вблизи поверхности ползунов образуется слой шлака с пониженной электрической проводимостью. Застывший шлак (гарнисаж) вообще можно считать неэлектропроводным. В расчетах электрическую проводимость этого слоя включают параллельно с G_4 и G_5 , уменьшая результирующую электрическую проводимость вплоть до нуля. К сожалению, как теоретические, так и экспериментальные оценки проводимости пограничного слоя отсутствуют. Поэтому общая электрическая проводимость шлаковой ванны находится где-то в промежутке между G и $G_1 + G_3 + G_5$. Однако зависимость электрической проводимости шлаковой ванны от заглубления электрода и положения относительно кромок свариваемых деталей качественно остается приблизительно той же.

Для проверки полученных зависимостей проведено моделирование на электролитической ванне. Размеры ванны и электрода приняты те же, что и в расчетах. В качестве электролита использована вода. Ванна выполнена из медной фольги,

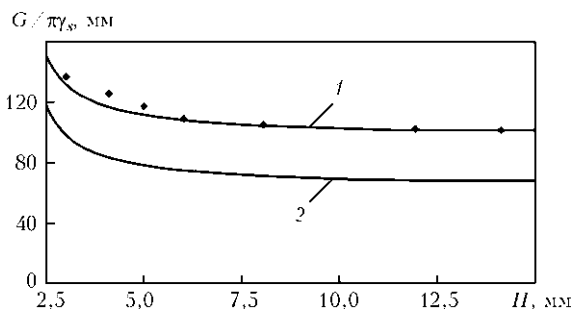


Рис. 2. Зависимость электрической проводимости шлаковой ванны от расстояния H между электродом и ближайшей кромкой свариваемой детали: 1, 2 — см. рис. 1



электрод — из стальной проволоки. Поскольку электрическая проводимость воды на несколько порядков ниже электрической проводимости металлов, то выбор рода металла для модели ванны и электрода значения не имеет. Для исключения электролитических явлений питание модели осуществлялось переменным током частотой в 1 кГц. На рис. 1 и 2 точками обозначены результаты моделирования после масштабирования для сопоставимости с расчетными кривыми, между представленными данными совпадение вполне удовлетворительное. Некоторое расхождение, наблюдаемое при незначительном заглублении электрода (см. рис. 1), можно объяснить влиянием мениска вследствие смачивания электрода.

Ввиду малой изученности и отсутствия достоверных данных в настоящей работе приэлектродные процессы на границе металл–шлак во внимание не принимались [5, 6]. Учет анодного и катодного падения напряжений качественно не меняет зависимости общего сопротивления шлаковой ванны от различных параметров процесса

ЭШС, выявление которых и является основной целью данного исследования.

Таким образом, определено, что при ЭШС проволочным электродом электрическая проводимость шлаковой ванны прямо пропорциональна заглублению электрода. Она почти не изменяется, если электрод расположен на расстоянии от стенки свариваемых деталей, больше его диаметра.

1. Омура Г., Вакабаяси М., Хосода Т. Анализ теплопередачи в процессе ЭШС // Электрошлаковый переплав: Материалы II Междунар. симп. по технологии электрошлакового переплава. — Киев: Наук. думка, 1973. — С. 180–202.
2. Томмани Ж. В., Край Д. А. Математическая модель ЭШП на постоянном токе // Там же. — 1973. — С. 221–231.
3. Говорков В. А. Электрические и магнитные поля. — М.: Энергия, 1968. — 488 с.
4. Гликман И. Я., Русин Ю. С. Расчет характеристик элементов цепей радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, 1976. — 160 с.
5. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
6. Митчел А. Механизм выделения и распространения тепла в процессе ЭШП // Электрошлаковый переплав: Материалы II Междунар. симп. по технологии электрошлакового переплава. — М.: Металлургия, 1971. — С. 80–92.

Formulae and dependencies of electrical conductivity of the slag pool upon deepening and position of wire electrode in electroslag welding are given. Results of modelling of conductivity of the slag pool by using the electrolytic bath are given.

Поступила в редакцию 17.07.2009



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING JOURNAL» 2009, № 3

Y. F. Gao, H. Zhang, Z. W. Mao

РЕГИСТРАЦИЯ НАКЛОНА СВАРОЧНОЙ ГОЛОВКИ
И СЛЕЖЕНИЕ ЗА КРИВОЛИНЕЙНЫМ УГЛОВЫМ ШВОМ

Важно отрегулировать наклон сварочной головки во время автоматического слежения за криволинейным соединением при дуговой сварке. Проведено исследование на обнаружение отклонения и наклона сварочной головки, базирующееся на использовании сварочного тока для управления за передвижением робота при выполнении криволинейных угловых швов. Предложен новый метод обнаружения отклонения и наклона сварочной головки, основанный на токах дуги, полученных от высокоскоростного вращающего датчика дуги. Он использует метод наименьших квадратов для регулировки токов дуги на плоскости в трех измерениях. Отклоне-

ние и наклон сварочной головки проектируются на две ортогональные плоскости, так что они могут быть рассоединены и, таким образом, рассчитываться отдельно. Разработана передвижная сварочная роботизированная система, состоящая из дифференцированного аппарата и поперечно скользящего манипулятора. Для управления колесами робота и горизонтальным ползуном при слежении криволинейного углового шва разработан регулятор с нечетким алгоритмом. Результаты эксперимента показывают, что обнаружение и регистрация ошибок наклона и отклонения сварочной головки приблизительно равны $\pm 7,85^\circ$ и $\pm 0,42$ мм.

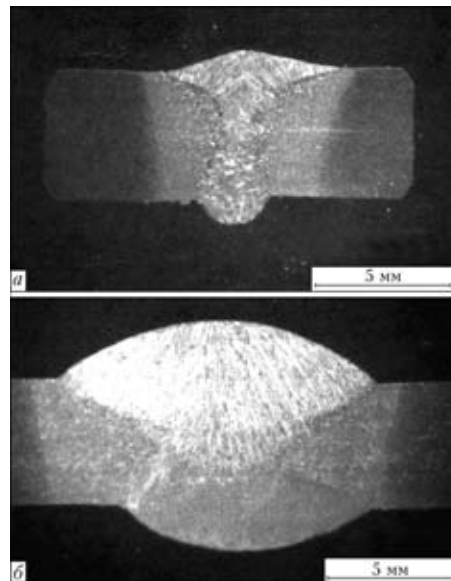


В выводах отмечается, что в работе была обоснована динамическая модель вращающегося датчика дуги, определены параметры модели. Функция переноса от СТВД к току сварки показывает, что система чувствительности датчиков линейная. Создавая соответствующую плоскость в трех измерениях, проектировались отклонение и наклон сварочной головки на две ортогональные плоскости, так чтобы они

были рассоединены и могли быть рассчитаны отдельно. По сравнению с другими подходами разработанный метод может работать в масштабе реального времени и показывает высокий уровень точности обнаружения. Результаты экспериментов показали возможность и преимущества регулятора с нечетким алгоритмом на системе слежения за криволинейным угловым соединением.

S. M. Kelly, S. W. Brown, J. F. Tressler, R. P. Martukanitz, M. J. Ludwig
**ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ
ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СУДОВЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Гибридная лазерно-дуговая стыковая сварка успешно апробирована в условиях судостроительного завода при изготовлении стальных производственных панелей. Результаты этой технологии сравнивали с результатами применения технологии дуговой сварки под флюсом. Полученные значения деформации представлены в таблице. Оцененные расходы на выполнение гибридной лазерно-дуговой сваркой стыковых швов составляют 0,41\$/фт, а снижение себестоимости на снятие деформации — от 0,45 до 13,72\$/фт.



Макроструктура поперечных сечений швов на стали ДН36 толщиной 0,197 дюйма (без скоса кромок), выполненных односторонней гибридной лазерно-дуговой сваркой (а) и двухсторонней дуговой сваркой под флюсом (б)

Дискретная деформация шва при производстве панелей

Измерения	Гибридная лазерно-дуговая сварка	Дуговая сварка под флюсом
Среднеквадратичное значение Δz	0,101 дюймов	0,396 дюймов
Диапазон ($\Delta z_{\max} - \Delta z_{\min}$)	0,874 дюймов	2,383 дюймов
Соответствие пластины MIL-STD-1689 определенным требованиям для первичной корпусной конструкции, %	96	75

R. Rai, T. A. Palmer, J. M. Elmer, T. Debroy
**ПЕРЕНОС ТЕПЛА И ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ МЕТАЛЛА ШВА
НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 304L ПРИ ЭЛС**

Цифровая модель для трехмерного переноса тепла и растекания жидкости в парогазовом канале при ЭЛС разработана и применена для швов из нержавеющей стали 304L, полученных при разных распределениях плотности энергии, достигнутых при изменении радиуса фокусного пятна при фиксированном тепловложении. Сначала в модели рассчитывалась геометрия парогазового канала, исходя из баланса энергии на стенках парогазового канала, а потом определялся трехмерное температурное поле и скорость растекания на изделии. Поскольку на баланс энергии и впоследствии на проплавление парогазового канала влияют температуры стенки парогазового канала, то рассмотрено варьирование температуры стенки парогазового канала с изменением глубины. Модифицированная модель турбулентности, основанная на гипотезе о смешанной длине Прандтля, использовалась для расчета пространственно изменяемых эффективных значений теплопроводности и вязкости при учете увеличенного нагрева и переноса массы благодаря турбулентности в

сварочной ванне. В отличие от моделей, существующих в литературе, предложенная модель учитывает физические процессы такие, как варьирование температур стенки парогазового канала с изменением глубины и результирующее влияние на расчет глубины канала и скоростей текучести вдоль стенки канала и трехмерное перемещение нагрева и массы. Таким образом, модель можно применять к материалам с большим диапазоном теплофизических свойств. Модель применялась для изучения характера текучести в сварочной ванне и ее влияния на геометрию шва. Рассчитанные размеры шва хорошо согласовывались с измеренными значениями. Расчет числа Пекле показал, что конвективный перенос тепла был крайне важен. Влияние конвекции было проиллюстрировано методом сравнения рассчитанной геометрии сварочной ванны в присутствии и отсутствии конвекции. Давление пара и температура стенки в парогазовом канале повышались с увеличением максимальной плотности энергии.



F. F. Nolcker, J. N. Dupont
**МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН
В ОБЛАСТИ ПРОВАЛА ПЛАСТИЧНОСТИ В СПЛАВАХ
НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ. Ч. 2**

Во второй из двух статей (первая опубликована в W. J. № 2, 2009) исследовано микроструктурное и микрохимическое поведение высоконикелевого сплава 600 (A600) и 690 (A690), присадочного материала 82H (FM82H) и 52 (FM52) во время термического цикла сварки и проведено сравнение с данными по горячей пластичности, представленными в первой статье. Для того чтобы подвергнуть эти четыре сплава действию моделированного теплового цикла шва использовали испытание на горячую пластичность на установке «Gleeble». Закалку водой выполняли при определенных температурах таким образом, чтобы микроструктура повышенной температуры могла быть соответственно охарактеризована. Микроструктурная и микрохимическая характеристики были получены при использовании сканирующей электронной микроскопии, методик аналитической электронной микроскопии. Полное растворение межзеренных карбидов наблюдалось в A690 и FM52 при температуре около 2400 °F (1316 °C). Оба сплава демонстрируют пластичность при охлаждении минимум до 1600 °F (871 °C). Из всех четырех сплавов наивысшая устойчивость к растрескиванию в области провала пластичности (DDC) наблюдалась у A600 и A690 при нагреве и сопровождалась выделением крупнозернистых, однородно распределенных межзеренных карбидов. FM82H, в которой сформировались межзеренные карбиды NbC, обладал наиболее стабильной межзеренной микроструктурой и пилообразными границами зерна, что соответствовало общей наилучшей устойчивости к DDC. Модификации различного цикла, которые привели к образованию увеличенного слоя межзеренных карбидов в FM82H и FM52, также сократили склонность к DDC.

В заключении отмечается, что склонность к DDC (растрескивание в области провала пластичности сплавов) A600, A690, FM82H и FM52 определена при испытании горячей пластичности на установке «Gleeble» и сопоставлена с оценкой микроструктуры этих сплавов во время первого термического цикла сварки. Из этого исследования можно сделать ряд выводов.

1. Не было найдено доказательств сегрегации серы или фосфора в образцах FM52, закаленных в воде, при минималь-

ной температуре пластичности, охлаждения 1600 °F (871 °C), нагрева 1600 °F или после 60 с изотермической выдержки при 1600 °F. Основываясь на этом, влияние серы и фосфора проявляется на DDC во время первого цикла, хотя, они скорее всего будут усиливать DDC, если присутствуют в больших концентрациях.

2. В испытанном диапазоне размер зерна не имеет значения для DDC рассмотренных сплавов. Размер зерна FM52 был в 2,5 раза больше, чем то же в A690, но оба демонстрировали пластичность при минимальном 1600 °F (871 °C) охлаждении. И наоборот, размеры зерна A600 и A690 при аналогичной температуре были такими же, в пределах экспериментальной погрешности, но провал пластичности в A600 отсутствовал.

3. Растворение межзеренных карбидов наблюдалось в A600, A690 и FM52 при пиковой части температуры теплового цикла. Такое растворение предшествует сокращению пластичности и увеличению склонности к DDC в промежуточном температурном интервале [1725...1475 °F (941...802 °C) охлаждения] во всех трех сплавах. Такое уменьшение размера межзеренного карбида и объемной доли приводит к ускорению сдвига границы зерна.

4. Охлаждение FM82H и FM52 от пиковых температур, что соответствует растворению в них карбидов, привело к увеличению слоя межзеренных карбидов. Аналогично изотермическая выдержка при 1600 °F (871 °C) (минимум пластичности для A690 и FM52) привела к большему количеству межзеренных карбидов в FM82H и FM52. Увеличенный слой межзеренных карбидов сокращает склонность к DDC независимо от типа карбида. Такое увеличение размера межзеренных карбидов и объемной доли будет способствовать сдвигу границы зерна.

5. Как оказалось, растрескивание провала пластичности в этих сплавах вызвано GBS, что может быть усилено посредством сильно локализованных напряжений. Эти напряжения могут образовываться вдоль границы раздела матрица/осадок, когда $M_{23}C_6$ карбиды образуются при аналогичном режиме температура/время, как при испытании на провал пластичности.



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТУРБОУСТАНОВОК МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»

21–25 сентября 2009 г. на территории Змиевской ТЭС состоялась научно-техническая конференция «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования». Организаторами конференции являлись Национальная академия наук Украины, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины (ИПМаш), Министерство топлива и энергетики Украины, ОАО «Турбоатом», ХЦКБ «Энергопрогресс», Украинская инженерно-педагогическая академия, Змиевская ТЭС.

В работе конференции приняло участие более 150 специалистов из 27 организаций и предприятий топливно-энергетических комплексов, НИИ, КБ, университетов и академий Украины, России, Дании, Польши и других стран. По сравнению с предыдущей конференцией отмечался рост представительства ведущих НИИ, тепловых станций и высших учебных заведений, в частности, ИЭС им. Е. О. Патона, АООТ «НПО ЦКТИ» (Россия), ИПМ «ПАН» (Польша) и др.

Открыл конференцию и выступил со вступительным словом зам. председателя оргкомитета, чл.-кор. НАН Украины А. И. Шубенко. Он поздравил участников конференции с началом ее работы, а также пожелал всем успешной и плодотворной деятельности и нового полезного сотрудничества. Далее изложил суть проблемы износа турбоустановок и другого оборудования тепловых электрических станций (ТЭС), а также особенности его модернизации. Докладчик обосновал необходимость уточнения диагностирования, а также последующей замены сварных соединений, как наиболее изнашиваемых элементов энергетического оборудования.

Затем с приветственной речью выступил директор Змиевской ТЭС В. Е. Левченко, который кратко рассказал о состоянии энергетического оборудования своей ТЭС и задачах, связанных с его модернизацией.

Конференция включала работы семи секций: совершенствование термодинамических и экологичес-

ких показателей тепловых турбоустановок; совершенствование газодинамических процессов и точных частей турбомашин; диагностирование, прогнозирование, безопасность работы и остаточный ресурс турбоустановок; проблемы модернизации и технического перевооружения теплоэнергетических установок; процессы и конструкции гидравлических турбин; проблемы совершенствования конструкций и вопросы энергосбережения в газоперекачивающем оборудовании систем транспорта газа. Всего было представлено пять пленарных и 117 секционных докладов. Докладывались результаты прикладных исследований и практических разработок, посвященные энергетическому оборудованию. Около четверти докладов включали материалы, посвященные изучению структуры, свойств, а также повреждаемости сварных соединений, длительно эксплуатируемых в условиях усталости и ползучести.

По ряду докладов состоялись оживленные дискуссии, например, по оценке трещиностойкости роторов турбины К-1000-60/1500 АЭС и оценке остаточного ресурса элементов энергооборудования, по критерию трещиностойкости.

Отличительной особенностью данной конференции от предыдущей явилось участие в ее работе значительного количества ученых из высших учебных заведений, а также молодых ученых и аспирантов. Весьма полезным также был обмен результатами разработок по проблеме модернизации однотипного оборудования ТЭС между специалистами Украины, СНГ и других стран.

На конференции было принято решение, включающее рекомендации и предложения к руководству Минтопливозерго Украины, ГАЭК и ТЭС.

В целом конференция способствовала полезному обмену информацией ученых, работающих в области диагностики состояния, определения остаточного ресурса и модернизации оборудования ТЭС.

В. В. Дмитрик, д-р техн. наук



СЕМИНАР ПО СВАРОЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ «ПОЛНАЯ ГОТОВНОСТЬ К ОТЛИЧНОЙ СВАРКЕ СТАЛИ»*

29 октября 2009 г. в с. Княжичи Киевской обл. в Технологическом центре ООО «Фрониус Украина» состоялся однодневный семинар по сварочным технологиям на тему «Полная готовность к отличной сварке стали». В нем приняли участие представители ряда предприятий различных отраслей промышленности Украины, всего свыше 30 специалистов.

устройств, а также оборудования по преобразованию солнечной энергии (мощностью до 4 кВт).

Производство сварочной техники (сосредоточено в Австрии, Чехии и Украине) включает оборудование для ручной дуговой сварки, МИГ/МАГ процессов, ТИГ и плазменной сварки. Фирмой предлагаются и системные решения по автоматизации сварочных процессов. В этом случае свароч-



Программа семинара, проходившего в режиме диалога между менеджерами ООО «Фрониус-Украина» и его участниками, включала теоретическую и демонстрационную части по темам:

новая генерация оборудования Trans Steel 3500/5000 для сварки стали;

PCS — высокомогущая сварка стали импульсной дугой;

новые сварочные тележки FDV 15/22 MF.

Директор по маркетингу ООО «Фрониус Украина» В. Л. Бондаренко кратко рассказал об основных направлениях деятельности головной фирмы «Фрониус» (Австрия), включающей разработку и производство сварочной техники (основное подразделение фирмы), пускозарядных

ное оборудование укомплектовывается столами, роликовыми опорами, тележками. Имеется подразделение, специализирующееся на разработке и производстве оборудования для орбитальной сварки. Деятельность фирмы в последние годы в области разработки и производства оборудования, накапливающего и трансформирующего солнечную энергию в бытовую электроэнергию, получает высокую оценку многих европейских обществ.

В Донецке и Стрые (Львовская обл.) созданы филиалы ООО «Фрониус Украина». В Киеве активизировалась деятельность Технологического центра. Его задача — помочь потенциальному покупателю в выборе оптимального технологического процесса соединения, подборе соответствующего оборудования, наладке его на производстве,

* Статья на правах рекламы.



обучении рабочих-сварщиков, испытании контрольных образцов сварных соединений.

В. Л. Бондаренко рассказал об экспозиции фирмы «Фрониус» на прошедшей в этом году выставке в Эссене. На площади 2000 м² было размещено 17 экспозиций, среди которых «Trans Steel» — система для высококачественной сварки; СМТ — перспективы холодного переноса металла; «Виртуальная сварка» — обучающая система, экономящая время и материалы; «Автоном-

ная сварка» (сварка без вмешательства человека, последний наблюдает процесс сварки за монитором); «Новый контактный наконечник» — повышает при МИГ/МАГ сварке срок службы токоподводящего наконечника в семь раз; «Сервис сварочного оборудования» — удлинится гарантийный срок эксплуатации до семи лет; «Механизация и автоматизация сварочных процессов» — автономные магнитные тележки двух типов, системы управления орбитальной сваркой, системы программирования и регистрации данных.

Докладчик продемонстрировал на экране примеры автоматизации сварочных процессов при выполнении длинных продольных швов, сварке тройников, наплавке поверхностей в трубе глубиной до 3 м и другие.

Преимущества процесса холодного переноса металла (СМТ) обусловлены разнообразными усовершенствованиями с целью расширения технологических областей применения. С его помощью можно уже сварить, например в стык две пластины толщиной не более 0,2 мм, причем без подкладки и с высоочайшим качеством. СМТ применяется для так называемой ошиповки деталей из нержавеющей стали, алюминия или конструкционной малоуглеродистой стали с дальнейшим нанесением слоя полимера. При этом наплавленные «шипы» металла играют роль



своеобразного каркаса. Данный метод в перспективе может использоваться для получения биматериалов, например, из тонкого листа металла с нанесенными на него шипами длиной до 5 мм и с полимерным покрытием.

Теоретическая часть семинара была продолжена выступлением Р. Кулиша, менеджера «Фрониус Украина», рассказавшего о сварочной системе «Trans Steel 3500/5000» для МИГ/МАГ и ручной дуговой сварки. Аппараты этой серии (на 350 и 500 А) оснащены оригинальным инвертором, разработанным фирмой «Фрониус» и обеспечивающим несколько характеристик сварки: стандартной, специальных — динамической (для увеличения глубины проплавления и увеличения скорости сварки), а также с тонкой, мягкой дугой для сварки корневого шва или сварки по широкому зазору. Аппараты очень просты в управлении. На них имеются все маркировки — указания сварщику для начала работы и только две ручки для регулировки тока и напряжения. В ручном режиме сварки эти два параметра можно ус-

ствен за стабильность процесса и воспроизводимость результатов сварки даже в ситуации изменяющихся условий процесса. Дополнительно технология Steel Transfer Technology была улучшена в первую очередь благодаря инновационной подаче проволоки. Легкий, прочный узел, включающий шлейф-пакет, горелку и дисплей управления, гарантирует надежную подачу сварочной присадочной проволоки. Функция Comfort



танавливать отдельно, а в режиме «Синержик» они связаны между собой, что обеспечивает максимально хорошие результаты сварки.

Продукция серии «Trans Steel» удобна в управлении и обеспечивает высокую надежность плюс идеальные характеристики сварки. Центральный блок управления и регулировки ответ-

wire автоматически выполняет заправку проволоки. Пользователь может легко снять портативный блок подачи проволоки и перенести в труднодоступные места монтажной площадки для выполнения сварки. Независимо от положения шлейф-пакета сварочные параметры остаются стабильными.

Инновационный разъем FSC (Fronius System Connector), предназначенный для ручного и роботизированного применения, для систем с газовым и водяным охлаждением, повышает качество, надежность, универсальность и комфортность работы. Благодаря центральному разъему для всех внешних устройств пользователь может отказаться

от внешних штекеров управления. Эргономичная горелка дает возможность быстрой и надежной замены благодаря рычажному затвору.

Аппараты серии «Trans Steel» пригодны для эксплуатации в течение длительного срока даже при интенсивном использовании.



мальное световое излучение, достигается увеличение глубины проплавления даже на повышенных скоростях сварки.

Для реализации процесса сварки с характеристикой PCS необходимо применять специальный высокомоощный инвертор, обеспечивающий импульсный процесс горения дуги.

В заключение теоретической части семинара была проведена презентация универсальных сварочных тележек с магнитным прижимом FDF 15/22MF, гарантирующих точное перемещение сварочной головки при выполнении

швов в различных пространственных положениях способами МИГ/МАГ. В отличие от ранее применяемых тележек эти тележки не нуждаются в направляющих, не имеют кабельных сетей и размещаются непосредственно на изделии. Они легки, управление простейшее, питание от батарей. На тележке имеется узел для крепления ручной горелки. Батарейный блок также располагается на тележке. Возможна комплектация тележки с легким сварочным трактором. На тележке может размещаться, при необходимости, система слежения по стыку и блок колебания горелки. Дополнительное оснащение: зарядное устройство для батареи и перезаряжающаяся батарея на 14,4 В/2 А·ч.

Во второй части семинара менеджеры «Фрониус Украина» продемонстрировали работу аппарата «Trans Steel 3500», СМТ процесс на роботехническом комплексе, показали особенности применения сварочных тележек с магнитным прижимом. Кроме того, был представлен стенд для показа возможностей плазменной сварки, технология которой обеспечивает качественную сварку нержавеющей сталей, начиная с толщины 0,2 до 12 мм проплавления за один проход. Размеры изделий при этом не ограничены.

Участники семинара были приглашены на Международный промышленный форум (г. Киев, МВЦ, 24-27.11.09) на стенд «Фрониус Украина». На стенде впервые в СНГ будет представлен новый комплекс «Виртуальная сварка», предназначенный для обучения сварщиков.

Все участники выразили благодарность организаторам семинара за насыщенную программу, возможность детального ознакомления с передовыми образцами оборудования и технологиями.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук
А. Т. Зельниченко, канд. физ.-мат. наук



Руководитель отдела по оборудованию и технологиям Технологического центра В. Слюта рассказал о разработке фирмой «Фрониус» процесса высокомоощной сварки импульсной дугой с капельным переносом на характеристике PCS (Puls Controlled-Spray Arc). Характеристика PCS соответствует сварке концентрированной дугой. Этот процесс является переходным между импульсно-управляемым и струйным. Дуга в смешанном режиме горит «заглубленно» по отношению к сварочной ванне. Обеспечивается мини-

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «WELDEX/РОССВАРКА-2009»

С 12 по 15 октября в Москве в Международном выставочном центре «Крокус Экспо» прошла 9-я Международная выставка «Weldex/Россварка-2009», организованная ЗАО «Международная Выставочная Компания» при содействии компании «Элсвар» и поддержке Торгово-промышленной палаты РФ, Российского научно-технического сварочного общества и Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков.

В выставке приняли участие свыше 75 специализированных фирм, компаний, институтов, малых и средних предприятий, торгующих организаций из девяти стран (Англии, Германии, Китая, Португалии, России, США, Украины, Финляндии и Швейцарии). Наиболее представительной на выставке была экспозиция России (свыше 60 стендов). Среди них также известные производители сварочного оборудования в России, как «ИТС» (г. С.-Петербург), ФГУП ГРПЗ (г. Рязань), НПП «Плазма» (г. Ростов-на-Дону), ЗАО «ПКТБА» (г. Пенза), ООО «Фактор» (г. Москва), ООО «Автогенмаш (г. Тверь), а также сварочных материалов — ОАО «Межгосметиз-Мценск» (г. Орел), ЗАО «Запсибгазпром» (г. Тюмень).

Украина на выставке была представлена Институтом электросварки им. Е. О. Патона, Краматорским предприятием «Донмет», Ильницким заводом механизированного сварочного оборудования, Киевским предприятием «Артем-Контакт», а также журналами «Автоматическая сварка» и «Сварщик».

Из мировых брендов, принявших участие в выставке, следует отметить американскую фирму «Mathey Dearman» (оборудование для строительства и ремонта магистральных трубопроводов), «Lincoln Electric Company» (оборудование для ручной, дуговой, аргодуговой и МИГ сварки, плазменной резки, автоматических и роботизированных систем, сварочные материалы для широкого спектра применения представлено Московским отделением), «КЕМРПИ» (высокотехнологичное сварочное оборудо-

дование для любых дуговых процессов, сварочные горелки, маски, аксессуары), «Linde Gas» (производство всего спектра сварочных газов и смесей), ESAB (материалы и оборудование для сварки — Московское отделение).

На выставке были представлены также экспозиции ряда ведущих научных, инженерно-технологических и инжиниринговых центров России таких, как Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона (г. С.-Петербург), НИТИ «Прогресс» (г. Ижевск), Государственный инжиниринговый центр — ГИЦ (г. Москва), Московская межотраслевая ассоциация главных сварщиков.

Тематика выставки традиционно включала демонстрацию достижений в области современных технологий, оборудования и материалов, получивших применение при сварке, резке, наплавке, пайке, термообработке и нанесении покрытий; разработки и производства систем вентиляции, кондиционирования воздуха, средств защиты сварщика и окружающей среды; создания специализированных видов оборудования и технологий. В условиях наблюдающихся признаков оздоровления экономики в странах Восточной Европы естественной выглядела тенденция к расширению показа достижений в области автоматизации и роботизации сварочных процессов. При этом наряду с демонстрацией робототехники Московским отделением фирмы «Кука Роботикс» уже традиционно эффектно выглядел стенд ООО «Контур» (г. Москва), занимающийся проектированием заготовительных и сварочных цехов заводов по производству металлоконструкций и демонстрирующий при этом возможности широкого использования роботизированных сварочных комплексов и автоматов.

Среди новинок выставки — разработка ГИЦем, определенным в 2008 г. Правительством РФ в качестве головной организации, обеспечивающей научно-техническое развитие отечественного станкос-





троения и технологическое перевооружение стратегических отраслей машиностроения с преимущественным применением конкурентоспособных технологий и оборудования совместно с ОАО «Автоваз», линейки отечественных технологических универсальных роботов серии ТУР с номинальной грузоподъемностью от 15 до 350 кг. Все они представляют собой универсальные промышленные роботы шарнирного типа, имеющие шесть степеней подвижности и предназначенные для применения при контактной, лазерной, дуговой и гибридной сварке, лазерной и плазменной резке, резке водой высокого давления, нанесении клеев и герметики, складировании и транспортировке грузов.

В настоящее время на ОАО «Автоваз» полным ходом ведется подготовка по созданию мощностей, позволяющих обеспечить выпуск до 1000 единиц таких роботов в год.

В период работы выставки состоялись однодневные международные конференции на тему «Автоматизация и механизация в прогрессивных сварочных технологиях для использования в современных условиях в ведущих отраслях промышленности, энергетике и строительстве (организатор — ЗАО «МВК», РНТСО, журнал «Сварочное производство») и научно-практическая конференция по сварке, резке, пайке и родственным технологиям в формате делового клуба по профессиональным интересам (организаторы — ЗАК «МВК», Московская межотраслевая ассоциация главных сварщиков). Вопросам сертификации в сварочном производстве было посвящено два доклада.

В докладе Г. Фернандеса (член дирекции Международного института сварки (МИС), руководитель системы сертификации МИС) «Международная система квалификации и сертификации сварочного персонала и организаций» были отражены основные документы МИС, регламентирующие процедуры сертификации персонала и организаций. Отмечено, что при МИС создана специализированная организация International Authorized Board — IAB, которая занимается вопросами квалификации и сертификации. Отмечено, что в России уполномоченным органом по выдаче сертификатов в области сварки являются Национальное агентство контроля и сварки.

О. А. Цукуров (Центр сертификации объектов сварочного произ-

водства) сделал доклад на тему «Проблемы выполнения технических регламентов применительно к процессам сварки и пути их решения», в котором отметил, что в настоящее время в технических регламентах нет требований к сварочным процессам. Для решения этих проблем в рамках РНТСО создан комитет по техническому регулированию (июль 2009 г.). В 2009–2010 гг. комитет проведет ряд семинаров, посвященных вопросам технического регулирования в области сварочного производства.

На другой конференции состоялись презентации разработок таких фирм, как «Кука Роботикс», «Скансоник» (Германия), «Кемппи» (Финляндия), «Дюкон», «Свача», «СовПлим», «Элсвар», «Техникорд» (Россия) и др.

Подводя итоги следует отметить, что экспонентов на данной выставке было существенно меньше, чем на предыдущих, то же относится и к количеству посетителей. Это согласуется с данными агентства «ИнформЭкспо», согласно которым в первом полугодии 2009 г. в Москве в целом по выставкам число экспонентов упало в среднем на 20 %.

Очередная выставка «Weldex/Россварка» состоится в 2010 г. на своей любимой площадке — в Сокольниках, что внушает определенный оптимизм в отношении дальнейшего развития деятельности главной российской выставки по сварке и родственным технологиям.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук,
А. Т. Зельниченко, канд. физ.-мат. наук



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ, РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ»

14–17 октября 2009 г. в Национальном университете кораблестроения имени Адмирала Макарова (НУК), г. Николаев проведена Международная конференция под патронатом Президента Национальной академии наук Украины, директора ИЭС им. Е. О. Патона, академика Б. Е. Патона, посвященная 50-летию кафедры сварочного производства НУК и 75-летию Института электросварки (ИЭС) им. Е. О. Патона НАН Украины. В ней приняли участие ученые Украины, России, Беларуси, Китая, Польши и Вьетнама, которые представляли более 60 организаций и предприятий. На конференции были заслушаны 130 докладов по актуальным направлениям сварочного производства, в том числе 39 пленарных, подготовленных учеными ИЭС им. Е. О. Патона, Института проблем материаловедения (ИПМ) им. И. Н. Францевича, Физико-технического института металлов и сплавов (ФТИМС) НАН Украины, Института сильноточной электроники, Института физики прочности и материаловедения, Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Белорусского государственного университета, Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Пекинского института авиационных материалов, Российского государственного технологического университета (РГТУ) им. К. Э. Циолковского, Московского энергетического университета, Воронежского государственного технического университета, НТУУ «Киевский политехнический институт», НУК имени Адмирала Макарова, Тернопольского государственного технического университета (ТГТУ) им. И. Пулюя, Восточноукраинского национального университета (ВНУ) им. В. Даля, Приазовского государственного технического университета (ПГТУ), Черноморского государственного университета (ЧГУ) им. П. Могила, а также предприятий ОАО «Вадан шипардс»–«Океан» и ГП НПКГ «Зоря-Машпроект». Наибольшее количество докладов (13 докладов) представлено учеными ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, тематика которых была очень разнообразна. Три доклада сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона посвящены новым разработкам в области сварочных материалов для судостроения и судоремонта (акад. НАНУ И. К. Походня и сотруд.), три доклада — свариваемости материалов (акад. НАНУ В. И. Махненко, М. М. Савицкий, д-р техн. наук и сотруд.), два доклада — пайке материалов (чл.-кор. НАНУ В. Ф. Хорунов и сотруд.). Доклад чл.-кора НАНУ И. В. Кривцуна был посвящен новым разработкам

в области гибридных лазерно-плазменных технологий сварки и обработки материалов, докторов техн. наук Ю. С. Борисова — нанесению газотермических покрытий, Л. С. Киреева — диффузионной сварке титановых конструкций, И. В. Пентегова — механизированной сварке сталей в среде защитных газов, А. А. Кайдалова — очистке поверхностей перед сваркой и родственными процессами.

Сибирским отделением РАН и учеными Беларуси представлены четыре доклада, посвященные применению в сварке и родственных технологиях концентрированных потоков энергии (КПЭ), в частности, низкоэнергетических (20...30 кВ) сильноточных (сотни ампер) электронных пучков (СНЭП) (доктора техн. наук Н. Н. Коваль, В. Е. Овчаренко, О. П. Солоненко, доктора физ.-мат. наук Ю. Ф. Иванов и др. — СО РАН) и компрессионных плазменных потоков (доктора физ.-мат. наук В. В. Углов, В. М. Асташинский, Н. Т. Квасов, Н. Н. Черенда — Беларусь). Применение СНЭП при диффузионной сварке и пайке с давлением рассмотрено в докладах, представленных НТУУ «Киевский политехнический институт», НУК, ЧГУ (д-р техн. наук В. Д. Кузнецов, докторант В. В. Квасницкий, доктора техн. наук В. Ф. Квасницкий и Л. М. Дыхта). КПЭ применяются для модифицирования и легирования поверхностей с управлением структурой, составом и свойствами материалов и сейчас интенсивно развиваются, поэтому ранее относились к национальным критическим технологиям двойного назначения.

Новые возможности повышения качества сварных конструкций с применением виброобработки продемонстрированы в докладе д-ра техн. наук А. Н. Гедровича и канд. техн. наук А. Б. Жидкова (ВНУ им. В. Даля), особенности и перспективы износостойкой наплавки порошковой лентой — в докладе д-ра техн. наук В. В. Чigareва и канд. техн. наук А. Г. Белика (ПГТУ).

Ряд докладов посвящен проблемам, возникающим при эксплуатации сварных конструкций. В работе д-ра техн. наук Н. И. Пидгурского (ТГТУ) рассмотрены закономерности распространения усталостных трещин, в работе академика НАНУ В. И. Махненко и канд. техн. наук А. С. Миленина предложена методика ранжирования дефектов магистральных газопроводов, основанная на вероятностной оценке риска аварийных ситуаций и позволяющая планировать ремонт без вывода газопроводов из эксплуатации, в работе д-ра техн. наук Л. И. Коростылева (НУК) рассмотрены методы расчета усталостной прочности

сварных судокорпусных конструкций с учетом конструктивных и технологических факторов.

В докладах, представленных на конференции, рассмотрены также производственные технологии в судокорпусостроении и судовом машиностроении. В работе кандидатов техн. наук Н. П. Романчука, С. В. Драгана, Ю. В. Солониченка и др. (ОАО «Вадан шипярдс»–«Океан», НУК) проанализирована эффективность различных способов сварки монтажных соединений корпуса судна. В работе канд. техн. наук В. В. Романова и Ю. В. Бутенко (ГП НПКГ «Зоря-Машпроект») показана роль современных сварочных и родственных технологий в обеспечении разработки и производства высокоэкономичных газотурбинных установок различного назначения, конкурентоспособных на мировом рынке.

Свариваемость жаропрочных кобальтовых сплавов рассмотрена в работе сотрудников ФТИМС НАН Украины (д-р техн. наук В. М. Симановский и сотrud.), а новые источники питания на основе квазирезонансного преобразователя для плазменных технологий представлены в докладе сотрудников НУК (канд. техн. наук Е. Н. Верещаго и сотrud.).

Технологиям сварки алюминиевых сплавов, высокопрочных и нержавеющей сталей применительно к конструкциям различного назначения посвящен доклад проф. Р. Ястржебски и сотrud., ремонтной лазерной сварке клапанов авиадвигателя из сплава никеля — доклад проф. А. Климпеля и сотrud. (Польша), новой технологии электродуговой сварки листов толщиной от 0,3 до 3,0 мм с управляемым переносом металла — доклад инж. В. П. Слюта (ООО «Фрониус» Украина).

На пленарном заседании десять докладов были посвящены сварке в твердом состоянии и пайке материалов. Кроме упомянутого выше доклада чл.кора НАНУ В. Ф. Хорунова, в работе академика НАНУ Ю. В. Найдича и сотrud. (ИПМ) предложена пайка тугоплавких металлов и оксидных материалов с использованием припоев на основе Ni–Nb, Cu–Ni–Nb, Au–Nb, в работе канд. техн. наук С. В. Максимовой (ИЭС) разработаны припои и технология пайки интерметаллидных титановых сплавов, в работе проф. Х. П. Ксинг и сотrud. (Китай) исследованы припои для соединения материалов на основе интерметаллида Ti_3Al .

Сварка в твердом состоянии разнородных металлов с пропусканием импульса тока большой плотности исследована в работе д-ра техн. наук А. И. Вовченко с сотrud. (ИИПТ). В работе проф. В. Мао и сотrud. (Китай) установлены условия получения TLP-соединений (диффузионная сварка с расплавляющейся прослойкой) монокристаллического никелевого суперсплава ДД6. Совершенствованию технологий диффузионной сварки разнородных ме-

таллов на основе исследования термодетформационных процессов и моделирования напряженно-деформированного состояния при сварке и охлаждении разнородных соединений с формированием остаточных напряжений посвящены доклады докторов техн. наук В. В. Пешкова и Л. С. Киреева (ВГТУ и ИЭС им. Е. О. патона), В. Д. Кузнецова, докторанта В. В. Квасницкого (НТУУ «Киевский политехнический институт»), кандидатов техн. наук Г. В. Ермолаева и А. В. Лабарткава (НУК). С применением диффузионной сварки для создания сложного композиционного материала металл–стекло с коагуляцией меди для снижения структурных и термических напряжений получены уникальные изделия в работе д-ра техн. наук О. А. Барабановой и сотrud. (МАТИ — РГТУ им. К. Э. Циолковского).

На конференции были также представлены доклады, посвященные истории развития кафедры сварочного производства НУК (доктора техн. наук С. С. Рыжков, В. Ф. Квасницкий (НУК), В. М. Емельянов (ЧГУ)) и роли ИЭС им. Е. О. Патона в развитии судостроения (д-р истор. наук А. Н. Корниенко, канд. техн. наук А. П. Литвинов, д-р техн. наук А. Г. Потапьевский).

Сессия стендовых докладов проводилась 14 октября и в перерывах пленарных заседаний 15 и 16 октября 2009 г. Тематика стендовых докладов охватывала практически все отрасли промышленности, способы сварки плавлением, давлением, родственные процессы и технологии.

Стендовые доклады представлены практически всеми кафедрами сварочного направления, имеющимися в Украине.

Пленарные доклады опубликованы в Сборнике научных трудов НУК (2009, № 3, 4), а стендовые доклады — в сборнике «Проблемы сварки, родственных процессов и технологий»: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры сварочного производства НУК и 75-летию ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины».

По итогам конференции принято решение, в котором отмечается высокий научный уровень и практическая значимость заслушанных докладов, активное участие ученых и специалистов сварочного производства в научных исследованиях. Принято решение конференцию «Проблемы сварки, родственных процессов и технологий» проводить регулярно с периодичностью один раз в два года.

Участники конференции посетили николаевские предприятия ОАО «Вадан шипярдс»–«Океан» и ГП НПКГ «Зоря-Машпроект».

В. Ф. Квасницкий, д-р техн. наук



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «HIGH MAT TECH»

19–23 октября в Киеве в НТУУ «Киевский политехнический институт» прошла международная научно-техническая конференция «High Mat Tech», посвященная материаловедческим проблемам. Конференцию организовали Министерство науки и образования Украины, Национальная академия наук Украины (НАНУ), Украинское материаловедческое общество (УМТ), НТУУ «Киевский политехнический институт», Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ООО «Интем» (Украина). Информационными партнерами конференции выступили журналы «Техника машиностроения» (Россия), «Порошковая металлургия» (Украина), «Наноструктурное материаловедение» (Украина), «Деформация и разрушение» (Россия). Конференция проходила под патронатом Федерации европейских материаловедческих обществ, Европейского материаловедческого общества, Секретариата Европейской ассоциации порошковой металлургии EUREKA, Национального информационного центра по РП7.

В работе конференции приняло участие около 170 ученых, преподавателей, аспирантов и инженеров из ведущих НИИ, научно-исследовательских центров, университетов, академий и других организаций из 19 стран.

Конференцию открыл, а также выступил с приветственной речью академик НАН Украины А. Г. Косторнов. Он пожелал всем ее участникам успешной работы, делового сотрудничества, кратко изложил задачи конференции и организационные вопросы.

Конференция включала работу девяти секций: металлические материалы и технологии их получения и обработки; керамика функционального и конструкционного назначения; инженерия поверхности; современные технологии соединения материалов; порошковая металлургия: современное состояние науки и производства; новейшие материалы на основе дисперсных частиц (порошков, волокон и др.), свойства, технологии; фундаментальные основы современного материаловедения. Диаграммы состояния. Моделирование технологических процессов получения материалов и свойства современных материалов; материалы медицинского назначения; композитные материалы: специальные свойства и перспективы практического использования; наноматериаловедение: технологии и материалы.

По ряду докладов состоялись оживленные дискуссии, что свидетельствовало о значительном интересе участников конференции к новым научным результатам по некоторым научным направлениям. Одним из таких направлений явилось развитие нанотехнологий и наноматериалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. В разработке данного направления, как следовало из докладов, принимают активное участие известные в мире научно-исследовательские центры: Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича, ИЭС им. Е.О. Патона, Institute fuer Metallkunde und Metallphysik PWTN (Germany), Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН (Москва, РФ) и многие другие.

Интересными были доклады, посвященные современным технологиям соединения материалов, включающим и сварочные технологии. Вызвал, например, заинтересованность доклад «Диффузионная сварка тугоплавких металлов и жаропрочных сплавов» (ОАО «Раменское приборостроительное КБ», РФ), а также доклад «Перспективы получения слоистых металлокерамических материалов с использованием сварки взрывом» (Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, РФ).

В соответствии с программой конференции наряду с секционными докладами были представлены и стендовые доклады. Всего было сделано 220 докладов и устных сообщений.

Большинство заслушанных на конференции материалов свидетельствовало о высоком научно-техническом уровне экспериментальных работ. Высоким был также уровень организации конференции. В течение конференции ее участники обменивались информацией, обсудили пути дальнейшего развития проблем материаловедческого направления, укрепили старые и установили новые деловые контакты, а также определили пути выполнения совместных научных программ. Намечены также перспективы для дальнейшего научного сотрудничества.

Подводя итоги участники конференции отметили ее актуальность и полезность для дальнейшего развития материаловедения, в том числе направления, связанного с получением новых конструкционных материалов путем использования различных процессов сварки.

В. В. Дмитрик, д-р техн. наук

И. Р. ЯВДОЩИНУ — 70



Исполнилось 70 лет со дня рождения известного ученого в области металлургии сварки, сварочных материалов и технологии их изготовления, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника ИЭС им. Е. О. Патона лауреата Государственной премии СССР, Премии им. Н. Н. Доброхотова Игорю Романовичу Явдошину.

В 1961 г. после окончания металлургического факультета КПИ И. Р. Явдошин был направлен в ИЭС им. Е. О. Патона и сразу же активно включился в работы по исследованию металлургических и электрофизических проблем дуговой сварки, разработку низкотоксичных электродов и технологии их промышленного производства. Молодой задор и энтузиазм, подкрепленный фундаментальным уровнем подготовки, в сочетании с постоянным стремлением к освоению новых знаний в значительной мере способствовали созданию отечественных прогрессивных низкотоксичных и высокопроизводительных сварочных электродов, обладающих хорошими сварочно-технологическими свойствами, обеспечивающими многократное снижение выделения вредных веществ и их токсичности, что позволило в несколько раз сократить профессиональную заболеваемость сварщиков в России и Украине.

И. Р. Явдошин принимал самое активное участие в создании новых марок сварочных электродов серии АНО, 48ХН-АН, АНП и др. Результаты исследований были обобщены в диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата наук, которую И. Р. Явдошин с успехом защитил в 1970 г.

За работу «Коренное улучшение условий труда и повышение производительности при сварке покрытыми электродами и их производстве» И. Р. Явдошин в составе авторского коллектива в 1971 г. был удостоен Государственной премии СССР.

В 1981 г. И. Р. Явдошин возглавил лабораторию и принял активное участие в работах по широкому внедрению новых электродов, разработке более совершенных технологий их изготовления. На базе этих разработок были созданы четыре специализированные цеха по производству покрытых электродов

мощностью до 60 тыс. т в год и несколько цехов мощностью до 25 тыс. т в год. Выполненный комплекс работ позволил решить крупнейшую и актуальную в то время народнохозяйственную задачу — обеспечить промышленные предприятия и новостройки страны первоклассными низкотоксичными электродами.

Около 50-ти лет Игорь Романович успешно трудится в ИЭС им. Е. О. Патона. Своими знаниями и накопленным опытом он щедро делится с молодыми сотрудниками. С его активным участием были проведены фундаментальные исследования технологических свойств сварочной электрической дуги, положенные в основу создания технологически и металлургически надежных универсальных электродов. Выполнен комплекс физико-химических и биологических исследований связи токсичности сварочного аэрозоля и состава сварочных материалов, изучены особенности ликвации элементов в сварных швах и образования химической неоднородности, определены условия рационального легирования металла сварного шва. Это послужило основой для создания гаммы универсальных электродов с высокими сварочно-технологическими свойствами и ультранизким содержанием водорода в металле швов высокопрочных низколегированных сталей.

Результаты исследований и разработок, выполненных И. Р. Явдошиным, нашли широкую реализацию также в Российской Федерации, Болгарии, Китае, Аргентине и Сирии.

Им опубликовано более чем 100 печатных работах, 25 патентов и авторских свидетельств, в соавторстве монография «Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами».

Профессионализм, глубокие фундаментальные знания, большое трудолюбие в сочетании с открытостью, готовностью помочь сотрудникам, поделиться своим опытом с молодежью, высокой принципиальностью и честностью завоевали И. Р. Явдошину высокий авторитет среди своих коллег по работе, глубокое уважение людей, с которыми он общается многие годы.

Коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона и редколлегия журнала «Автоматическая сварка» сердечно поздравляют Игоря Романовича Явдошина со славным юбилеем и желают ему доброго здоровья, счастья, новых творческих успехов.

ABICOR BINZEL – сила инноваций!

Целый ряд новых идей и решений, воплощённых в продуктах, были представлены группой ABICOR BINZEL в сентябре месяце на выставке SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2009. Ведущая специализированная выставка сварочной техники, где встречаются мировой рынок, глобальное ноу-хау, ведущие специалисты данного сегмента экономики и многочисленные потребители.

Уже в первом квартале 2010 года рынок Украины и потребители сварочной техники смогут лично оценить новое поколение комплектующих *made by BINZEL*.

Новое поколение горелок в сегменте MIG/MAG

ABIMIG® GRIP. Благодаря инновационному использованию специальных компонентов «GRIP»-системы в конструкции рукоятки и различных вариантов модулей управления сварочные горелки серии **ABIMIG® GRIP** (воздушного и жидкостного охлаждения) выгодно отличаются совершенной эргономикой и идеальной фиксацией в руке. Наряду с «GRIP»-системой конструкция рукоятки в месте перехода к шланговому пакету оснащена шарниром, что делает манипулирование горелкой более удобным.

Сварочные горелки мощностью до 320 А с воздушным охлаждением серии **ABIMIG® GRIP A** комплектуются шланговым пакетом нового поколения **Low-Weight Bikox®**, который обеспечивает идеальный баланс сварочной горелки и дает возможность снизить нагрузку на кисть, а также мышцы спины сварщика.

Сварочные горелки большой мощности с жидкостным охлаждением серии **ABIMIG® GRIP** демонстрируют отличные показатели, особенно при длительных нагрузках. Горелки данной серии особенно эффективны при импульсной сварке благодаря оптимизированной двухконтурной системе охлаждения, которая обеспечивает дополнительное охлаждение расходного материала, тем самым, продлевая срок его службы.



Сварочная горелка **ABIMIG® GRIP A** с воздушным охлаждением — идеальная комбинация высокой производительности и ультра-легкого веса

Новое поколение горелок в сегменте TIG

ABITIG® GRIP. Данный тип является логическим продолжением усовершенствования **ABITIG®**-серии и выгодно отличается оптимальной эргономикой, а также своей последовательной модульной конструкцией.

Горелки различных нагрузок как воздушного, так и жидкостного охлаждения, оснащаются эргономичной рукояткой «GRIP» и оптимизированным шланговым пакетом, в которых предусмотрено использование различных модулей управления. При этом весь спектр расходного материала взаимозаменяем со стандартной «SRT-серией». Шланговые пакеты с возможностью модульной адаптации разъемов достаточно гибкие и устойчивы к внешнему воздействию.

ABITIG® GRIP Little. ABICOR BINZEL представляет новую и своеобразную серию сварочных горелок с жидкостным или воздушным охлаждением — **ABITIG® GRIP Little**, которые обеспечивают удобство работы в труднодоступных местах, благодаря своему компактному дизайну и идеальному балансу.



Сварочная горелка **ABITIG® GRIP Little** — гибкость и оптимальный доступ

* Статья на правах рекламы.

Новое в линейке комплектующих к сварочному посту

BFP 001. Палитра комплектующих сварочного поста дополнена еще одной из разработок, предназначенной для специалистов по обслуживанию (сервису) сварочного оборудования. Это тестер для блоков принудительного охлаждения и сварочных горелок с жидкостным охлаждением, который позволяет производить оперативный контроль объема, давления и температуры хладагента в системе охлаждения.

Новое поколение плазматронов в сегменте плазменной резки

ABICUT. Новая серия плазматронов **ABICUT** с воздушным охлаждением предназначена для резки с помощью плазмообразующего воздуха, током от 20 до 75 А, и оптимальна для всех положений резки. Эти плазменные резаки легки в обращении благодаря короткой эргономичной рукоятке, гарантируют оптимальное качество реза, оснащены инновационной встроенной предохранительной системой от самопроизвольного включения, чрезвычайно устойчивы к продолжительным высоким нагрузкам. Наличие контактного поджига на некоторых моделях ощутимо сокращает затраты на термическую резку.

Плазменные резаки серии **ABICUT** совместимы практически со всеми известными установками воздушно-плазменной резки.

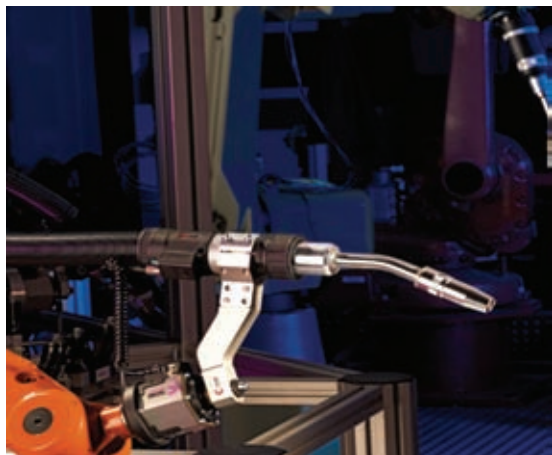
ABICOR BINZEL также предлагает рынку резаки (от 70 до 200 А, воздушное и жидкостное охлаждение) серии **ABIPLAS[®] CUT** для использования в составе с источниками, поддерживающими бесконтактный/высокочастотный поджиг дежурной дуги.



Плазматрон **ABICUT** — сочетание оптимальной эргономики и качественного реза

Новое в сегменте автоматизации

ABIROB[®] W. Наряду с широким перечнем разработок в области сварочных горелок и периферии для роботов нового поколения, **ABICOR BINZEL** особо выделяет одну из новинок —



роботизированные сварочные горелки с жидкостным охлаждением серии **ABIROB[®] W** от 300 до 500 А, укомплектованные абсолютно новым шланговым пакетом, модульная конструкция которого позволяет производить замену компонентов кабельного узла, не смещая сварочную головку по отношению к TCP-точке. Применение съемных мундштуков дает аналогичную возможность при их замене. В свою очередь, это позволяет сократить «сервисные» простои, связанные с необходимостью перепрограммирования роботизированной установки. Усиленная конструкция сварочных горелок **ABIROB[®] W** обеспечивает высокую точность сварочного процесса и стабильность характеристик при продолжительных рабочих нагрузках.

Выше представлена лишь малая часть новых разработок от **ABICOR BINZEL**.

Более подробную информацию всегда можно получить у специалистов

ПИИ ООО «Бинцель Украина ГмбХ» или в сети официальных дистрибьюторов.



ПИИ ООО «Бинцель Украина ГмбХ»
044 – 403 1299, 403 1399, 403 1499
info@binzel.kiev.ua
www.binzel-abicor.com



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-НnX25П4Н3Т, 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.com.ua
www.zn.com.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. Курсановая, 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 стеклондителей» 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.



TBi Industries



**ГОРЕЛКИ
MIG /
MAG
и TIG
СВАРКИ**

**НЕМЕЦКОЕ
КАЧЕСТВО**



ПРЕДСТАВИТЕЛЬ В УКРАИНЕ - ЗАВОД ДОНМЕТ

Краматорск Тел. (06264) 5-77-13, 4-26-85 E-mail: svarka@donmet.com.ua <http://www.donmet.com.ua>



Программы профессиональной подготовки на 2010 г.

Шифр курса	Наименование программы		Продолжительность	Сроки проведения	
1. Повышение квалификации инженерно-технических работников (с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций в т.ч. подведомственных государственным надзорным органам)					
101	Техническое руководство сварочными работами на объектах, за которыми осуществляется государственный надзор	подготовка и аттестация	3 недели (112 ч)	февраль	
102		перееаттестация	18 ч	февраль, март, июнь, ноябрь	
103	Техническое руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полиэтиленовых труб	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	апрель, октябрь	
104		перееаттестация	1 неделя (32 ч)	февраль, май, ноябрь	
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)		3 недели (112 ч)	декабрь	
106	Аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков – экспертов УАКС (экзамен, расширение области аттестации)		8 ч	по согласованию с заказчиком и УАКС	
108	Подготовка членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	октябрь	
109		специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (74 ч)	ежеквартально	
110		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (74 ч)	ноябрь	
111	Аттестация членов комиссий по аттестации сварщиков – специалистов технологических служб по сварке (экзамен, расширение области аттестации)		6 ч	по согласованию с заказчиком	
113	Подтверждение полномочий председателей комиссий - экспертов УАКС:	со стажем 3 года	16 ч	декабрь	
114		со стажем 6 лет	32 ч	июнь, октябрь	
115		со стажем 9 лет	22 ч	май, ноябрь	
170		со стажем 12 лет	20 ч	январь, апрель, июль, сентябрь	
116	Подтверждение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб по сварке:	со стажем 3 года	16 ч	март
117			со стажем 6 лет	32 ч	июнь
118			со стажем 9 лет	22 ч	май, ноябрь
171			со стажем 12 лет	20 ч	март, сентябрь
147			специалистов по техническому контролю	8 ч	ежеквартально
164	специалистов по техническому контролю (включая спец. подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)		37 ч		
119			28 ч		
120			специалистов по охране труда	16 ч	апрель, сентябрь, ноябрь
121	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки с присвоением квалификации:	Международный инженер по сварке	438 ч (120 ч ¹)	апрель, ноябрь	
122		Международный технолог по сварке	338 ч (100 ч ¹)		
123		Международный специалист по сварке	227 ч (70 ч ¹)		
124		Международный практик по сварке	140 ч (32 ч ¹)	по мере поступления заявок	
126		Международный инспектор по сварке	полного уровня		227 ч
128			стандартного уровня		166 ч
125			базового уровня		113 ч
131	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком	
132	Производство сварочных электродов: организация, технологии и системы управления качеством		3 недели (112 ч)		
133	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)	аттестация	2 недели (72 ч)		
134		перееаттестация	22 ч		
135	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта		2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок	
136	Металлографические исследования металлов и сварных соединений	аттестация	2 недели (72 ч)	январь	
137		перееаттестация	22 ч	май, октябрь	
138	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений	повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	июль	
139		перееаттестация	20 ч	март, апрель, май	
140	Эмиссионный спектральный анализ (стилюскопирование) металлов и сплавов	аттестация	2 недели (74 ч)	декабрь	
141		перееаттестация	22 ч	январь, июль	

142	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей методами наплавки	70 ч	по согласованию с заказчиком
152	Повышение квалификации специалистов по неразрушающему контролю	2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок
Тематические семинары (возможно проведение на территории заказчика)			
143	Состояние нормативно-технической документации в области сварочного производства, тенденции и перспективы	1-2 дня	июнь, сентябрь
144	Современное сварочное оборудование на рынке Украины	1 день	ежеквартально
145	Новые технологии профессиональной подготовки сварщиков и дефектоскопистов		
150	Основы сварки и сварочного производства, классификация сварочных и основных материалов для консультантов торговых фирм.	2 дня	по согласованию с заказчиком
151	Современное оборудование и состояние нормативной документации в области сварки труб из термoplastов	1-2 дня	
2. Подготовка и повышение квалификации педагогических работников системы профессионально-технического образования в области сварки			
203	Повышение квалификации мастеров производственного обучения по использованию модульных технологий в обучении сварщиков	3 недели (112 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
204	Повышение квалификации преподавателей профессионального обучения по использованию модульных технологий в обучении сварщиков	2 недели (72 ч)	
205	Повышение квалификации мастеров (инструкторов) производственного обучения по сварке	5 недель (186 ч)	
206	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин профессионально-технических учебных заведений по направлению «Сварка»	3 недели (112 ч)	
3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала в области сварки и родственных технологий (с присвоением квалификации в соответствии с национальными и международными требованиями)			
Курсовая подготовка сварщиков:			
301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	9 недель (352 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	5 недель (192 ч)	
303	газовой сварки	3 недели (116 ч)	
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	3 недели (112 ч)	
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	
306	автоматической дуговой сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	март, ноябрь
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)	5 недель (196 ч)	февраль, июнь, октябрь
310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	5–12 недель ²	по согласованию с заказчиком
315	Специальная подготовка по технологии и оборудованию контактной сварки арматуры	2 недели (72 ч)	
Курсовая переподготовка сварщиков:			
316	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	152 / 76 ч ³	постоянно, по согласованию с заказчиком
318	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	76 / 112 ч ³	
320	газовой сварки	76 ч	
321	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	72 ч	
323	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	76 ч	
325	автоматической дуговой сварки под флюсом	76 ч	
327	электрошлаковой сварки	76 ч	
Повышение квалификации сварщиков:			
330	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 недели (72 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
331	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 недели (72 ч)	
332	газовой сварки	2 недели (72 ч)	
333	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	2 недели (72 ч)	
334	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	2 недели (72 ч)	
335	автоматической дуговой сварки под флюсом	2 недели (72 ч)	
336	электрошлаковой сварки	2 недели (72 ч)	
339	Повышение квалификации газосварщиков (газовая пайка цветных металлов)	2 недели (72 ч)	

Курсовая подготовка дефектоскопистов:

340	ультразвукового контроля		196 ч	по согласованию с заказчиком	
341	рентгеновского и гамма контроля		188 ч		
342	магнитного контроля		180 ч		
343	контролеров неразрушающего контроля		160 ч		
Целевая курсовая подготовка дефектоскопистов для железнодорожного транспорта:					
352	магнитного контроля		120 ч	по согласованию с заказчиком	
355	ультразвукового контроля		160 ч		
358	Специальная подготовка и аттестация согласно РД 07-09-97		76 ч		
Другие профессии					
367	Подготовка газорезчиков	газовой резки	3 недели (112 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком	
368		ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)		
369	Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы	электродуговым напылением	3 недели (112 ч)		
370		газопламенным напылением	3 недели (112 ч)		
371		детонационным напылением	3 недели (112 ч)		
372		плазменным напылением	3 недели (112 ч)		
373	Переподготовка по профессии «Плавильщик металлов»		2 недели (72 ч)		
4. Аттестация персонала сварочного производства					
401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, правилами Госгорпромнадзор (НПАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		152 ч ⁴	постоянно, по согласованию с заказчиком	
402			72 ч ⁴		
403	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно НПАОП 0.00-1.16-96		24 ч		
404	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госгорпромнадзор (НПАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч		
405	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287-1)		3 недели (112 ч)		
406			2 недели (72 ч)		
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287-1)		32 ч		
408	Специальная подготовка и аттестация операторов автоматических установок дуговой сварки плавлением / наладчиков контактной сварки в соответствии с стандартом ДСТУ ISO 14732		2 недели (72 ч)		
409	Специальная подготовка и аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		3 недели (112 ч)		
410	Периодическая аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч		
413	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		проводится по окончании курса 309		
414	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		32 ч	январь, март, апрель, июнь, сентябрь, декабрь	
415	Специальная подготовка дефектоскопистов к сертификации согласно НПАОП 0.00-6.14-97	ультразвуковой контроль	24 ч ⁵	ежемесячно	
416			60 / 70 / 140 ч ⁵	по согласованию с заказчиком	
419		радиационный контроль	24 ч ⁵	ежемесячно	
420			60 / 70 / 140 ч ⁵	по согласованию с заказчиком	
423			магнитный контроль		24 / 60 / 110 ч ⁵
426			капиллярный контроль		24 / 60 / 110 ч ⁵
428			визуально-оптический контроль		24 / 30 / 70 ч ⁵
430	Специальная подготовка и перееаттестация дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		36 ч	по согласованию с заказчиком	
431	Специальная подготовка и перееаттестация дефектоскопистов 2-го и 3-го разрядов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		160 ч		
433	Специальная подготовка и аттестация специалистов по контролю качества защитных покрытий	аттестация	2 недели (72 ч)		
434		перееаттестация	32 ч		
	Профессиональное тестирование сварщиков дуговой сварки		4-8 ч	постоянно	

¹ - Обучение по короткой программе (для специалистов сварочного производства со стажем работы на соответствующей должности не менее 3-х лет).

² - Продолжительность обучения зависит от специализации и требуемого уровня квалификации.

³ - Длительность программы определяется по результатам входного тестирования.

⁴ - Продолжительность подготовки устанавливается аттестационной комиссией.

⁵ - Продолжительность обучения указывается в направлении ОСП (орган по сертификации персонала).

По просьбе заказчиков возможно проведение обучения по другим программам, не вошедшим в данный перечень. На период обучения слушателям предоставляется жилье с оплатой за наличный расчет. Стоимость обучения определяется при заключении договора. Для приема на обучение необходимо направить заявку с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовых реквизитов предприятия.

Украина, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11 Тел. (44) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09,
Факс (44) 456-48-94; E-mail: paton_muac@ukr.net, http: www.paton-tc.kiev.ua

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ за 2009 г.

ПЕРЕДОВИЦЫ

25 лет сварке в открытом космосе. Б. Е. Патон № 7
 50 лет кафедре сварочного производства НУК им. Адмирала Макарова № 8
 50 лет сварке взрывом
 75 лет Институту электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины № 9
 Уважаемые читатели!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

АЛАПАТИ Р., ДВИВЕДИ Д. К. Структура и твердость металла сварных соединений алюминий-медного сплава № 4

БЕСШАПОШНИКОВ Ю. П., КОЖЕВНИКОВ В. Е., ЧЕРНУХИН В. И., ПАЙ В. В. О влиянии ударной волны на увеличение сварочного зазора при получении крупногабаритных листовых композитов сваркой взрывом № 11

БОНДАРЕНКО С. Ю., РИХТЕР Д. В., ПЕРВУХИНА О. Л., ПЕРВУХИН Л. Б. Определение параметров ударно-сжатого газа в сварочном зазоре впереди точки контакта при плакировании взрывом № 11

БОНДАРЬ М. П. Влияние механизма деформации в зоне соударения пар материалов на выбор оптимальных параметров сварки взрывом № 11

ГЕЦКИН О. Б., ЕРОФЕЕВ В. А., ПОЛОСКОВ С. И. Моделирование процесса переноса электродного металла при сварке с короткими замыканиями № 2

ГОРБАНЬ В. Ф., ХАРЧЕНКО Г. К., ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., ПЕТРУШИНЕЦ Л. В. Исследование соединений алюминидов титана с титановым сплавом, полученных диффузионной сваркой № 12

ДОБРУШИН Л. Д., ФАДЕЕНКО Ю. И., ИЛЛАРИОНОВ С. Ю., ШЛЕНСКИЙ П. С. Канальный эффект при сварке взрывом № 11

КВАСНИЦКИЙ В. Ф., МАТВИЕНКО М. В., ЕРМОЛАЕВ Г. В., ЛАБАРТКАВА А. В., КУЗНЕЦОВ В. Д. Роль соотношения размеров цилиндрических деталей из разнородных материалов на их напряженно-деформированное состояние при диффузионной сварке № 8

КОРЖ В. Н., ПОПИЛЬ Ю. С. Особенности использования водородно-кислородного пламени при газопламенной обработке металлов № 5

КРИВЦУН И. В., ХАРЛАМОВ М. Ю., ПЕТРОВ С. В., МАРИНСКИЙ Г. С., КОРЖИК В. Н., ЧЕРНЕЦ А. В. Численный анализ характеристик дуговой плазмы в паровоздушных плазматронах с тугоплавким катодом № 10

КУРЕНКОВА В. В., ДОРОШЕНКО Л. К., МАЛАШЕНКО И. С. Особенности кристаллизации комплекснолегированных припоев для высокотемпературной пайки жаропрочных никелевых сплавов № 6

КУЧУК-ЯЦЕНКО В. С., ШВЕЦ В. И., САХАЦКИЙ А. Г., НАКОНЕЧНЫЙ А. А. Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминий-титановых фольг № 3

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ЗЯХОР И. В., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., РОЗЫНКА Г. Ф. Расчетная оценка термомеханических условий формирования соединений жаропрочного сплава ЭИ698ВД при сварке трением № 7

ЛАБУР Т. М., ТАРАНОВА Т. Г., ГРИГОРЕНКО Г. М., КОСТИН В. А. Влияние термических условий сварки на особенности зарождения трещин в ЗТВ соединений алюминиевых сплавов В96 и В96Цс № 4

ЛАЗОРЕНКО Я. П., ШАПОВАЛОВ Е. В., МЕЛЬНИК Е. С., ЛУЦЕНКО Н. Ф., ДОЛИНЕНКО В. В. Эффективность методов автоматического распознавания отпечатков электрода при точечной сварке трехслойных сотовых конструкций № 2

ЛАНКИН Ю. Н., БОНДАРЕВ А. А., ДОВГОДЬКО Е. И., ДЬЯЧЕНКО В. А. Система управления разверткой пучка при электронно-лучевой сварке № 9

ЛАНКИН Ю. Н., СУШИЙ Л. Ф., ШУЛЫМ В. Ф. Система управления током пучка прямоканальной электронно-лучевой сварочной пушки № 10

ЛЕБЕДЕВ Ю. М. Влияние сварочного и послесварочного нагрева на структурные превращения и свойства ЗТВ сварных соединений закаляющихся сталей № 8

ЛЫСАК В. И., КУЗЬМИН С. В. Развитие представлений о нижней границе сварки металлов взрывом № 11

МАКСИМОВА С. В. Формирование паяных соединений алюминидов титана № 3

МАРКАШОВА Л. И., ГРИГОРЕНКО Г. М., ПОЗНЯКОВ В. Д., БЕРДНИКОВА Е. Н., АЛЕКСЕЕНКО Т. А. Влияние термических циклов сварки и внешнего нагружения на структурно-фазовые изменения и свойства соединений стали 17Х2М № 7

МАХНЕНКО В. И., КВАСНИЦКИЙ В. В. Диффузионная сварка разнородных материалов с регулированием напряженно-деформированного состояния № 8

МАХНЕНКО В. И., КВАСНИЦКИЙ В. В. Напряженно-деформированное состояние узлов цилиндрической формы при диффузионной сварке № 2

МАХНЕНКО В. И., КВАСНИЦКИЙ В. В. Особенности формирования напряженно-деформированного состояния соединений разнородных материалов, полученных диффузионной сваркой № 8

МАХНЕНКО В. И., ПОЗНЯКОВ В. Д., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., МАХНЕНКО О. В., РОЗЫНКА Г. Ф., ПИВТОРАК Н. И. Риск образования холодных трещин при сварке конструкционных высокопрочных сталей № 12

МАХНЕНКО В. И., РОМАНОВА И. Ю. Расчетное прогнозирование роста усталостных трещин в несущих сварных конструкциях при случайном спектре циклического нагружения № 6

МАХНЕНКО В. И., ШЕКЕРА В. М., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., ОЛЕЙНИК О. И., РОЗЫНКА Г. Ф., ПИВТОРАК Н. И. Анализ условий возникновения и развития коррозионных трещин в зоне кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов № 5

МАХНЕНКО О. В., МУЖИЧЕНКО А. Ф., ЗАЙФФАРТ П. Применение математического моделирования при термической правке судостроительных панелей № 1

МОСКОВИЧ Г. Н. Особенности расчета инверторов тока № 9

НАЙДИЧ Ю. В., СИДОРЕНКО Т. В., ДУРОВ А. В. Пайка сегнетозлектрической керамики в воздушной среде и чистом кислороде № 1

НЕСТЕРЕНКО Н. П., СЕНЧЕНКОВ И. К., ЧЕРВИНКО О. П., МЕНЖЕРЕС М. Г. Моделирование температурных полей и напряжений в полиэтиленовых трубах при сварке нагретым инструментом № 2

НЕСТЕРЕНКОВ В. М., ПРОТОСЕЙ Н. Е., АРХАНГЕЛЬСКИЙ Ю. А. Технологические особенности электронно-лучевой сварки буровых долот № 5

НИКОНОВА Е. С., КОРАБ Н. Г., КОНДРАТЕНКО В. Ю. Напряженно-деформированное состояние сварных соединений труб из полимеров, выполненных способом стыковой сварки под углом № 5

НОСОВ Д. Г., РАЗМЫШЛЯЕВ А. Д. Эффективность применения комбинированных магнитных полей при дуговой наплавке под флюсом № 4

ПАЩЕНКО В. Н. Влияние состава плазмообразующей воздушногазовой смеси на параметры струи плазматрона № 4

ПЕРВУХИНА О. Л., ПЕРВУХИН Л. Б., БЕРДЫЧЕНКО А. А., ДОБРУШИН Л. Д., ПЕТУШКОВ В. Г., ФАДЕЕНКО Ю. И. Особенности сварки взрывом стали с титаном в защитной атмосфере № 11

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., ПЕНТЕГОВ И. В., СТЕМКОВСКИЙ Е. П., ШЕЙКОВСКИЙ Д. А., КИСЛИЦЫН В. М., ЛАВРЕНЮК А. В. Уточненный метод расчета режимов магнитно-импульсной сварки № 1

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ЧАЙКА А. А., КЛОЧКОВ И. Н., ЯВОРСКАЯ М. Р. Прочность и структура сварных соединений алюминиевых сплавов, полученных трением с перемешиванием и сваркой неплавящимся электродом № 9

РАЗМЫШЛЯЕВ А.Д., МИРОНОВА М.В. Расчет параметров продольного магнитного поля, обеспечивающих удаление капли с торца электрода, при дуговой наплавке № 7

РЯБЦЕВ И. А., КОНДРАТЬЕВ И. А., ГАДЗЫРА Н. Ф., ДАВИДЧУК Н. К., БОГАЙЧУК И. Л., ГОРДАНЬ Г. Н. Влияние ультрадисперсных карбидов в порошковых проволоках на свойства теплоустойчивого наплавленного металла № 6

РЯБЦЕВ И. А., ЧЕРНЯК Я. П., РЯБЦЕВ И. И., ЖДАНОВ В. А., БОГАЙЧУК И. Л. Структура и износостойкость наплавленного металла 20Х5М2ФС, легированного серой и фосфором № 10

РЯБЦЕВ И. И., КОНДРАТЬЕВ И. А., КОСТИН В. А., НОВИКОВА Д. П., БОГАЙЧУК И. Л., БАБИНЕЦ А. А. Структура фосфорсодержащего наплавленного металла типа инструментальных сталей № 4

САБОКАРЬ В. К., АХОНИН С. В., ПЕТРИЧЕНКО И. К., ЯСИНСКИЙ А. В. Прессовая сварка алюминидов титана с другими титановыми сплавами № 12

СИЛЬЧЕНКО Т. Ш., КУЗЬМИН С. В., ЛЫСАК В. И., ДОЛГИЙ Ю. Г. Особенности нестационарности процесса плакирования взрывом крупногабаритных заготовок № 11

СКУЛЬСКИЙ В. Ю. Выбор тепловых режимов сварки закаливающихся сталей разных структурных классов № 6

СКУЛЬСКИЙ В. Ю. Особенности кинетики замедленного разрушения сварных соединений закаливающихся сталей № 7

СКУЛЬСКИЙ В. Ю. Термокинетические особенности образования холодных трещин в сварных соединениях закаливающихся теплоустойчивых сталей № 3

СКУЛЬСКИЙ В. Ю., ЦАРЮК А. К., МОРАВЕЦКИЙ С. И. Оценка склонности сварных соединений теплоустойчивой хромистой мартенситной стали к образованию трещин при термической обработке № 1

СМИРНОВ Г. В., ШУГАНОВ А. Д., СТЕФАНОВИЧ Р. В., ЯДЕВИЧ А. И., ПЕТРОВ И. В., КОМОРНЫЙ А. А., КОНОПЛЯНИК В. А., ЛУЧЕНОК А. Р., ТОЛОШНЫЙ А. А., БОГДАНОВИЧ П. Т., ДЗИЧКОВСКИЙ О. А. Моделирование и применение высокоскоростных процессов сварки материалов взрывом № 11

УСТИНОВ А. И., МАТВИЕНКО Я. И., ПОЛИЩУК С. С., ШИШКИН А. Е. Исследование фазовых превращений и пластической деформации при непрерывном нагреве многослойной фольги Al/Cu № 10

УСТИНОВ А. И., ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., ИЩЕНКО А. Я., ХАРЧЕНКО Г. К., МЕЛЬНИЧЕНКО Т. В., МУРАВЕЙНИК А. Н. Получение неразъемных соединений сплавов на основе γ -TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме № 1

ЧИГАРЕВ В. В., ЩЕТИНИНА В. И., ЩЕТИНИН С. В., СТЕПНОВ К. К., ЗАВАРИКА Н. Г., ФЕДУН В. И. Повышение трещиностойкости бандажированных опорных валков при высокоскоростной наплавке № 1

ШЛЕПАКОВ В. Н., НАУМЕЙКО С. М. Особенности десульфурации металла шва при сварке порошковой проволокой № 2

ШОНИН В. А., МАШИН В. С., МУРАШОВ А. П., ЗЕЛЕНИН В. И., ДЕМЬЯНОВ И. А., ПАШУЛЯ М. П., ТЕПЛОК В. М. Роль защитного покрытия в сварных соединениях алюминиевого сплава на сопротивление усталости № 3

ШУБА И. В. Механическое воздействие газового потока на поверхность стенок канала проплавления при газолазерной резке № 10

ЮЩЕНКО К. А., ЗАДЕРИЙ Б. А., ЗВЯГИНЦЕВА А. В., САВЧЕНКО В. С., ГАХ И. С., КАРАСЕВСКАЯ О. П. Особенности

структуры металла торцевых наплавов монокристаллических лопаток из никелевых суперсплавов № 8

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

БАРВИНКО А. Ю. Оценка остаточного ресурса сварных соединений вертикальной стенки резервуаров после 20–25 лет эксплуатации № 5

БАРВИНКО А. Ю., БАРВИНКО Ю. П., ГОЛИНЬКО В. М. К шестидесятилетию промышленного применения технологии изготовления цилиндрических резервуаров из рулонных заготовок № 2

БАХ Ф.-В., БЕНЬЯШ А., ЛАУ К., КОНЬЯ Р. Вневакуумная электронно-лучевая сварка конструкционных сталей № 5

БЕЛОУС В. Ю. ТИГ-сварка толстолистового титана с применением формирующей подкладки № 10

БЕРНАДСКИЙ В. Н., МАКОВЕЦКАЯ О. К. Сварочное производство Японии на современном этапе № 6

БОГУНОВ А. З., КУЗОВНИКОВ А. А. Получение биметалла алюминий–сталь с профилированной контактной границей № 11

БУТ В. С., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., ОЛЕЙНИК О. И. Особенности применения разрезных тройников при ремонте и реконструкции магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации № 9

БЭНКЕР Дж. Г. Промышленное применение сварки взрывом (Обзор) № 11

ВЕРЕЩАГО Е. Н., КОСТЮЧЕНКО В. И. Системы электропитания на базе резонансных инверторов № 8

ВОРОНЧУК А. П. Влияние концентрации твердых частиц на газообразивную износостойкость композиционного сплава № 8

Г ОЛОВКО В. В., ГОНЧАРОВ И. А. Методика оценки стойкости гранул сварочных флюсов против разрушения № 7

ГРЕНЁВЕЛЬД Х. Д. Применение фотограмметрии в технологиях штамповки взрывом № 11

ДЕГТЯРЕВ В. А., ШУЛЬГИНОВ Б. С., КНЫШ В. В. Деформационный критерий эффективности упрочнения сварных соединений высокочастотной механической проковкой № 10

ДЗЫКОВИЧ В. И. Влияние процесса термоцентробежного распыления на свойства сферических частиц карбидов вольфрама № 4

ДРАГАН С. В., ЯРОС Ю. А., ЯРОС А. А. Технология автоматической сварки и наплавки под флюсом током малой плотности № 8

ЗЕЛЕНИН В. И., КАВУНЕНКО П. М., ТИСЕНКОВ В. В., ТЕПЛОК В. М., ПОЛЕЩУК М. А., ЛЕБЕДЬ В. Д., ЛИПИСИЙ В. И., БОНДАРЕВ С. В., ГАВРИЛОВ С. А., ОЛЬГАРД Н. Т., ЧЕБУРОВ С. А. Применение плазменно-дуговой металлизации для восстановления осей колесных пар грузовых вагонов № 12

ИЛЛАРИОНОВ С. Ю., ДОБРУШИН Л. Д., ФАДЕЕНКО Ю. И. Новая технология получения соединений высокопрочных алюминиевых сплавов сваркой взрывом № 11

ИЛЮШЕНКО В. М., БУТАКОВ Г. А., ГАНЧУК А. В., ОСТАПЧЕНКО В. А., ГОРЯЙНОВ Н. А. Сравнительные испытания сварочно-технологических свойств инверторных и тиристорных источников питания № 4

ИЩЕНКО А. Я., ХОХЛОВА Ю. А. Оценка механических свойств микроструктурных объектов сварных соединений № 1

КА П., МАРТИКАЙНИНЕН Дж., ДЖЕРСТРОМ П., УУСИТАЛО Дж. Влияние точности сборки на качество угловых соединений при сварке короткой дугой № 5

КАРТОН Э., СТУИВИНГА М. Сварка взрывом элементов конструкций Международного термоядерного экспериментального реактора № 11

КВАСНИЦКИЙ В. Ф., БУГАЕНКО Б. В., ГОЛОБОРОДЬКО Ж. Г., ИЛЮШЕНКО В. М., РОМАНЧУК Н. П., СОЛОНИЧЕНКО Ю. В., ШАМРАЙ А. Н. Состояние сварочного производства на судостроительных заводах Украины № 8

КНЫШ В. В., КУЗЬМЕНКО А. З., СОЛОВЕЙ С. А. Повышение циклической долговечности сварных тавровых соединений с поверхностными трещинами № 1

КОРАБ Н. Г., КАБЫШ С. В., КОСТЕНКО А. В. Получение неразъемных соединений труб из структурированного полиэтилена № 6

КОСТИН А. М. Опыт эффективной организации подготовки специалистов сварочного производства для судостроения № 8

ЛИТВИНОВ А. П. Направления развития комбинированных и гибридных технологий сварки и наплавки № 1

ЛИТВИНОВ А. П. Развитие сварки в инертных газах (Обзор) № 3

ЛИТВИНОВ А. П., ДЕРЛОМЕНКО В. В. Свариваемость и работоспособность сварных соединений № 9

ЛОБАНОВ Л. М., ДОБРУШИН Л. Д., БРЫЗГАЛИН А. Г., ИЛЛАРИОНОВ С. Ю., ШЛЕНСКИЙ П. С., ВОЛГИН Л. А., ЛАШКЕВИЧ В. Г., ГРАБАР Е. В. Расширение технологических возможностей обработки взрывом для снижения остаточных напряжений в сварных соединениях декомпозеров объемом до 5000 м³ № 11

ЛОБАНОВ Л. М., ТИМОШЕНКО А. Н., ГОНЧАРОВ П. В. Дуговая точечная сварка нахлесточных соединений в вертикальном положении № 1

МАЛИНОВ Л. С., МАЛИНОВ В. Л., ОРЛОВ Л. Н., ГОЛЯКЕВИЧ А. А. Новая порошковая проволока, обеспечивающая эффект деформационного упрочнения наплавленного металла при эксплуатации № 5

МЕЩЕРЯКОВ Ю. П., ОГОЛИХИН В. М., ЯКОВЛЕВ И. В. Возможность сохранения формы и размеров цилиндрических трубных заготовок кристаллизаторов при плакировании взрывом № 11

НАЗАРЕНКО О. К. 50 лет электронно-лучевой сварке в ИЭС им. Е. О. Патона № 9

ОРЫЩЕНКО А. С., ОСОКИН Е. П., ПАВЛОВА В. И., ЗЫКОВ С. А. Биметаллические сталеалюминиевые соединения в судостроительных корпусных конструкциях № 10

ПАТОН Б. Е., ШЕЛЯГИН В. Д., АХОНИН С. В., ХАСКИН В. Ю., ТОПОЛЬСКИЙ В. Ф., ПЕТРИЧЕНКО И. К., БЕРНАЦКИЙ А. В., МИЩЕНКО Р. Н., СИОРА А. В. Лазерная сварка титановых сплавов № 10

РАЙЗГЕН У., ОЛЬШОК С. Гибридная лазерно-дуговая сварка под флюсом № 4

Сварка и резка № 12

СИДЛИН З. А. Состояние производства сварочных материалов в России № 2

СИЛЬВЕСТРОВ В. В., ПЛАСТИНИН А. В., РАФЕЙЧИК С. И. Применение эмульсионных взрывчатых веществ для сварки взрывом № 11

СКУЛЬСКИЙ В. Ю., ГАВРИК А. Р. Влияние углерода на фазовый состав металла швов сварных соединений мартенситной стали с 9 % Cr № 2

СТОРЧАЙ Е. И., ГОРБАТСКИЙ Ю. В., ЛАНТУШЕНКО Л. С. Некоторые аспекты технологии высокотемпературной бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов № 9

Технологические ноу-хау № 5

ТИТАРЕНКО В. И., ТКАЧЕНКО О. В., МАТИКО Д. Ю., ПИЛИПКО В. И., МУДРАНИНЕЦ И. Ф., МУДРАНИНЕЦ И. И. Опыт разработки и изготовления сварочно-наплавочных установок № 3

ТРЫКОВ Ю. П., ГУРЕВИЧ Л. М., ШМОРГУН В. Г. Комплексные технологии получения слоистых композиционных материалов многоцелевого назначения № 11

УРАТАНИ Й., ТАКАНО Д., НАЯМА М., ШИМОКУСУ Й. Применение электронно-лучевой сварки в атомной промышленности Японии (Обзор) № 7

ХАСКИН В. Ю. Применение лазерно-дуговой наплавки для заплавления узких полостей в изделиях из алюминиевых сплавов № 2

ЦАРЮК А. К., ИВАНЕНКО В. Д., ВОЛКОВ В. В., ЧЕКАРАМИТ О. И., МАЗУР С. И., ТРОЙНЯК А. А., ВАВИЛОВ А. В., КАНТОР А. Г., ВОЛИЧЕНКО Н. П. Ремонтная сварка корпусных деталей турбин из теплоустойчивых сталей без последующей термобработки № 12

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Управление силовым воздействием манипуляционного робота № 4

ЧАЙКА Н. К. Инверторный источник ускоряющего напряжения для установок электронно-лучевой сварки № 6

ЧИНАХОВ Д. А. Влияние двухструйной газовой защиты на эксплуатационные свойства сварных соединений судостроительной стали GL-E36 № 9

ШАЛОМЕЕВ В. А., ЦИВИРКО Э. И., ПЕТРИК И. А., ЛУКИНОВ В. В. Заварка поверхностных дефектов литья из сплава Мл-10 скандийсодержащим материалом № 3

ШАТАН А. Ф., АНДРИАНОВ А. А., СИДОРЦ В. Н., ЖЕРНОСЕКОВ А. М. Эффективность стабилизации дуги переменного тока при сварке покрытыми электродами № 3

ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю., МАШИН В. С., ПАШУЛЯ М. П., БЕРНАЦКИЙ А. В., СИОРА А. В. Особенности лазерно-дуговой сварки плавящимся электродом высокопрочных алюминиевых сплавов № 12

ЮЩЕНКО К. А., БУЛАТ А. В., ЛЕВЧЕНКО О. Г., БЕЗУШКО О. Н., САМОЙЛЕНКО В. И., ДОВГАЛЬ Д. И., КАХОВСКИЙ Н. Ю. Влияние состава основного металла и электродного покрытия на гигиенические характеристики сварочных аэрозолей № 7

ЯРОВИЦЫН А. В., ЮЩЕНКО К. А., НАКОНЕЧНЫЙ А. А., ПЕТРИК И. А. Особенности малоамперной аргонодуговой и микроплазменной порошковой наплавки на узкую подложку № 6

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Диссертации на соискание ученой степени № 3, 8

ЖУДРА А. П., ВОРОНЧУК А. П., ВЕЛИКИЙ С. И. Оборудование и материалы для износостойкой наплавки листовых футеровочных элементов № 6

ЖУДРА А. П., ВОРОНЧУК А. П., ФОМАКИН А. А., ВЕЛИКИЙ С. И. Новое оборудование и материалы для наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов № 9

Изобретения стран мира № 1

КУСКОВ Ю. М., РЯБЦЕВ И. А., ДЕМЧЕНКО Ю. В., ДЕНИСЕНКО А. М., ДЖАВЕЛИДЗЕ З. З., КБИЛЦЕЦКЛАШВИЛИ Х. Н., ХУЦИШВИЛИ А. А. Наплавочный участок ремонта деталей гидроэнергетического оборудования в АО «Сакэнергоремонти» № 1

ЛАЗОРЕНКО Я. П., КОЛЯДА В. О., ШАПОВАЛОВ Е. В., ЛУЦЕНКО Н. Ф., СКУБА Т. Г. Эффективность применения алгоритмов распознавания валика усиления сварного шва на цифровых изображениях № 7

ЛАНКИН Ю. Н., СУШИЙ Л. Ф. Электропроводность шлаковой ванны при электрошлаковой сварке проволочным электродом № 12

МАКАРЕНКО Н. А., ЧИГАРЕВ В. В., ГРАНОВСКИЙ Н. А., БОГУЦКИЙ А. А., КУЩИЙ А. М. Устройство для поджигания дуги двуханодного плазмотрона № 2

МАХНЕНКО В. И., РОМАНОВА И. Ю. Расчетное прогнозирование долговечности сварных конструкций при двухчастотном спектре циклического нагружения № 10

МУРАШОВ А. П., ДЕМЬЯНОВ И. А., ГРИЩЕНКО А. П., БУРЛАЧЕНКО А. Н., ВИГИЛЯНСКАЯ Н. В. Применение защитного насадка при газотермическом напылении квазикристаллических покрытий № 4

Новости № 1–5, 8, 10, 12
Новые книги № 1, 2, 4–7

ОНАЦКАЯ Н. А., ДЕМИДЕНКО Л. Ю. Электрогидроимпульсная обработка для упрочнения поверхности крестовин из стали 110Г13МЛ № 3

Патенты в области сварочного производства № 2, 3–5
Перечень основных монографий по сварке взрывом № 11
По зарубежным журналам № 1, 2
По страницам журнала «Welding Journal» № 4, 6, 7, 12
По страницам журнала «Welding & Cutting» № 3, 5, 6

ХАРЛАМОВ М. Ю., КРИВЦУН И. В., КОРЖИК В. Н., ПЕТРОВ С. В., ДЕМЬЯНОВ А. И. Уточненная математическая модель электрической дуги в плазмотроне с внешней токоведущей проволокой № 1

ЦЫКУЛЕНКО К. А. О роли контактных сопротивлений в процессе электрошлаковой наплавки № 2

ШАПОВАЛОВ Е. В., КОЛЯДА В. А. Система слежения за расположением шва в установках для нанесения антикоррозионного покрытия № 5

ХРОНИКА

Бернадскому В. Н. — 80 № 2
Выставка «Металлы Сибири: Metallurgy. Машиностроение. Metalloobrabotka. Сварка» в Новосибирске № 5
Данильченко Б. В. — 70 № 4
День науки в ИЭС им. Е. О. Патона № 7
Информация № 1–12
Календарь конференций и выставок в 2009 г. (сварка и родственные технологии) № 1
Кассову В. Д. — 60 № 4
К 25-летию сварки в открытом космосе № 9
К 90-летию со дня рождения Касаткина Б. С. № 11
К 90-летию со дня рождения Стеренбогена Ю. А. № 2
К 100-летию со дня рождения Раевского Г. В. № 8
Международная выставка «Нева-2009» № 10
Международная выставка «Expowelding 2008» и конференция в Сосновце № 2
Международная выставка «Weldex/Россварка» № 12
Международная конференция по лазерным технологиям № 6
Международная конференция «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования» № 12

Международная конференция «High Mat Tech» № 12
Международная научно-практическая конференция в Санкт-Петербурге № 6
Международная научно-техническая конференция «Проблемы сварки, родственных процессов и технологий» № 12
Международный форум по нанотехнологиям № 2
Наши поздравления № 2, 3, 8, 9
Новокрамарскому машиностроительному — 75 № 10
11-я Международная научно-практическая конференция в Санкт-Петербурге № 6
Отечественные агломерированные флюсы для многодуговой сварки № 10
Открытие мемориальных досок № 10
Открытие Российско-Германского центра лазерных технологий № 9
Отраслевое совещание-конференция специалистов «ГАЗПРОМА» № 1
Памяти Дудко Д. А. № 3
Памяти Кащенко Ф. Д. № 11
Памяти Смирнова В. В. № 5
Петраньевские чтения (к 70-летию создания электродов УОНИ-13) № 8
Производители сварочных материалов, имеющие сертификат соответствия в системе УкрСЕПРО, выданный в НТЦ «Сепроз» (по состоянию на 01.01.2008) № 3
V Всеукраинская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии» № 7
Рябцеву И. А. — 70 № 1
Семинар по сварочным технологиям № 12
Семинар-тренинг компании «Helvi» в Киеве № 4
Семинар-форум ПИИ ООО «Бинцель Украина» № 1
Технологический парк «ИЭС им. Е. О. Патона» сегодня № 10
Украинско-белорусское совещание-презентация технологии электросварки живых тканей № 4
Торжественное собрание, посвященное юбилею ИЭС им. Е. О. Патона № 10
Фадеев Ю. И. — 75 № 11
4-я Международная конференция «Сварка и родственные технологии — в третье тысячелетие» № 2
Явдошину И. Р. — 70 № 12

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Алапаты Р. № 4

Алексееенко Т. А. № 7
 Андрианов А. А. № 3
 Архангельский Ю. А. № 5
 Ахонин С. В. № 10, 12

Бабинец А. А. № 4

Барвинко А. Ю. № 2, 5
 Барвинко Ю. П. № 2
 Бах Ф.-В. № 5
 Безушко О. Н. № 7
 Белоус В. Ю. № 10
 Беньяш А. № 5
 Бернадский В. Н. № 6
 Бернацкий А. В. № 10, 12
 Бердникова Е. Н. № 7
 Бердыченко А. А. № 11
 Бешапошников Ю. П. № 11
 Богайчук И. Л. № 4, 6, 10
 Богданович П. Т. № 11
 Богунов А. З. № 11
 Богуцкий А. А. № 2
 Бондарев А. А. № 9
 Бондарев С. В. № 12
 Бондаренко С. Ю. № 11
 Бондарь М. П. № 11
 Брызгалин А. Г. № 11
 Бугаенко Б. В. № 8
 Булат А. В. № 7
 Бурлаченко А. Н. № 4
 Бут В. С. № 9
 Бутаков Г. А. № 4
 Бэнкер Дж. Г. № 11

Вавилов А. В. № 12

Великий С. И. № 6, 9
 Великоиваненко Е. А. № 5, 7, 9, 12
 Верещаго Е. Н. № 8
 Вигилянская Н. В. № 4
 Волгин Л. А. № 11
 Воличенко Н. П. № 12
 Волков В. В. № 12
 Ворончук А. П. № 6, 8, 9

Гаврик А. Р. № 2

Гаврилов С. А. № 12
 Гадзыра Н. Ф. № 6
 Ганчук А. В. № 4
 Гах И. С. № 8
 Гецкин О. Б. № 2
 Голинько В. М. № 2
 Голобородько Ж. Г. № 8
 Головкин В. В. № 7
 Голякевич А. А. № 5
 Гончаров И. А. № 7
 Гончаров П. В. № 1
 Горбань В. Ф. № 12
 Горбатский Ю. В. № 9

Гордань Г. Н. № 6
 Горяинов Н. А. № 4
 Грабар Е. В. № 11
 Грановский Н. А. № 2
 Гренёвельд Х. Д. № 11
 Григоренко Г. М. № 4, 7
 Грищенко А. П. № 4
 Гуревич Л. М. № 11

Давидчук Н. К. № 6

Двиведи Д. К. № 4
 Джавелидзе З. З. № 1
 Джерстром П. № 5
 Дзичковский О. А. № 11
 Дзыкович В. И. № 4
 Дегтярев В. А. № 10
 Демиденко Л. Ю. № 3
 Демченко Ю. В. № 1
 Демьянов И. А. № 1, 3, 4
 Денисенко А. М. № 1
 Дерломенко В. В. № 9
 Добрушин Л. Д. № 11 (4)
 Довгаль Д. И. № 7
 Довгодько Е. И. № 9
 Долгий Ю. Г. № 11
 Долиненко В. В. № 2
 Дорошенко Л. К. № 6
 Драган С. В. № 8
 Дуров А. В. № 1
 Дьяченко В. А. № 9

Ермолаев Г. В. № 8

Ерофеев В. А. № 2

Жданов В. А. № 10

Жерносеков А. М. № 3
 Жудра А. П. № 6, 9

Заварика Н. Г. № 1

Задерий Б. А. № 8
 Зайффарт П. № 1
 Звягинцева А. В. № 8
 Зеленин В. И. № 3, 12
 Зыков С. А. № 10
 Зяхор И. В. № 7

Иваненко В. Д. № 12

Илларионов С. Ю. № 11 (2)
 Илюшенко В. М. № 4, 8
 Ищенко А. Я. № 1

Ка П. № 5

Кабыш С. В. № 6
 Кавуненко П. М. № 12
 Кантор А. Г. № 12
 Карасевская О. П. № 8
 Картон Э. № 11

Каховский Н. Ю. № 7
 Кбилцецклашвили Х. Н. № 1
 Квасницкий В. В. № 2, 8
 Квасницкий В. Ф. № 8 (2)
 Кислицын В. М. № 1
 Клочков И. Н. № 9
 Кныш В. В. № 1, 10
 Кожевников В. Е. № 11
 Коляда В. А. № 5
 Коляда В. О. № 7
 Коморный А. А. № 11
 Кондратенко В. Ю. № 5
 Кондратьев И. А. № 4, 6
 Конопляник В. А. № 11
 Конья Р. № 5
 Кораб Н. Г. № 5, 6
 Корж В. Н. № 5
 Коржик В. Н. № 1, 10
 Костенко А. В. № 6
 Костин А. М. № 8
 Костин В. А. № 4
 Костюченко В. И. № 8
 Кривцун И. В. № 1, 10
 Кузнецов В. Д. № 8
 Кузовников А. А. № 11
 Кузьменко А. З. № 1
 Кузьмин С. В. № 11 (2)
 Куренкова В. В. № 6
 Кусков Ю. М. № 1
 Кучук-Яценко В. С. № 3
 Кучук-Яценко С. И. № 7
 Куций А. М. № 2

Лабарткава А. В. № 8

Лабур Т. М. № 4
 Лавренюк А. В. № 1
 Лазоренко Я. П. № 2, 7
 Ланкин Ю. Н. № 9, 10, 12
 Лантушенко Л. С. № 9
 Лау К. № 5
 Лашкевич В. Г. № 11
 Лебедев Ю. М. № 8
 Лебедь В. Д. № 12
 Левченко О. Г. № 7
 Липисий В. И. № 12
 Литвинов А. П. № 1, 3, 9
 Лобанов Л. М. № 1, 11
 Лукинов В. В. № 3
 Луценко Н. Ф. № 2, 7
 Лученок А. Р. № 11
 Лысак В. И. № 11 (2)

Мазур С. И. № 12

Макаренко Н. А. № 2
 Маковецкая О. К. № 6
 Максимова С. В. № 3
 Малашенко И. С. № 6
 Малинов В. Л. № 5
 Малинов Л. С. № 5
 Маринский Г. С. № 10

Маркашова Л. И. № 7
 Мартикайнинен Дж. № 5
 Матвиенко М. В. № 8
 Матвиенко Я. И. № 10 (2)
 Матико Д. Ю. № 3
 Махненко В. И. № 2, 5, 6, 8 (2), 10, 12
 Махненко О. В. № 1, 12
 Машин В. С. № 3, 12
 Мельник Е. С. № 2
 Мельниченко Т. В. № 1
 Менжерес М. Г. № 2
 Мещеряков Ю. П. № 11
 Миронова М. В. № 7
 Мищенко Р. Н. № 10
 Моравецкий С. И. № 1
 Москович Г. Н. № 9
 Мудранинец И. И. № 3
 Мудранинец И. Ф. № 3
 Мужиченко А. Ф. № 1
 Муравейник А. Н. № 1
 Мурашов А. П. № 3, 4

Назаренко О. К. № 9

Найдич Ю. В. № 1
 Наконечный А. А. № 3, 6
 Наумейко С. М. № 2
 Наяма М. № 7
 Нестеренко Н. П. № 2
 Нестеренков В. М. № 5
 Новикова Д. П. № 4
 Никонова Е. С. № 5
 Носов Д. Г. № 4

Оголихин В. М. № 11

Олейник О. И. № 5, 9
 Ольгард Н. Т. № 12
 Ольшок С. № 4
 Онацкая Н. А. № 3
 Орлов Л. Н. № 5
 Орыщенко А. С. № 10
 Осокин Е. П. № 10
 Остапченко В. А. № 4

Павлова В. И. № 10

Пай В. В. № 11
 Патон Б. Е. № 10
 Пашуля М. П. № 3, 12
 Пашенко В. Н. № 4
 Пентегов И. В. № 1
 Первухин Л. Б. № 11 (2)
 Первухина О. Л. № 11 (2)
 Петрик И. А. № 3, 6
 Петриченко И. К. № 10, 12
 Петров И. В. № 11
 Петров С. В. № 1, 10
 Петрушинец Л. В. № 12
 Петушков В. Г. № 11
 Пивторак Н. И. № 5, 12
 Пилипко В. И. № 3
 Письменный А. С. № 1

Пластинин А. В. № 11
 Позняков В. Д. № 7, 12
 Покляцкий А. Г. № 9
 Полещук М. А. № 12
 Полищук С. С. № 10
 Полосков С. И. № 2
 Попиль Ю. С. № 5
 Протосей Н. Е. № 5

Размышляев А. Д. № 4, 7

Райзген У. № 4
 Рафейчик С. И. № 11
 Рихтер Д. В. № 11
 Розынка Г. Ф. № 5, 7, 12
 Романова И. Ю. № 6, 10
 Романчук Н. П. № 8
 Рябцев И. А. № 1, 6, 10
 Рябцев И. И. № 4, 10

Сабокарь В. К. № 12

Савченко В. С. № 8
 Самойленко В. И. № 7
 Сахацкий А. Г. № 3
 Сенченков И. К. № 2
 Сидоренко Т. В. № 1
 Сидорец В. Н. № 3
 Сидлин З. А. № 2
 Сильвестров В. В. № 11
 Сильченко Т. Ш. № 11
 Сиора А. В. № 10, 12
 Скуба Т. Г. № 7
 Скульский В. Ю. № 1–3, 6, 7
 Смирнов Г. В. № 11
 Соловей С. А. № 1
 Солонищенко Ю. В. № 8
 Стемковский Е. П. № 1
 Степнов К. К. № 1
 Стефанович Р. В. № 11
 Сторчай Е. И. № 9
 Стуивинга М. № 11
 Суший Л. Ф. № 10, 12

Такано Д. № 7

Таранова Т. Г. № 4
 Теплюк В. М. № 3
 Тимошенко А. Н. № 1
 Тисенков В. В. № 12
 Титаренко В. И. № 3
 Ткаченко О. В. № 3
 Толошный А. А. № 11
 Топольский В. Ф. № 10
 Тройняк А. А. № 12
 Трыков Ю. П. № 11

Уратани Й. № 7

Устинов А. И. № 1, 10
 Ууситало Дж. № 5

Фадеев Ю. И. № 11 (2)

Фальченко Ю. В. № 1, 12
 Федун В. И. № 1
 Фомакин А. А. № 9

Харламов М. Ю. № 1, 10

Харченко Г. К. № 1, 12
 Хаскин В. Ю. № 2, 10, 12
 Хохлова Ю. А. № 1
 Хуцишвили А. А. № 1

Царюк А. К. № 1, 12

Цивирко Э. И. № 3
 Цыбульский Г. А. № 4
 Цыкуленко К. А. № 2

Чайка А. А. № 9

Чайка Н. К. № 6
 Чебуров С. А. № 12
 Чекармит О. И. № 12
 Червинко О. П. № 2
 Чернец А. В. № 10
 Черняк Я. П. № 10
 Чернухин В. И. № 11
 Чигарев В. В. № 1, 2
 Чинахов Д. А. № 9

Шаломеев В. А. № 3

Шамрай А. Н. № 8
 Шаповалов Е. В. № 2, 5, 7
 Шатан А. Ф. № 3
 Швец В. И. № 3
 Шейковский Д. А. № 1
 Шекера В. М. № 5
 Шелягин В. Д. № 10, 12
 Шимокусу Й. № 7
 Шишкин А. Е. № 10
 Шленский П. С. № 11
 Шлепаков В. Н. № 2
 Шморгун В. Г. № 11
 Шонин В. А. № 3
 Шуба И. В. № 10
 Шуганов А. Д. № 11
 Шулым В. Ф. № 10
 Шульгинов Б. С. № 10

Щетинин С. В. № 1

Щетинина В. И. № 1

Ющенко К. А. № 6–8

Яворская М. Р. № 9

Ядевич А. И. № 11
 Яковлев И. В. № 11
 Яровицын А. В. № 6
 Ярослав А. А. № 8
 Ярослав Ю. А. № 8
 Ясинский А. В. № 12

ПОДПИСКА — 2010 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
	480 грн.	960 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.

Контактные 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
Ф. И. О. _____

200 г. по

200 г. включительно

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

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

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

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

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

Обложка внутренняя, полноцветная

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

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

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

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

Внутренняя вставка

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

Полноцветная (200×290мм) — 340\$

Полноцветная (200×142мм) — 170\$

Реклама в разделе информации Полноцветная (165×245мм) — 300\$

Полноцветная (165×120мм) — 170\$

Полноцветная (82×120мм) — 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 контактов на сумму, превышающую 1000\$, предусмотрена гибкая система скидок

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290мм

• В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5мм 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 03.12.2009. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,14. Усл.-отт. 9,97. Уч.-изд. л. 10,42 + 2 цв. наклейки. Цена договорная.

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