



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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:
И. С. Баташева, Л. Н. Герасименко,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков,
А. И. Сулима

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001.

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Махненко О. В., Великоиваненко Е. А., Пивторак Н. И. Численное исследование риска образования ламинарных трещин при варке обечаек люков в корпус резервуара вместимостью 75000 м³ 5
Игнатенко А. В. Математическая модель обратимой водородной хрупкости 12
Ахонин С. В., Топольский В. Ф., Петриченко И. К., Вржижевский Э. Л., Мищенко Р. Н. Влияние способа выплавки титановых сплавов на их свариваемость и служебные характеристики 16
Чигарев В. В., Кондрашов К. А., Макаренко Н. А., Грановский Н. А. Нагрев плазменной дугой плоского электрода, аксиально подаваемого в плазмотрон 23

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Кузьменко Г. В., Кузьменко В. Г., Болотов Н. В., Шемет Ю. В. Автоматическая однопроходная электродуговая сварка стальных токоподводов электролизеров для производства алюминия 29
Юценко К. А., Менько Г. Г., Коваленко Д. В., Пестов В. А. Автоматическая аргодуговая сварка для герметизации с отработанным ядерным топливом 33
Корчемный В. В., Скорина Н. В., Аношин В. А. Разработка электродов для сварки и наплавки алюминиевых бронз 38

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Пирумов А. Е., Скачков И. О., Супрун С. А., Максимов С. Ю. Специализированная информационно-измерительная система для мониторинга процесса дуговой сварки 41
Диссертации на соискание ученой степени 43
Патенты в области сварочного производства 45
По зарубежным журналам 46
Новая книга 49

ХРОНИКА

Международная конференция в Крыму по трубопроводному транспорту 50
В Межгосударственном научном совете по сварке и родственным технологиям 52
IV Молодежная конференция «Сварка и родственные технологии» 54
Международная выставка «Судостроение-2007» 55
Сессия Научного совета по новым материалам Международной ассоциации академий наук 56
Международная специализированная выставка «Сварка, резка, наплавка» в Москве 56
Конгресс по термической обработке металлов 59
Лазерные технологии на новом этапе развития 60
Ученые ИЭС им. Е. О. Патона — лауреаты премии Ассоциации сварщиков Грузии 62
Наши поздравления (Ю. С. Борисов, В. Ф. Хорунов, С. И. Притула, Ю. К. Бондаренко) 63
ИНФОРМАЦИЯ 67
Разработано в ИЭС 11, 28, 37, 40

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 8 (652)
August 2007
Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

Yu. S. Borisov, N. M. Voropaj,
V. F. Grabin, A. T. Zelnichenko,
A. Ya. Ishchenko, I. V. Krivtsun,
S. I. Kuchuk-Yatsenko,
Yu. N. Lankin,
V. K. Lebedev (vice-chief ed.),
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
V. I. Makhnenko,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
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. Yushtina

Electron galley:

I. S. Batasheva, L. N. Gerasimenko,
A.I.Sulima, I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Makhnenko O. V., Velikoivanenko E. A., Pivtorak N. I. Numeric investi-
gation of the risk of formation of lamellar cracks in welding of hatch
shells into casings of 75,000 m³ capacity tanks 5
Ignatenko A. V. Mathematical model of reversible hydrogen induced
brittleness 12
*Akhonin S. V., Topolsky V. F., Petrichenko I. K., Vrzhyzhevsky E. L.,
Mishchenko R. N.* Effect of the method used for melting titanium al-
loys on their weldability and service characteristics 16
Chigaryov V. V., Kondrashov K. A., Makarenko N. A., Granovsky N. A.
Plasma arc heating of flat electrode axially fed to the plasmatron 23

INDUSTRIAL

Kuzmenko G. V., Kuzmenko V. G., Bolotov N. V., Shemet Yu. V. Auto-
matic one-pass electric arc welding of steel current conductors in
electrolytic cells for production of aluminium 29
Yushchenko K. A., Monko G. G., Kovalenko D. V., Pestov V. A. Auto-
matic argon-arc welding for sealing of cartridges with nuclear fuel
wastes 33
Korchemny V. V., Skorina N. V., Anoshin V. A. New electrodes for
welding and cladding of aluminium bronzes 38

BRIEF INFORMATION

Pirumov A. E., Skachkov I. O., Suprun S. A., Maksimov S. Yu. Special-
ised information-measurement system to monitor the arc welding
process 41
Theses for scientific degrees 43
Patents in the field of welding production 45
Review of foreign journals 46
New book 49

NEWS

International Conference on Pipeline Transport held in the Crimea 50
At the Inter-State Scientific Council on Welding and Related
Technologies 52
IV International Conference «Welding and Related Technologies» 54
International Exhibition «Ship Building – 2007» 55
Session of the Scientific Council on New Materials at the International
Association of the Academies of Sciences 56
International Specialised Exhibition «Welding, Cutting and Cladding»
held in Moscow 56
Congress on Heat Treatment of Metals 59
Laser Technologies in Welding and Materials Processing 60
Scientists of the E. O. Paton Electric Welding Institute — laureates
of the Prize of Welders of Georgia 62
Our congratulations (Yu. S. Borisov, V. F. Khorunov, S. I. Pritula,
Yu. K. Bondarenko) 63
INFORMATION 67
Developed at PWI 11, 28, 37, 40

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

The Paton
WELDING JOURNAL

**ПОСТОЯННОЕ
СОВЕРШЕНСТВО-
ВАНИЕ ПРОДУКЦИИ**

Постоянное совершенствование продукции, поиск и внедрение передовых технологий, быстрое реагирование на потребности рынка — отличительные черты деятельности ОАО «КЗЭСО».

Сегодня каховские машиностроители предлагают заказчику не только новые образцы электросварочного оборудова-



ния, но и целые производственные линии, в которых воплощены лучшие мировые достижения в этой области.

Так, в этом году ОАО «КЗЭСО» запустило в производство основную номенклатуру сварочного оборудования завода «Электрик» (г. Санкт-Петербург). Это широкий ряд контактно-точечных машин, в том числе автоматизированные линии по изготовлению высококачественной сварной сетки.

Закончились пусконаладочные работы и уже готовится к отправке в ЗАО «МЕТРАКС» (г. Москва) первая такая линия, изготовленная благодаря усилиям российских (ЗАО «НПО «Электрик») и украинских (КЗЭСО) конструкторов. Она представляет собой совершенно новую конструкцию линии, в которой есть все, что необходимо заказчику. В отличие от своих аналогов она компактна и удобна в обслуживании. Специально для нее конструкторами спроектирована новая система управления, которая отвечает всем современным требованиям.

**ООО «ФРОНИУС
УКРАИНА»
ПРЕДЛАГАЕТ**

Возрастающие требования украинских потребителей к сварочным технологиям и оборудованию выдвигают новые требования к производителям сварочной техники.

Следуя им, ООО «Фрониус Украина» провело в течение 2006--2007 г. коренное техническое переоснащение производственной базы совместно с внедрением системы управления производством «KANBAN». Эти шаги дали возможность не только гарантировать на высочайшем уровне качество изготовления продукции, но и сократить сроки поставки продукции до 3-5 дней.

Серийное производство полуавтоматов новой генерации типа ВАРИОСИНЕРЖИК и ВАРИОСТАР стало очередным последовательным шагом по продвижению на украинский рынок недорогого, высокотехнологичного и простого в обращении оборудования МИГ/МАГ.

Взвешенное соотношение цены с технологическими возможностями — главное преимущество этой серии.

Новая генерация оборудования, сохранив за собой лучшие свойства предшественников (надежность и экономичность), направлена на улучшение сварочно-технологических показателей и удобства использования.

Благодаря интегрированной помощи в настройке и дроссельной регулировке улучшены сварочные характеристики при сварке CO₂.



Минимальный интервал мощности между моделями (250А-310А-340А-400А-500А) предоставляет потребителю возможность значительной экономии инвестиционных средств на покупку, подбирая необходимую по мощности модель.

Встроенный режим «Synergic» имеет для всех вариантов применения соответствующую программу с подобранными параметрами для сварки, низколегированной и высоколегированной стали, алюминиевых сплавов, с использованием проволок диаметром 0,8, 0,9, 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 мм, защитных газов CO₂, Ar и их смеси и специальных порошковых проволок.

Предварительно выбирается толщина листа и присадочный материал. Все остальные параметры (ток, напряжение, мощность плавления) аппарат устанавливает сам. В результате достигается высокое качество сварки.

Четырехроликковый механизм подачи проволоки VR 3300 в специальном исполнении закрытого типа имеет облегченный алюминиевый корпус (13 кг) и предназначен для использования в самых жестких условиях эксплуатации.

Новый дизайн корпуса механизма защищает элементы управления от механических повреждений. Аппараты также





комплектуется механизмом подачи VR 3000 открытого типа с возможностью более простой и быстрой замены бобины с проволокой. При работе в особо стесненных условиях и для стабильной подачи трудноподаваемых Al и CrNi проволок на расстояние более 5 м аппараты комплектуются горелкой Pull-Mig «Тяни/Толкай» со встроенным механизмом подачи проволоки.

Для удобной работы и обеспечения плавного поворота механизма подачи VR 3000 и VR 3300 используется поворотное устройство.

Все аппараты типа ВАРИО-ОСТАР и ВАРИОСИНЕРЖИК имеют возможность комплек-



тации консолью Human, которая с помощью газового цилиндра компенсирует вес шлангпакета горелки и таким образом до минимума снижает опасность его повреждения и облегчает работу сварщику.

Изоляция проволоочной катушки предотвращает контакт на корпус аппарата при использовании катушек с металлическим каркасом для проволоки.

За счет плавной регулировки начальной скорости подачи проволоки при старте улучшены свойства поджига.

Для удобного перемещения с помощью шлангпакетов длиной до 30 м механизм подачи может устанавливаться на тележку «Caddie». Промежуточный механизм VR 143 используется для подачи проволоки на большие расстояния.

KEMPPI ArcFeed – ОТ СВАРКИ MMA К MIG/MAG

Компания Kemppi выпустила новый механизм подачи проволоки, в котором используется технология считывания напряжения. Его основное преимущество – возможность расширения использования существующих источников питания при переходе к более производительному способу сварки MIG/MAG с минимальными затратами. Это особенно касается источников питания, используемых для ручной дуговой сварки (MMA).

В механизме подачи проволоки с технологией считывания напряжения для выработки энергии, необходимой для управления процессом подачи проволоки, используется сварочная дуга. Перед началом сварки необходимо просто выбрать нужные параметры для механизма подачи проволоки и источника питания в

соответствии с требованиями к сварке, а также вид материала изделия и сварочного материала. Уже в начале сварки механизм подачи проволоки обеспечивает регулирование параметров для получения высокого качества сварного соединения.

При обычной сварке MIG/MAG значения параметров контролируются посредством источника питания через кабель управления, но с технологией считывания напряжения использование этого кабеля между источником питания и механизмом подачи проволоки необязательно. Комплект сварочного оборудования без кабеля управления можно легко перемещать по рабочей площадке, при этом нет необходимости соблюдать повышенную осторожность во избежание повреждений. Это большое преимущество, например, для судостроительных заводов, промышленных и строительных объектов, где особенно важна мобильность.

В связи с тем, что механизму подачи проволоки с технологией считывания напряжения не требуется управляющий сигнал от источника питания, его можно использовать с другими источниками питания любых марок, которые не обязательно должны иметь сложные параметры управления.

Механизм подачи проволоки может использоваться с источниками питания постоянного тока и постоянного напряжения, т. е. его можно подключать к источникам питания обоих типов. Сварка MIG/MAG обычно производится при подключении к источникам питания неизменного постоянного напряжения – в режиме, который обеспечивает оптимальную характеристическую кривую для этого процесса.



УДК 621.791:669.71

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКА ОБРАЗОВАНИЯ ЛАМЕЛЯРНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ВВАРКЕ ОБЕЧАЕК ЛЮКОВ В КОРПУС РЕЗЕРВУАРА ВМЕСТИМОСТЬЮ 75000 м³

О. В. МАХНЕНКО, канд. техн. наук, **Е. А. ВЕЛИКОИВАНЕНКО**, канд. физ.-мат. наук,
Н. И. ПИВТОРАК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрен характерный случай расчетного определения риска образования ламелярных трещин при сварке обечаек люков в корпус резервуара вместимостью 75000 м³ (г. Броды). На основе проведенного анализа напряженного состояния в зоне сварных соединений овальных люков и сопротивляемости материала патрубка из стали 09Г2С образованию и распространению ламелярных трещин определено, что вероятность сквозных дефектов типа ламелярных трещин в патрубках очень невелика. Обнаруженная при гидростатических испытаниях резервуара неплотность сварных соединений связана с неудачным конструктивным и технологическим решением сварного узла.

Ключевые слова: сварные конструкции, кольцевые швы, слоистые разрушения, ламелярные трещины, тепловая правка, численное исследование, расчет

Слоистые разрушения в современных сварных стальных конструкциях достаточно редкое явление, хотя еще 40...50 лет тому назад такие дефекты в толстостенных конструкциях в тавровых и особенно крестовых соединениях встречались довольно часто. Результаты проведенных в 1970–1980-х годах исследований послужили основой для ужесточения требований к толстостенному стальному прокату по содержанию примесей (в частности, серы) и вязкости материала в z направлении, что способствовало эффективному предупреждению слоистых разрушений в конструкциях, изготовленных из этого материала. Тем не менее полностью исключить указанные дефекты, очевидно, невозможно, поэтому следует постоянно учитывать возможность их появления. При этом в ряде случаев технологические либо кон-

структивные просчеты связывают с недостаточно высокой стойкостью материала к образованию указанных дефектов.

Исходя из изложенного показательным является рассматриваемый ниже достаточно характерный случай с сваркой обечаек люков в корпус резервуара вместимостью 75000 м³ (г. Броды).

На рис. 1, *а* приведена схема сварного соединения с поперечным сечением металла шва, на которой патрубок 1 соединяется со стенкой резервуара 2 и накладным листом 3. Эта схема соответствует наиболее консервативным условиям приварки патрубка односторонними швами к стенке и накладному листу. Вдоль контура люка радиус кривизны меняется. При гидравлических испытаниях вариант № 1 (рис. 1, *а*) не обеспечил необходимую плотность соединения, что стало причиной появления ламелярных трещин (рис. 2).

Вариант соединения № 2 (рис. 1, *б*) является более поздней разработкой технологии приварки

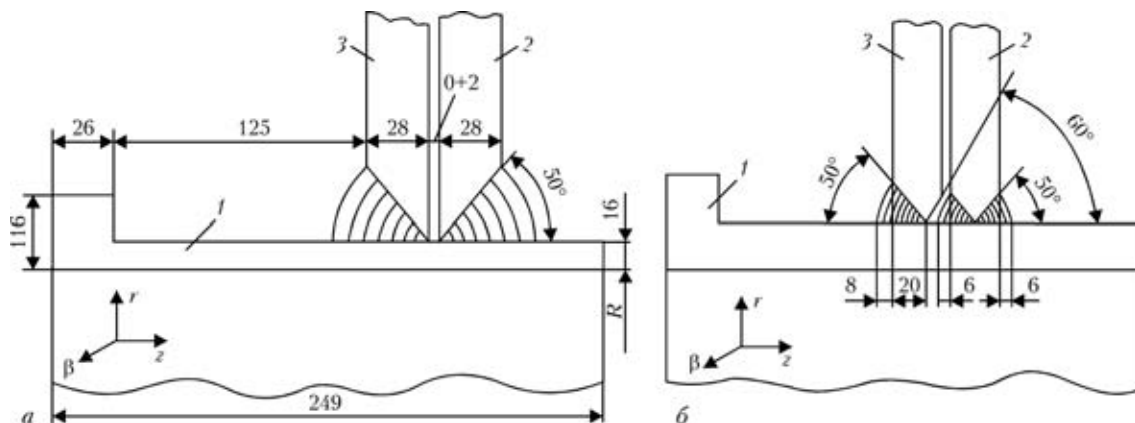


Рис. 1. Схема сварного соединения (поперечное сечение сварного шва) патрубка со стенкой и накладным листом зачистного люка резервуара: *а, б* — соответственно вариант № 1, № 2; 1–3 — см. в тексте

© О. В. Махненко, Е. А. Великоиваненко, Н. И. Пивторак, 2007

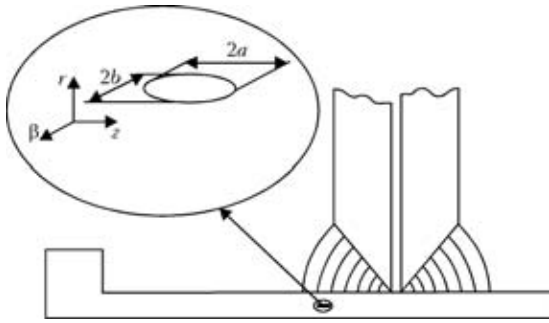


Рис. 2. Схема ламелярной трещины в зоне сварного соединения: a, b — габаритные размеры ламелярной трещины

патрубка 1. В этом случае стенку оболочки 2 сначала приваривают к патрубку 1 двухсторонним многопроходным швом, а затем устанавливают накладной лист 3, который приваривают к патрубку 1 многослойным односторонним швом. Предварительно перед установкой накладного листа 3 сварной шов между патрубком и стенкой проверяют на плотность. Этот вариант соединения успешно выдержал гидростатические испытания.

Ниже рассматривается зона минимального радиуса изгиба накладного листа R , поскольку она имеет наиболее высокие нормальные напряжения σ_{rr} , ответственные за вероятность возникновения ламелярных трещин (рис. 2).

Материал патрубков — низколегированные стали 09Г2С (ГОСТ 19281–89) и 06Г2Б (ТУ 14-16-150–99). Одна часть патрубков (примерно 25 шт.) выполнена из стали 09Г2С, а другая (примерно 70 шт.) так же, как и стенки резервуара, — из стали 06Г2Б. Химический состав материала патрубков, полученный по результатам спектрального анализа, приведен в табл. 1. В данной таблице не содержится такая важная в плане стойкости к образованию ламелярных трещин характеристика материала, как содержание серы. Сталь

06Г2Б отличается хорошей изотропией механических свойств во всех направлениях, поэтому у патрубков, выполненных из этой стали, нет проблем с ламелярными разрушениями. В стали 09Г2С по государственному стандарту может содержаться до 0,045 мас. % S, при этом такая сталь будет иметь достаточно заметную анизотропию механических свойств. В табл. 2 приведены данные из работы [1] о механических свойствах стали 09Г2С, имеющей следующий химический состав, мас. %: 0,05 C; 0,67 Si; 1,3 Mn; 0,1 Cr; 0,02 Ni; 0,02 V; 0,05 Cu; 0,017 P; 0,045 S. Из табл. 2 видно, что в стали 09Г2С анизотропия свойств достаточно заметна. Поэтому требуется определенная осторожность при применении этой стали в конструкциях с большими толщинами, подвергающихся нагрузкам нормальным к плоскости прокатки (в направлении r по рис. 1).

Толщина патрубков 16 мм не считается большой, однако это значение предельное, при котором в случае высоких напряжений могут появляться ламелярные трещины (рис. 2).

Как следует из работы [2], ламелярные трещины относятся к таким типам дефектов в зоне сварного соединения, которые могут возникнуть, если зона термического влияния нагружается при сварке в направлении r толщины листа. Такое нагружение может быть вызвано самим процессом сварки (а именно, сварочными напряжениями), а также внешней нагрузкой при испытании либо эксплуатации сварного соединения.

Основным фактором, влияющим на пластические свойства стального листа в направлении его толщины, являются неметаллические включения. Эти включения типа сульфидов или оксидов при изготовлении листа (прокатке) вытягиваются, при этом образуются пленки или включения, расположенные параллельно направлению прокатки.

Таблица 1. Химический состав (мас. %) патрубков из стали 09Г2С (600×900 мм) и стали 06Г2Б (900×1500 мм)

Сталь	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Mo	Al	Ti
09Г2С	0,08...0,12	0,50...0,74	1,25...1,70	0,002...0,092	0,05...0,12	0,011...0,310	0,001...0,012	—	—	—
06Г2Б	0,04...0,08	0,27...0,32	1,28...1,36	0,004...0,11	0,04...0,07	0,210...0,230	0,028...0,031	0,062...0,078	0,027...0,037	0,011...0,017

Таблица 2. Механические свойства образца стали 09Г2С толщиной 35 мм

Расположение образца	Испытания								δ_c , мм
	на растяжение при $T = 20$ °С				на ударный изгиб KCV, Дж/см ² , при температуре, °С				
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	-70	-40	0	+20	
Стандартное	405	493,6	31,75	76,3	54,5	72,5	174,0	134,0	0,24
Поперек прокатки (ГОСТ 28870–90)	349	476,3	27,45	32,0	8,50	12,0	27,5	28,0	0,02

Примечание. σ_T — предел текучести; σ_B — временное сопротивление; δ — относительное удлинение; ψ — относительное сужение; δ_c — критическое раскрытие трещины.



Под действием высоких нормальных напряжений в плоскости такой пленки в зависимости от свойств основного материала могут возникать хрупкие и вязко-хрупкие слоистые разрушения (ламелярные трещины).

Таким образом, сопротивление слоистому разрушению листового проката определяется содержанием сульфидных или оксидных включений, т. е. массовой долей серы в составе стали, а также свойствами матрицы сопротивляться как зарождению, так и распространению ламелярных трещин. Естественно, что при одинаковом количестве сульфидных пленок сопротивление образованию ламелярных трещин будет выше у более пластичной матрицы, поэтому относительное сужение при испытании образцов по толщине листа является в определенной степени характеристикой указанного сопротивления.

На основании результатов многочисленных испытаний японские исследователи [2] предложили разделить конструкционные стали стойкостью к ламелярным трещинам на три класса:

А — высокоустойчивые стали ($S < 0,007$ мас. %; сужение в направлении толщины листа $\psi_r \geq 25$ %);

В — устойчивые стали ($S < 0,010$ мас. %; $\psi_r \geq 15$ %);

С — низкоустойчивые стали ($S \geq 0,020$ мас. %; $\psi_r \leq 8$ %).

Такая классификация предусматривает наличие весьма жестких условий по напряженному состоянию, т. е. соответствует сварке достаточно высоконагружаемых узлов большой толщины.

Исходя из данных табл. 1 сталь 09Г2С трудно отнести к какому-либо из конкретных указанных классов. Однако можно предположить, что по содержанию серы она склонна к образованию ламелярных трещин при соответствующем уровне напряжений в направлении r (см. рис. 2).

Напряженное состояние в патрубках в зоне сварного соединения определяли воздействием сварочного термомодеформационного цикла, а также внешней нагрузкой (например, гидростатическим давлением), для чего использовали метод последовательного прослеживания развития температурных полей, напряжений и деформаций в сварных швах. С этой целью применяли пакет компьютерных программ «Weldpredictions», разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона, который основан на методе конечных элементов.

В проведенных расчетных экспериментах моделировали ручную дуговую сварку при заполнении разделки (см. рис. 1) за 10...12 проходов, при приварке как к стенке, так и накладному листу. При этом выбирали следующий режим сварки: $I_{св} = 170...300$ А, $U_d = 25...26$ В, $v_{св} \approx 0,15...0,20$ см/с — вариант № 1 (см. рис. 1, а); $I_{св} \cong 170$ А; $U_d = 25$ В при различной скорости

сварки $v_{св}$ и указанных ниже расчетных значениях погонной энергии сварки q_n — вариант № 2 (рис. 1, б):

№ прохода	q_n , Дж/см
1.....	15937
2.....	15937
3.....	23906
4.....	23906
5.....	15937
6.....	15937
7.....	23906
8.....	23906
9.....	15937
10.....	15937
11... 17.....	23906

Необходимые для расчета теплофизические свойства и характеристики упругости в зависимости от температуры низколегированных сталей рассматриваемого типа содержатся в базе данных используемого пакета (табл. 3).

Ниже представлены результаты расчета, полученные для поперечных сечений по отношению к оси сварного шва ($z = 0$, см. рис. 1), для продольных вдоль оси шва нормальных напряжений $\sigma_{\beta\beta}$, поперечных в плоскости образующей патрубка напряжений σ_{zz} , напряжений по толщине патрубка σ_{rr} и касательных напряжений σ_{rz} .

На рис. 3 показана общая картина распределения остаточных напряжений в поперечном сечении шва после полного окончания сварки по варианту № 1 (см. рис. 1, а) при $R = 362,5$ мм. Из рисунка видно, что наиболее значительная область высоких растягивающих остаточных напряжений связана с продольными напряжениями $\sigma_{\beta\beta}$, а наименьшая — с напряжениями по толщине σ_{rr} .

Для дальнейших суждений важны численные значения напряжений σ_{rr} . На рис. 4 более подробно показано распределение этих напряжений в трубке в зоне сварного шва $-38 < z < 38$ мм (вариант № 1, см. рис. 1, а). Сплошной линией выделена зона проплавления и перекристаллизации ($T > 1300$ °С), где ламелярные трещины не образуются, поскольку там отсутствует характерная слоистая структура прокатки стали 09Г2С.

Более высокие остаточные напряжения σ_{rr} имеют место ниже указанной линии проплавления при $R = 362,5$ мм и не превышают 203 МПа (рис. 4, а), а при $R = 503,5$ мм — 192 МПа (рис. 4, в).

Примененная методика последовательного прослеживания развития напряженного состояния позволяет учесть в качестве одной из стадий прослеживания после получения остаточных напряжений силовое нагружение рассматриваемой зоны гидростатическим давлением при испытании резервуара наливом воды.

На рис. 4, б, г приведены аналогичные результаты, полученные при напряжении σ_{rr} . Видно, что такое нагружение частично меняет распределение



Таблица 3. Механические и теплофизические свойства стали 09Г2С

Температура испытаний $T_{исп}$, °С	Модуль Юнга E , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Температурный коэффициент линейного расширения α , $1/^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности λ , Дж/(см·с·°С)	Удельная теплоемкость c_T , Дж/(см ³ ·с·°С)
20	208000	400	0,0000120	0,520	3,76
100	203000	367	0,0000120	0,508	3,80
200	199000	347	0,0000130	0,479	3,88
300	195000	335	0,0000137	0,442	4,01
400	188000	310	0,0000142	0,425	4,15
500	172000	282	0,0000147	0,400	4,33
600	153000	220	0,0000150	0,360	4,55
700	143000	114	0,0000152	0,325	4,96
800	130000	53	0,0000153	0,280	5,48
900	108000	37	0,0000190	0,260	5,48
1000	82000	25	0,0000194	0,270	5,42
1100	32000	16	0,0000194	0,290	5,38
1200	7000	8	0,0000195	0,300	5,36

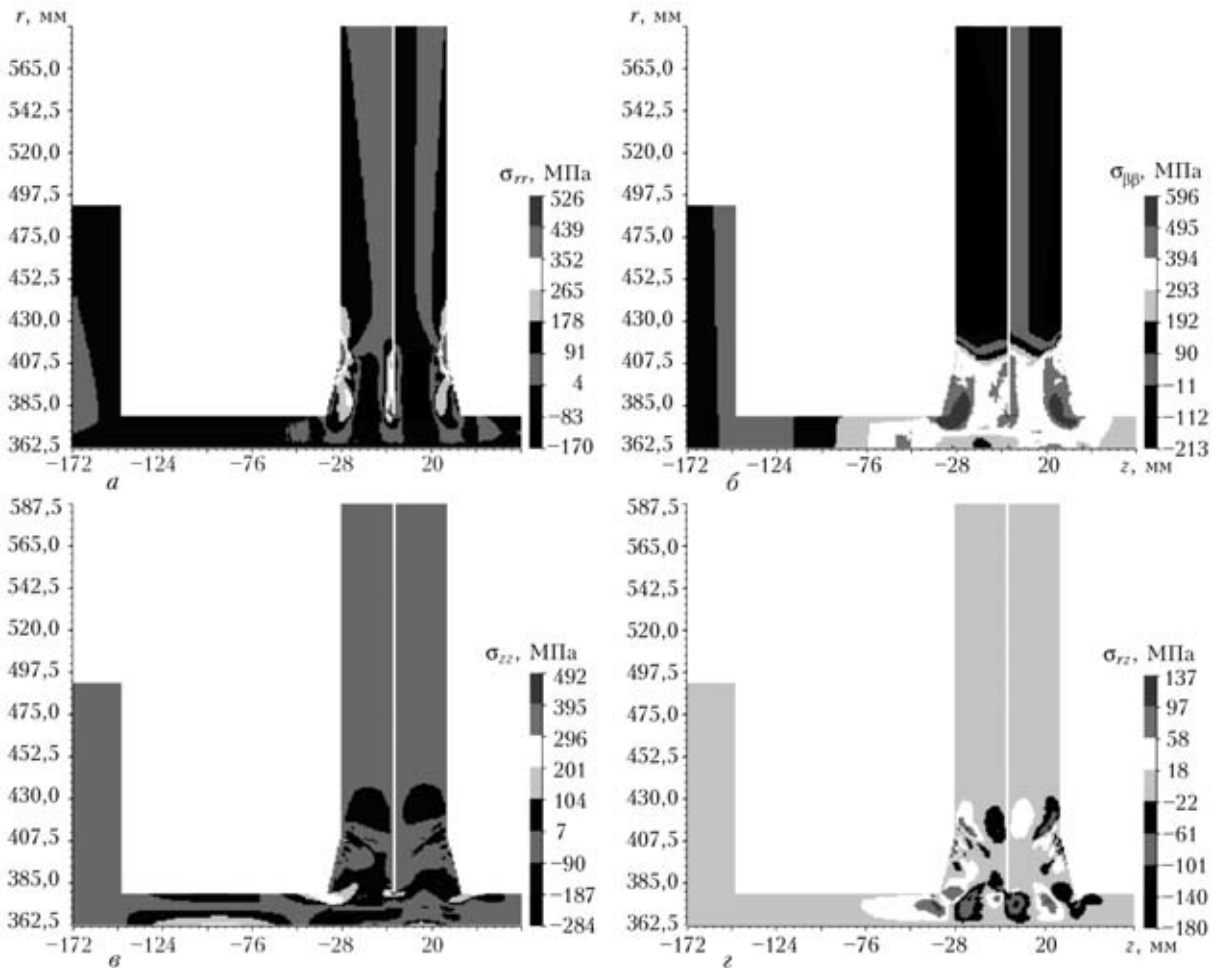


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений в сечении поперек оси сварного шва при $R = 362,5$ мм: а — σ_{rr} ; б — $\sigma_{\theta\theta}$; в — σ_{zz} ; з — σ_{zz}

напряжений по толщине σ_{rr} , а также их значения. Характерно, что максимальные значения σ_{rr} заметно возрастают только в зоне концентратора между

стенкой и накладным листом (зона $z = 0$), здесь они достигают приблизительно 216 (рис. 4, б) и 206 МПа (рис. 4, з).

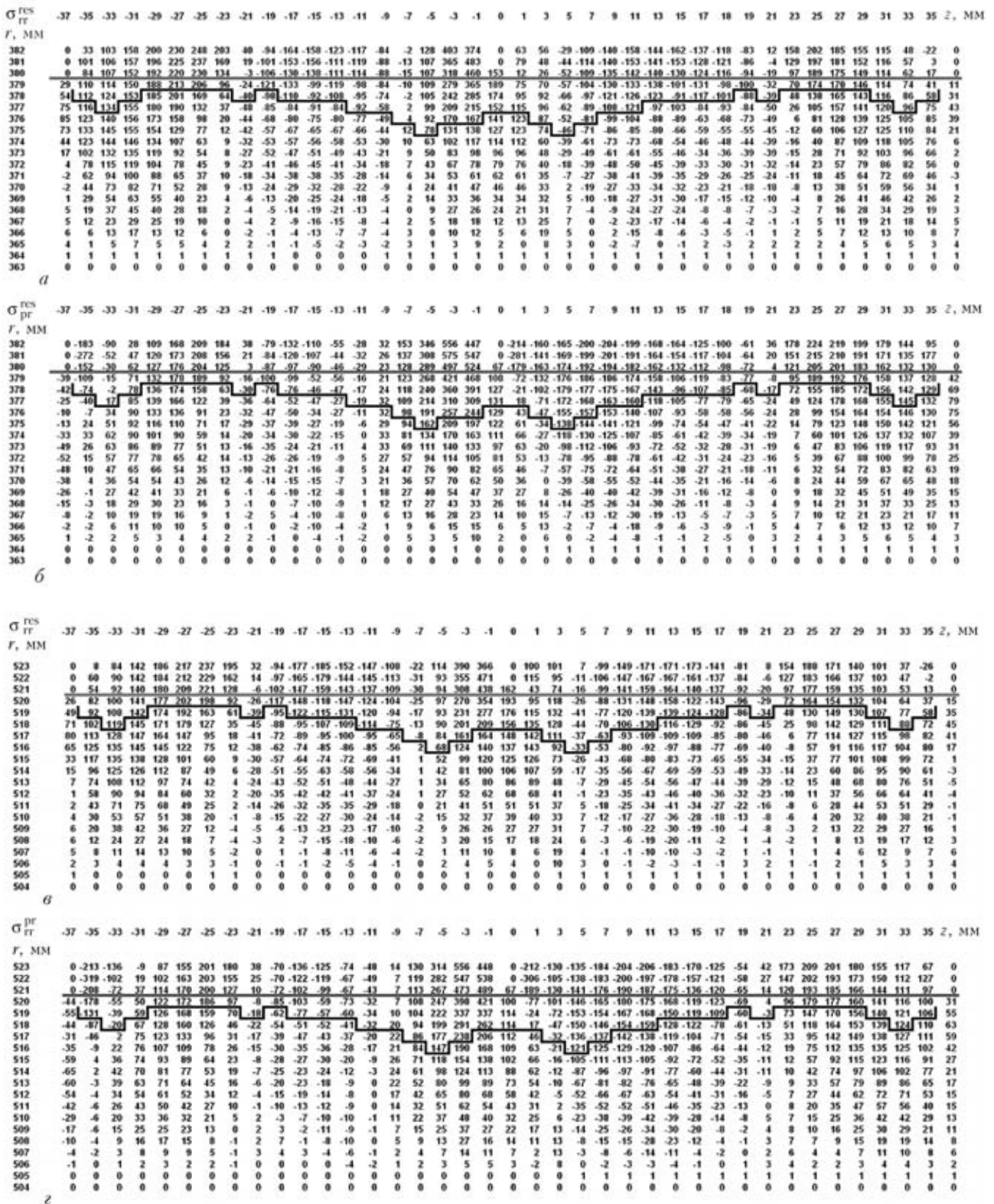


Рис. 4. Остаточные напряжения по толщине σ_{rr} в сечении поперек оси сварного шва (а, б) и суммарные σ_{rr} при испытании емкости гидростатическим давлением (б, в) при $R = 362,5$ (а, б) и $503,5$ мм (в, в): сплошная линия — линия проплавления, разделяющая зону сварного шва и основного металла

Такая же картина имеет место и при других значениях R ; при этом сохраняется отмеченная выше закономерность — увеличение R снижает σ_{rr} .

Рассматривался также вариант № 2 (см. рис. 1, б) сварного соединения. Данные расчёта показали, что при более низких значениях погонной энергии сварки для этого случая несколько увеличиваются напряжения σ_{rr} в околосшовной зоне ниже границы

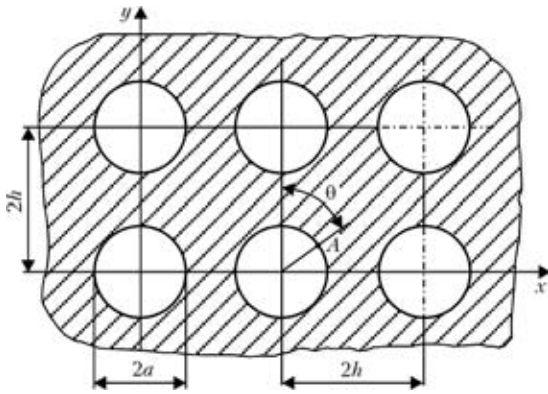


Рис. 5. Схема сечения бесконечного тела с двойкой периодической системой дискообразных трещин в плоскости $r = 0$

проплавления, однако их значения не превышают 250 МПа.

Поскольку сталь 09Г2С имеет относительное сужение при растяжении в направлении r более 25 % ($\psi = 32\%$ по табл. 2), то процесс зарождения трещин ламелярного типа связан с растягивающими нормальными напряжениями σ_{rr} , имеющими величину выше уровня предела текучести материала при соответствующих испытаниях. Исходя из данных табл. 2 он составляет более 350 МПа. Причем это средний уровень напряжений по сечению образца при таких испытаниях. Истинные локальные напряжения зарождения будут явно выше: $\sigma_v / (1 - \psi/100) = 726$ МПа.

Таким образом, наличие нормальных напряжений $\sigma_{rr} < 350$ МПа вполне можно считать достаточно консервативным условием, при котором зарождение ламелярных трещин не происходит. Этому условию полностью соответствует напряженное состояние, показанное на рис. 3 и 4.

Однако следует принимать во внимание, что зародыши трещин по тем или иным причинам уже могут быть в материале патрубка в рассматриваемой зоне соединения независимо от наличия остаточных и суммарных напряжений σ_{rr} .

Необходимо оценить возможность роста таких дефектов в поле напряжений σ_{rr} , рассмотренных выше.

В качестве такого условия роста можно с определенной степенью консервативности использовать условие хрупкого срагивания плоской трещины с нормалью r и габаритными размерами $2a \times 2b$ (см. рис. 2). Это условие запишется в виде

$$\bar{\sigma}_{rr} \sqrt{\pi a} f_r = K_c,$$

где $\bar{\sigma}_{rr}$ — среднее напряжение на участке $z \pm a$ (по рис. 4); f_r — коэффициент, зависящий от a/b и расстояния между соседними трещинами; K_c — коэффициент вязкости разрушения материала.

В частном случае для системы дискообразных трещин круговой формы с периодом $2h$ (рис. 5) при действии растягивающих напряжений σ пер-

пендикулярно плоскости x, y коэффициент f_r в точке A определяется согласно [3] зависимостью

$$f_r = \frac{2}{\pi} [1 + 0,2393 \varepsilon^3 + 0,0810 \varepsilon^5 + 0,0574 \varepsilon^6 + \varepsilon^7 (0,0035 + 0,0537 (\cos^4 \theta + \sin^4 \theta) + 0,0147 \cos^2 \theta \sin^2 \theta)],$$

$$\varepsilon = a/h. \tag{1}$$

При $a/h = 0,8$ $f_r = 0,744$, при $a/h = 0,9$ $f_r \approx 1,162$. С определенной консервативностью можно принять, что реально $f_r < 1,4$.

Величину K_c в направлении r можно определить по значениям δ_c , σ_T и модулю упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа:

$$K_c = \sqrt{2 \delta_c E \sigma_T} = \sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 350} = 1673 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^{1/2}.$$

Соответственно получим, что критический размер трещины $2a_{кр}$ в зависимости от напряжений $\bar{\sigma}_{rr}$ определяется как

$$2a_{кр} = 2 \left(\frac{1673}{\bar{\sigma}_{rr}} \right)^2 \frac{1}{\pi f_r^2} = 0,324 \left(\frac{1673}{\bar{\sigma}_{rr}} \right)^2.$$

В табл. 4 приведены результаты расчета для различных $\bar{\sigma}_{rr}$.

Таблица 4. Определение $a_{кр}$ в зависимости от $\bar{\sigma}_{rr}$

$\bar{\sigma}_{rr}$, МПа	$2a_{кр}$, мм	$2a$, мм (по рис. 4)
300	10,0	0
250	14,4	0
200	22,6	~3,0
150	40,2	~10,0

Здесь же приведены значения размеров зоны, расположенной в сечении поперек оси сварного шва a (см. рис. 4, $a, б$), в пределах которых уровень напряжений не ниже $\bar{\sigma}_{rr}$. Видно, что значения a заметно уступают значениям $a_{кр}$, т. е. возможность роста малореальных гипотетических несплошностей размерами $a_{кр}$ в полученном поле напряжений σ_{rr} (см. рис. 4, $a, б$) достаточно ограничена. Аналогичное явление имеет место для случая, представленного на рис. 4, $в, з$, а также для люков других размеров при $R > 362,5$ мм.

Выводы

1. Вероятность образования сквозных дефектов типа ламелярных трещин в патрубках из стали 09Г2С в соединениях их со стенкой резервуара невелика. Это объясняется относительно небольшой (16 мм) толщиной стенки патрубков и достаточно высокими (более 25 %) значениями относительного сужения материала в направлении, перпендикулярном плоскости прокатки.



2. Можно считать, что применение стали 09Г2С для патрубков овальных люков резервуара вместимостью 75000 м³ вполне допустимо.

3. Наблюдаемая при гидростатических испытаниях резервуара неплотность сварных соединений (см. рис. 1, а) связана с неудачным конструктивным и технологическим решением сварного узла.

1. *Бернацкий А. В.* Влияние анизотропии механических свойств металлопроката на возникновение и развитие вязких и слоисто-вязких разрушений // Автомат. сварка. — 2000. — № 7. — С. 32–38.
2. *Гривняк И.* Свариваемость сталей / Пер. со словац. Л. С. Гончаренко / Под ред. Э. Л. Макарова. — М.: Машиностроение, 1984. — 216 с.
3. *Механика разрушения и прочность материалов.* В 4 т. / Под ред. В. В. Панасюка. Т. 2. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами / М. П. Саврук. — Киев: Наук. думка, 1988. — 620 с.

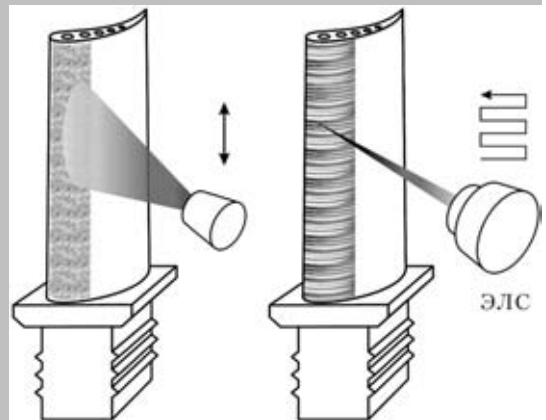
Numerical study of the deformed state of cylindrical shells at local heating has been performed using thermoplastic analysis and finite element method. Calculation algorithms and procedure for determination of the parameters of thermal straightening based on the approximation method of shrinkage function have been developed. The procedure was used in thermal straightening of long cylindrical shells with common distortions of the longitudinal axis caused by performance of circumferential butt welds, as well as straightening long screw shafts with longitudinal deflection deformations.

Поступила в редакцию 05.10.2006

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана высокоэффективная технология восстановления лопаток газотурбинных двигателей. Технология может быть использована в условиях производства лопаток для устранения дефектов литейного происхождения или повышения износостойкости участков лопатки, наиболее подверженных износу в условиях эксплуатации, с целью придания ей широкого спектра уникальных свойств таких, как жаро-, коррозионно-, износостойкость и др. Кроме того, технология позволяет осуществлять восстановление изношенных лопаток после определенного срока их эксплуатации.

Применение разработанной технологии обеспечивает сохранение на высоком уровне первоначальных размеров лопаток, несмотря на наличие в них внутренних каналов и переменный профиль сечения. Такой эффект достигается с помощью двух процессов, отличающихся высокими показателями удельной плотности энергии. Первый из них — микроплазменное нанесение на поверхность лопатки присадочного материала в виде металлического порошка с дисперсностью частиц 50...150 мкм. Второй — ЭЛС в вакууме — предназначен для оплавления нанесенного первым способом слоя присадки. Используя систему программного управления тепловложением в пределах заданной площади обработки, можно получить гарантированное оплавление нанесенного слоя присадки и проплавление основного материала лопатки на заданную глубину.



Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 7
 Тел.: (38044) 287 44 06
 Факс: (38044) 287 12 83; 287 46 30



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАТИМОЙ ВОДОРОДНОЙ ХРУПКОСТИ*

А. В. ИГНАТЕНКО, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложена математическая модель обратимой водородной хрупкости (ОВХ) металлов с ОЦК решеткой. Модель основана на классической модели Зинера–Стро образования субмикротрещины по дислокационному механизму в зерне металла и включает модель переноса водорода краевыми дислокациями. Создана программа, позволяющая рассчитать влияние водорода на напряжение разрушения зерна металла. При моделировании ОВХ учитывалась концентрация свободного водорода в металле, скорость движения краевых дислокаций, температура металла, размер зерна. Расчетные кривые сопоставлены с экспериментом. Полученные зависимости хорошо согласуются с экспериментальными данными по ОВХ.

Ключевые слова: сварные конструкции, обратимая водородная хрупкость, математическая модель, перенос водорода, краевые дислокации, субмикротрещина, степень охрупчивания

В настоящее время широкое распространение в мире получили металлические сварные конструкции из высокопрочных низколегированных сталей. Наличие водорода в металле часто оказывает сильное негативное влияние на прочность и долговечность этих конструкций. При этом среди различных видов водородного охрупчивания конструкционных сталей особого внимания заслуживает обратимая водородная хрупкость (ОВХ) [1], которая может возникнуть даже при относительно небольшой концентрации водорода в металле (около $10 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ и менее). Нередко для предотвращения ОВХ применяется подогрев конструкций перед сваркой и подогрев сварных соединений в процессе сварки, что значительно повышает стоимость изготовления всей сварной конструкции. Поэтому актуальным является применение более дешевых технологий для устранения негативного влияния водорода. Для разработки таких технологий нужно хорошо понимать те механизмы, с помощью которых водород понижает прочностные характеристики металла. Современные физические методы пока не позволяют прямыми экспериментами изучить, например, кинетику распределения водорода в сварном соединении, механизм образования пор и трещин в сварных швах и ряд других процессов [2]. В связи с этим возникает необходимость построения адекватной физической модели ОВХ, расчет на ее основе падения прочности металла под действием водорода и сопоставления полученных результатов с экспериментальными данными.

В работе [3] предложена математическая модель переноса водорода краевыми дислокациями в металле с ОЦК решеткой. Создана программа для расчета количества водорода, транспортируемого краевой дислокацией. На основе этой модели и усовершенствованной модели Зинера–Стро образования субмикротрещины по дислокационному механизму развита математическая модель хрупкого разрушения металла, обусловленного водородом. Суть модели заключается в следующем. Во время действия напряжений, которые приводят к пластической деформации, в зерне металла формируется плоское скопление краевых дислокаций. Под действием касательных напряжений дислокации начинают двигаться, захватывая при этом находящийся на их пути свободный водород (рис. 1). На границе зерна, либо на другом препятствии движущиеся краевые дислокации блокируются (в литературе принято писать, что блокируется вершина дислокационного скопления). Если приложенные внешние (по отношению к зерну) напряжения достаточно велики, то в вершине скопления дислокации начинают сливаться

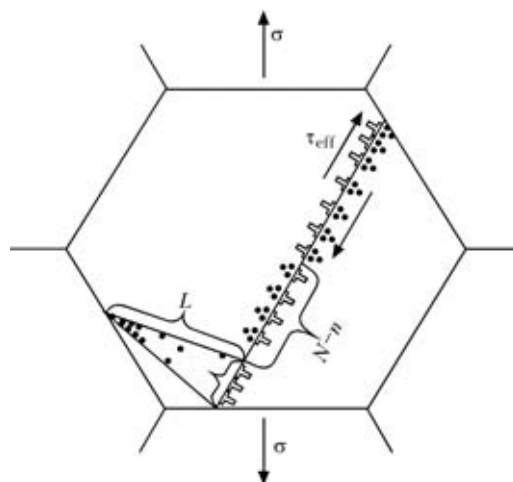


Рис. 1. Схема развития водородной субмикротрещины в теле зерна металла

* Работа выполнена под руководством академика НАН Украины И. К. Походни.



в субмикротрещину. Приносимый дислокациями водород, попадая в объем субмикротрещины, уменьшает ее поверхностную энергию. Тем самым водород облегчает увеличение субмикротрещины, в результате чего она утрачивает стабильность при меньшем напряжении. На макроуровне это проявляется как водородное охрупчивание металла.

Физическая суть термина «перенос водорода краевой дислокацией» заключается в следующем. Вокруг краевой дислокации кристаллическая решетка металла искажена и находится в деформированном состоянии. Около краевой дислокации существует область Ω растягивающих напряжений, которая имеет повышенную растворимость водорода. Поэтому при возникновении дислокации возникает диффузия водорода из области металла с нормальной растворимостью в область Ω . В случае, когда дислокация не перемещается, диффузия водорода продолжается до тех пор, пока не наступит равновесие. Если под действием внешних напряжений краевая дислокация движется, то вместе с ней перемещается и область Ω . Водород, пытаясь заполнить образовавшуюся потенциальную яму, начинает диффундировать вслед за дислокацией. Возникает диффузия атомов водорода, направленная в сторону движения краевой дислокации. Другими словами, можно сказать, что краевая дислокация переносит водород.

На перераспределение водорода в металле на макроуровне влияют напряжения, градиенты концентрации и температуры. Для расчета в зерне металла берется некая средняя концентрация водорода. В данной модели предполагается, что краевые дислокации переносят водород только внутри зерна металла. Таким образом, дислокации влияют на перераспределения водорода в металле на микроуровне, повышая концентрацию водорода в определенных участках зерна.

В основу математической модели хрупкого разрушения металла с участием водорода были положены следующие предположения:

субмикротрещина возникает по дислокационному механизму модели Зинера–Стро;

скорость деформации металла постоянная;

температура металла во время деформации считается постоянной;

все дислокации в плоском скоплении одинаковы и переносят равное количество водорода;

весь водород, переносимый краевыми дислокациями, попадает в субмикротрещину;

в субмикротрещине устанавливается равновесное распределение водорода в соответствии с изотермой адсорбции;

в объеме субмикротрещины водород молизован, а на поверхности диссоциирован.

Согласно работам [4–7] энергия системы «скопление краевых дислокаций — субмикротрещина» может быть представлена в виде

$$W = \frac{(nb)^2 G}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{4d}{L} + \frac{(N-n)^2 b^2 G}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{4\pi\sqrt{e}(1-\nu)d}{(N-n)Gb} \tau_{\text{eff}} + 2\gamma L - \frac{\pi(1-\nu)L^2}{8G} \sigma^2 - \frac{nbL}{2} \sigma \sin 45^\circ, \quad (1)$$

где L — длина субмикротрещины; n — количество образовавших ее дислокаций; σ — главное нормальное напряжение; γ — удельная поверхностная энергия металла, которая изменяется в результате воздействия водорода; G — модуль сдвига; ν — коэффициент Пуассона; d — размер зерна металла; b — модуль вектора Бюргерса; e — основание натурального логарифма; τ_{eff} — эффективное касательное напряжение, несколько превышающее предел текучести.

Различные модификации уравнения (1) используют для определения критического напряжения σ_k , при котором субмикротрещина теряет устойчивость и, как следствие, разрушает зерно металла [4–7]. Для этого уравнение (1) дифференцируют отдельно по L и n , находят из полученных уравнений точку неустойчивого равновесия системы «скопление краевых дислокаций — субмикротрещина» и определяют критические значения L_k , n_k и σ_k . Рассчитанное таким образом значение σ_k считают минимальным растягивающим напряжением, которое необходимо приложить к металлу для того, чтобы его хрупко разрушить.

Уравнение (1) является верным только тогда, когда удельная поверхностная энергия γ остается неизменной во время роста субмикротрещины. Однако при наличии в металле водорода это условие не выполняется, поскольку в данном случае γ является сложной функцией от температуры металла, длины субмикротрещины, количества влившихся в нее краевых дислокаций и количества принесенного дислокациями водорода. Поэтому в уравнении (1) необходимо заменить слагаемое $2\gamma L$ на интеграл $2\int\gamma dL$:

$$W = \frac{(nb)^2 G}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{4d}{L} + \frac{(N-n)^2 b^2 G}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{4\pi\sqrt{e}(1-\nu)d}{(N-n)Gb} \tau_{\text{eff}} + 2\int\gamma dL - \frac{\pi(1-\nu)L^2}{8G} \sigma^2 - \frac{nbL}{2} \sigma \sin 45^\circ. \quad (2)$$

Для точного вычисления σ_k с помощью уравнения (2) необходимо учитывать динамику роста субмикротрещины, что усложняет расчет.

Значение τ_{eff} оценивается с помощью соотношения Холла–Петча [8, 9] $\sigma_T = \sigma_0 + K_y/\sqrt{d}$ для границы текучести металла σ_T :



$$\tau_{\text{eff}} = \frac{(\sigma_T - \sigma_0)}{2} = \frac{K_y}{2\sqrt{d}}, \quad (3)$$

где K_y — коэффициент наклона прямой в координатах σ, \sqrt{d} .

Количество краевых дислокаций одного знака N считается неизменным после достижения некоторого максимума под действием внешнего напряжения. Если принять, что длина скольжения равна размеру зерна, то максимальное количество дислокаций N в скоплении можно оценить по формуле [10]

$$N = \frac{(1 - \nu)d\tau_{\text{eff}}}{Gb} = \frac{(1 - \nu)\sqrt{d}K_y}{2Gb}. \quad (4)$$

При расчете влияния водорода на поверхностную энергию субмикротрещины считали, что водород подчиняется уравнению изотермы адсорбции Лэнгмюра для двухатомных газов, которые диссоциируют при адсорбции [11]:

$$\theta = \frac{\sqrt{ap}}{1 + \sqrt{ap}}, \quad (5)$$

где θ — степень покрытия поверхности субмикротрещины водородом; p — давление водорода; a — константа адсорбции.

В соответствии с уравнением адсорбции Гиббса изменение поверхностной энергии металла при адсорбции на нем водорода равно [11]

$$\gamma = \gamma_0 - 2\frac{kT}{b^2} \ln(1 + \sqrt{ap}) = \gamma_0 + 2\frac{kT}{b^2} \ln(1 - \theta), \quad (6)$$

где γ_0 — удельная поверхностная энергия на границе металл — абсолютный вакуум; T — температура металла; k — постоянная Больцмана.

Связь между количеством водорода N_H , который доставляется дислокациями в объем субмикротрещины, и величинами L, θ, p устанавливается с помощью уравнения баланса:

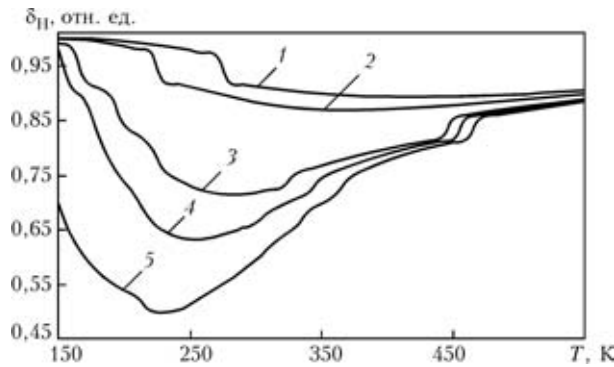


Рис. 2. Степень водородного охрупчивания δ_H железа водородом в зависимости от температуры T при разных скоростях движения краевых дислокаций (коэффициент диффузии водорода $D = 1 \cdot 10^{-7} \exp[-10880/(RT)]$, средняя концентрация водорода $C_0 = 6 \text{ см}^3/100 \text{ г}$): 1 — $V_0 = 1$; 2 — $5 \cdot 10^{-1}$; 3 — 10^{-1} ; 4 — $5 \cdot 10^{-2}$; 5 — 10^{-2} м/с

$$\frac{N_H n}{b} = \frac{2\theta L}{b^2} + \frac{nbLp}{kT}. \quad (7)$$

Влияние водорода на степень падения хрупкой прочности металла δ_H рассчитывалось исходя из критерия водородной хрупкости, предложенного в [12]:

$$\delta_H = \frac{R_{\text{MC}}^H}{R_{\text{MC}}} \approx \frac{\sigma_H}{\sigma_0}, \quad (8)$$

где R_{MC} — сопротивление микросколу; σ_0 — значение растягивающего напряжения в шейке образца; R_{MC}^H — характеристика наводороженного металла.

На основании представленной математической модели разработана программа расчета поведения системы «плоское скопление краевых дислокаций — субмикротрещина». Степень водородного охрупчивания δ_H металла рассчитывали на основе системы уравнений (2)–(8) и математической модели переноса водорода краевыми дислокациями. При расчете использовали данные, которые являются типичными для низколегированных сталей [4, 8]: $G = 80 \text{ ГПа}$; $\nu = 0,25$; $b = 2,56 \cdot 10^{-10} \text{ м}$; $\gamma_0 = 2 \text{ Дж/м}^2$; $K_y = 0,6 \text{ МПа/м}^{1/2}$ и константы адсорбции водорода на поверхности железа $a = 37,5 \text{ Па}^{-1}$ [11]. Учитывалось также, что количество дислокаций n , слившихся в вершине скопления в субмикротрещину, может быть только целым положительным числом. Поэтому периодические скачки полученных кривых объясняются дискретностью значений n .

Результаты расчетов представлены на рис. 2–4. На рис. 2 приведены зависимости $\delta_H = \sigma_H/\sigma_0$ от температуры металла T для разных скоростей движения краевых дислокаций V_0 . Видно, что в определенном интервале скоростей V_0 максимальное охрупчивающее воздействие водород

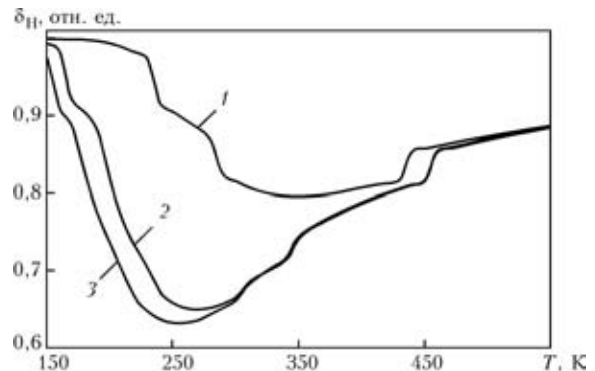


Рис. 3. Степень водородного охрупчивания δ_H железа водородом в зависимости от температуры T для разных коэффициентов диффузии водорода в металле (скорость движения краевой дислокации $V_0 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$, $C_0 = 6 \text{ см}^3/100 \text{ г}$): 1 — $D = 1,76 \cdot 10^{-7} \exp[-16651/(RT)]$; 2 — $D = 2,2 \cdot 10^{-7} \exp[-12970/(RT)]$; 3 — $D = 10^{-7} \exp[-10880/(RT)]$

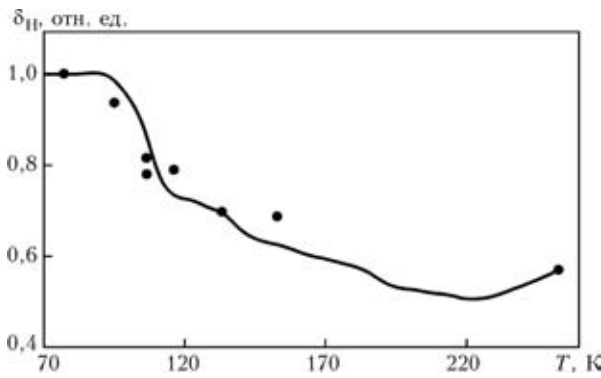


Рис. 4. Сопоставление экспериментальных (точки) [15] и расчетных (кривая) данных степени водородного охрупчивания δ_H для стали 09Г2С ($C_0 = 6,3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, $V_0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$)

проявляет при температурах, близких к нормальной (минимум кривой $\delta_H(T)$). Отклонение от этой температуры в ту или иную сторону приводит к снижению негативного воздействия водорода на прочность металла. С увеличением V_0 падение хрупкой прочности металла уменьшается, а минимум зависимости $\delta_H(T)$ сдвигается в область более высоких температур. Скорость движения краевых дислокаций V_0 пропорциональна относительной скорости деформации металла $\dot{\epsilon}$ [6, 13]. Поэтому результаты расчета, представленные на рис. 2, хорошо согласуются с установленными экспериментально температурно-скоростными особенностями ОВХ [12, 13]. На рис. 3 приведено сравнение результатов для разных коэффициентов диффузии водорода D в металле [14], которые характеризуют подвижность водорода в металле. Следовательно, чем выше D , тем больше водорода транспортируется дислокациями к месту образования субмикротрещины. Расчет показывает, что увеличение коэффициента диффузии D при прочих равных условиях повышает чувствительность железа к водороду. На рис. 4 представлено сопоставление экспериментальных данных [15] и расчетной кривой степени водородного охрупчивания δ_H для стали 09Г2С. Из приведенных результатов видно, что предложенная в данной

работе математическая модель ОВХ сплавов железа с ОЦК решеткой — конструкционных сталей хорошо согласуется с экспериментальными данными и может быть применима для оценки влияния водорода на физико-механические свойства металлов.

1. Походня И. К., Швачко В. И. Физическая природа обусловленных водородом холодных трещин в сварных соединениях конструкционных сталей // Автомат. сварка. — 1997. — № 5. — С. 3–12.
2. Походня И. К. Управление водородом в металле сварных швов // Четверт. междунар. конф. «ВОМ-2004». — Донецк, 2004. — С. 449–453.
3. Швачко В. И., Игнатенко А. В. Модель транспортировки водорода дислокациями // Автомат. сварка. — 2007. — № 2. — С. 27–30.
4. Котречко С. А., Мешков Ю. Я., Меттус Г.С. Хрупкое разрушение поликристаллических металлов при сложном напряженном состоянии // Металлофизика. — 1988. — № 6. — С. 46–55.
5. Garofalo F., Chou Y. T., Ambegaokar V. Effect of hydrogen on stability of microcracks in iron and steel // Acta Metallurgica. — 1960. — 8, № 8. — P. 504–512.
6. Владимиров В. И. Физическая природа разрушения металлов. — М.: Металлургия, 1984. — 280 с.
7. Походня И. К., Швачко В. И., Уткин С. В. Вплив водню на рівновагу дислокаційної субмікротріщини в α -залізі // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2002. — № 1. — С. 1–8.
8. Мешков Ю. Я., Пахаренко Г. А. Структура металла и хрупкость стальных изделий. — Киев: Наук. думка, 1985. — 266 с.
9. Мешков Ю. Я., Сердитова Т. Н. Разрушение деформированной стали. — Киев: Наук. думка, 1989. — 160 с.
10. Хурт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. — М.: Атомиздат, 1972. — 600 с.
11. Petch N. J. The lowering of fracture stress due to surface adsorption // Philosophical Magazine. — 1956. — 1, № 4. — P. 331–337.
12. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие газов с металлами / И. К. Походня, И. Р. Явдошин, В. И. Швачко и др. / Под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 2004. — 442 с.
13. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов. — М.: Металлургия, 1985. — 216 с.
14. Спивак Л. В., Скрябина Н. Е., Кац М. Я. Водород и механическое последствие в металлах и сплавах. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1993. — 344 с.
15. A new method for quantitative determination of sensitivity of steels to hydrogen embrittlement / I. K. Pokhodnya, V. I. Shvachko, S. A. Kotrechko, Yu. Ya. Meshkov // Mater. Sci. — 1999. — 34, № 4. — P. 538–543.

A model of transportation of hydrogen atoms by edge dislocation is proposed based on microscopic theory of diffusion. An equation of hydrogen diffusion in the field of a moving edge dislocation is proposed, which allows calculation of the quantity of hydrogen transported by the dislocation, depending on metal temperature, edge dislocation movement rate and free hydrogen concentration. Numerical calculation showed that hydrogen transfer by the edge dislocation has a maximum at the temperature close to the normal one. Obtained results are in good agreement with the features of reversible hydrogen brittleness.

Поступила в редакцию 23.04.2007



ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВЫПЛАВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ НА ИХ СВАРИВАЕМОСТЬ И СЛУЖЕБНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

С. В. АХОНИН, д-р техн. наук, В. Ф. ТОПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук,
И. К. ПЕТРИЧЕНКО, Э. Л. ВРЖИЖЕВСКИЙ, Р. Н. МИЩЕНКО, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено влияние способа выплавки титановых сплавов по технологии вакуумно-дугового переплава (ВДП) или электронно-лучевой плавки (ЭЛП) с промежуточной емкостью на служебные свойства металла и его свариваемость на примере среднелегированного титанового сплава ВТ6. Показано, что разница в прочностных и пластических характеристиках не существенна. Установлено, что независимо от способа выплавки, вязкость разрушения K_{Ic} основного металла находится на одном уровне, а вязкость разрушения металла швов, выполненных ЭЛС, в обоих случаях выше, чем в основном металле. Показано, что характеристика циклической трещиностойкости как основного металла титанового сплава ВТ6, полученного разными методами плавления, так и их сварных соединений находится на одном уровне.

Ключевые слова: дуговая сварка, титановые сплавы, вакуумно-дуговой переплав, электронно-лучевая плавка, свариваемость, режимы сварки, структура, механические свойства, трещиностойкость

Традиционным способом производства слитков титановых сплавов, в том числе и ВТ6, является вакуумно-дуговой переплав (ВДП) [1, 2]. В последние годы широкое распространение при выплавке слитков и слябов нелегированного титана и титановых сплавов получила технология электронно-лучевой плавки (ЭЛП) с промежуточной емкостью [3, 4]. За последние десять лет в США и странах СНГ введены в эксплуатацию новые электронно-лучевые установки общей мощностью 26 тыс. т слитков титана в год [5].

Определение влияния способа выплавки металла (ВДП или ЭЛП) на служебные свойства и свариваемость титановых сплавов проводили на примере среднелегированного титанового сплава ВТ6, относящегося к сплавам с системой легирования Ti-6Al-4V, чья доля на мировом рынке составляет более 70 % [1, 2].

Цель настоящей работы состояла в установлении влияния способа выплавки слитков титановых сплавов на их свариваемость, формирование швов, структуру, механические и служебные характеристики сварных соединений, выполненных сваркой плавлением.

Таблица 1. Химический состав титанового сплава ВТ6 разных способов выплавки (основа — титан)

Способ выплавки	Содержание легирующих элементов и примесей, мас. %						
	Al	V	Fe	C	O	N	H
ВДП	5,5	4,00	0,25	0,100	0,096	0,05	0,015
ЭЛП	5,8	3,95	0,26	0,015	0,130	0,02	0,003

Для проведения исследований из выплавленных на ГП «НПЦ «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины» по технологии ЭЛП слитков титанового сплава ВТ6 способом горячей прокатки на двухвалковом реверсивном стане получили листы толщиной 3, 5 и 12 мм. Используемый для исследований металл, выплавленный способом ВДП, брали в виде готовых листов ВТ6 толщиной 12 мм, которые затем катали до толщины 3 и 5 мм. При этом для получения мелкозернистой однородной структуры 60 % деформации осуществляли в β -области (при температуре выше 980 °С), а оставшиеся 40 % — в $(\alpha + \beta)$ -области (950...860 °С).

Анализ химического состава используемого проката показал (табл. 1), что содержание легирующих элементов в металле обоих способов выплавки является близким.

Сварку опытных образцов выполняли наиболее широко применяемыми для титана способами аргонодуговой (АДС) и электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

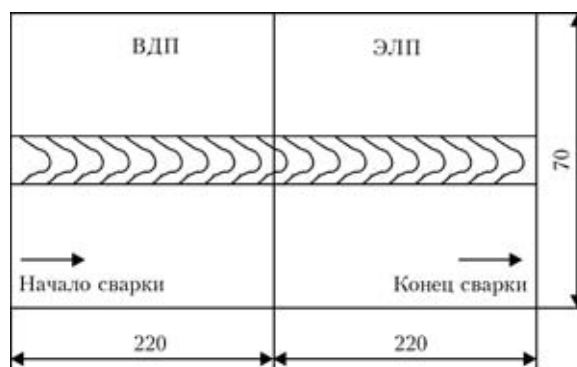


Рис. 1. Схема сварки образцов способами АДС, АДС по флюсу и ЭЛС



Таблица 2. Параметры стыковых сварных соединений сплава ВТ6, выполненных различными способами сварки

Способ сварки	Толщина металла, мм	Способ выплавки	Параметры режима сварки			Параметры сварного соединения				
			$I_{св}, А$	$U, В$	$\gamma_{св}, М/ч$	ширина шва сверху, мм	ширина шва в корне, мм	высота корня шва, мм	ширина ЗТВ, мм	
									сверху	в корне
АДС	3	ВДП	180	12	12	10,5	3,0	0,25	4,2	7,8
		ЭЛП	180	12	12	11,0	2,5	0,20	4,4	8,1
	5	ВДП	385	14	30	7,5	4,0	0,30	2,0	3,2
		ЭЛП	385	14	30	8,5	3,0	0,25	1,5	4,0
АДС по слою флюса	3	ВДП	135	9	12	5,5	5,5	0,30	3,3	3,0
		ЭЛП	135	9	12	5,8	5,2	0,20	3,2	3,4
	5	ВДП	250	11	12	8,5	8,0	0,50	4,0	5,0
		ЭЛП	250	11	12	9,0	6,0	0,40	3,5	4,5
ЭЛС	5	ВДП	$I_{двч} = 38 \text{ мА}$	$U_{вск} = 60 \text{ кВ}$	25	5,2	2,1	0,16	2,1	3,1
		ЭЛП			25	6,0	1,3	0,100	1,4	3,8
	12	ВДП	$I_{двч} = 75 \text{ мА}$	$U_{вск} = 60 \text{ кВ}$	25	3,8	3,5	2,00	1,5	1,0
		ЭЛП			25	4,0	2,9	1,60	1,5	1,0
АДС с разделкой кромок проволокой ВТ6св	12	ВДП	110; 180; 230	15; 9; 9	15	11	4	1,40	4,0	4,0
		ЭЛП								
АДС кромок проволокой CG15cd	12	ВДП	110; 180; 230	15; 9; 9	20	10	4	1,30	4,0	4,0
		ЭЛП								

АДС проводили неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне по слою флюса, а также проникающей дугой с использованием установки ОБ-2146 со сварочной горелкой А-1272 и источником питания ВСВУ-630. При сварке по слою флюса применяли флюс АНТ-25А и опытный флюс ОБ-3, в качестве сварочной проволоки — ВТ6св диаметром 1,2 и СП15 диаметром 2 мм.

ЭЛС выполняли в установке УЛ-144, оснащенной источником питания ЭЛА-60/60, сварочной пушкой ЦФ-4 и прибором управления лучом СУ-220.

Для выявления внутренних дефектов применяли рентгенопросвечивание сварных образцов на установке РАПС/300-70 с использованием пленки Т-4, что позволило обнаружить дефекты, размеры которых составляли не менее 2...3 % толщины металла. Для обнаружения дефектов, размеры которых не разрешались рентгеновским методом, проводили металлографический анализ поперечных и продольных шлифов на микроскопе «Neophot». Шлифы подготавливали по обычной для титановых сплавов методике [6].

При всех способах сварку образцов осуществляли по схеме, приведенной на рис. 1, оптимальный режим, обеспечивающий отсутствие дефектов в сварном соединении, удовлетворительное формирование лицевой стороны шва и корня (табл. 2) подбирали на сплаве, полученном ВДП такой же толщины. Для снятия остаточных напряжений после сварки все сварные соединения

подвергали отжигу при температуре 750 °С 1 ч и охлаждению на воздухе.

Анализ параметров сварных соединений (табл. 2) показал явную тенденцию к увеличению сварочного тока при сварке сплавов, выплавленных способом ЭЛП независимо от способа сварки. Следовательно, для достижения оптимальных параметров сварных соединений, полученных на сплавах, выплавленных способом ВДП, необходимо на сплавах, выплавленных способом ЭЛП, увеличивать сварочный ток при сварке всеми перечисленными способами на 10...12 %, что, возможно, обусловлено более высокой плотностью металла, выплавленного способом ЭЛП, по сравнению с металлом, полученным ВДП [7].

Изготовленные пластины и их сварные соединения для оценки качества подвергали статическому растяжению и ударному изгибу. Определяли вязкость разрушения K_{1c} и скорость роста трещины усталости (СРТУ).

Использование специальных галогенидных флюсов (АНТ-25А, ОБ-3) позволяет осуществлять сварку титановых листов толщиной до 6 мм за один проход. Применение флюса ОБ-3 позволяет на 25 А уменьшить сварочный ток по сравнению с использованием флюса АНТ-25А. Подача присадочной проволоки при сварке металла толщиной 5 мм в первый проход обусловлена необходимостью исключения подрезов. При сварке металла больших толщин применяют способ сварки с разделкой кромок. В этом случае доля приса-



Таблица 3. Механические характеристики сплава ВТ6 и его сварных соединений

Способ сварки и марка сварочной проволоки	Толщина металла, мм	Способ выплавки	Основной металл		Сварное соединение			Место разрушения
			σ_B , МПа	KCV , Дж/см ²	σ_B , МПа	KCV , Дж/см ²		
						шов	ЗТВ	
АДС по слою флюса	5	ВДП	970	42	950	30	32	Шов
		ЭЛП	980	36	970	27	30	» »
АДС по слою флюса сварочной проволокой: ВТ6св	5	ВДП	970	42	955	32	38	» »
СП15св	5				968	32	38	ЗТВ
ВТ6св	5				975	27	38	Шов
СП15св	5	ЭЛП	980	36	980	32	38	ЗТВ
АДС с разделкой кромок: ВТ6св	12	ВДП	950	40	940	30	34	Шов
СП15св	12				952	33	34	ЗТВ
ВТ6св	12	ЭЛП	1000	35	950	27	32	Шов
СП15св	12				998	30	32	ЗТВ
ЭЛС	12	ВДП	960	45	960	40	37	ОМ
		ЭЛП	1010	37	1020	30	28	» »

Примечание. Приведены средние значения по результатам испытаний пяти образцов.

дочного металла составляет приблизительно 70...80 % объема металла шва. Для получения сварного соединения, близкого по прочности основному металлу (ОМ), необходимо применять более легированную присадочную проволоку. Такие свойства при сварке с разделкой кромок обеспечивает сварочная проволока СП15св, разработанная ранее в ИЭС им. Е. О. Патона. Для сравнения сварку с разделкой кромок проводили с использованием присадочной проволоки ВТ6св (табл. 3).

Исследования микроструктуры сварных соединений сплава ВТ6 толщиной 5 мм, выполненных АДС по слою флюса (проникающей дугой) на металле ЭЛП, показали (рис. 2, а-в), что ОМ имеет преимущественно глобулярную структуру, хотя наблюдаются и участки с пластинчатой структурой, а металл шва и околошовного участка ЗТВ характеризуется наличием грубоигольчатой мартенситной α' -фазы.

Соответствующие зоны сварного соединения сплава ВТ6, полученного способом ВДП, имеют аналогичные структуры (рис. 2, г, д).

ОМ, полученный по способу ЭЛП, после прокатки до толщины 5 мм имеет меньшую степень глобуляризации α -фазы в структуре, чем металл, выплавленный ВДП. Отмеченные особенности связаны с некоторыми отличиями в режимах прокатки сплавов, выплавленных различными способами. Однако структуры металла шва и ЗТВ идентичны и сходны со структурой соответствующих участков сварного соединения, выполненного АДС на металле толщиной 3 и 12 мм, хотя

структуры ОМ отличаются (металл, выплавленный ВДП, имеет глобулярно-пластинчатую, а ЭЛП — глобулярную структуру).

Применение флюса при сварке (АДС по флюсу) не внесло существенных изменений в структуру сварного соединения.

Механические свойства ОМ и сварных соединений, полученных способами АДС по слою флюса, АДС с разделкой кромок и ЭЛС после отжига при температуре 750 °С для снятия остаточных напряжений, приведены в табл. 3. Анализ полученных результатов показывает, что сварные соединения, выполненные сквозным проплавлением с одновременной подачей присадочной проволоки СП15св, а также с разделкой кромок этой проволокой, имеют прочность и пластичность практически на уровне ОМ. Эти же соединения, выполненные с присадочной проволокой ВТ6св, имеют показатели несколько ниже как по прочности, так и по пластичности. Что касается ЭЛС, то независимо от способа выплавки сплава прочность сварных соединений находится на уровне ОМ, ударная вязкость металла шва и ЗТВ составляют около 80...85 % ударной вязкости ОМ, что соответствует технологическим рекомендациям, а также требованиям отечественных и зарубежных стандартов к сварным соединениям сплава ВТ6 или его аналога Grade 5.

Разница прочностных характеристик сварных соединений, выполненных на металле, полученных способами ВДП и ЭЛП, незначительна, а ударная вязкость металла шва и ЗТВ зависит не столько от способа выплавки свариваемого ме-

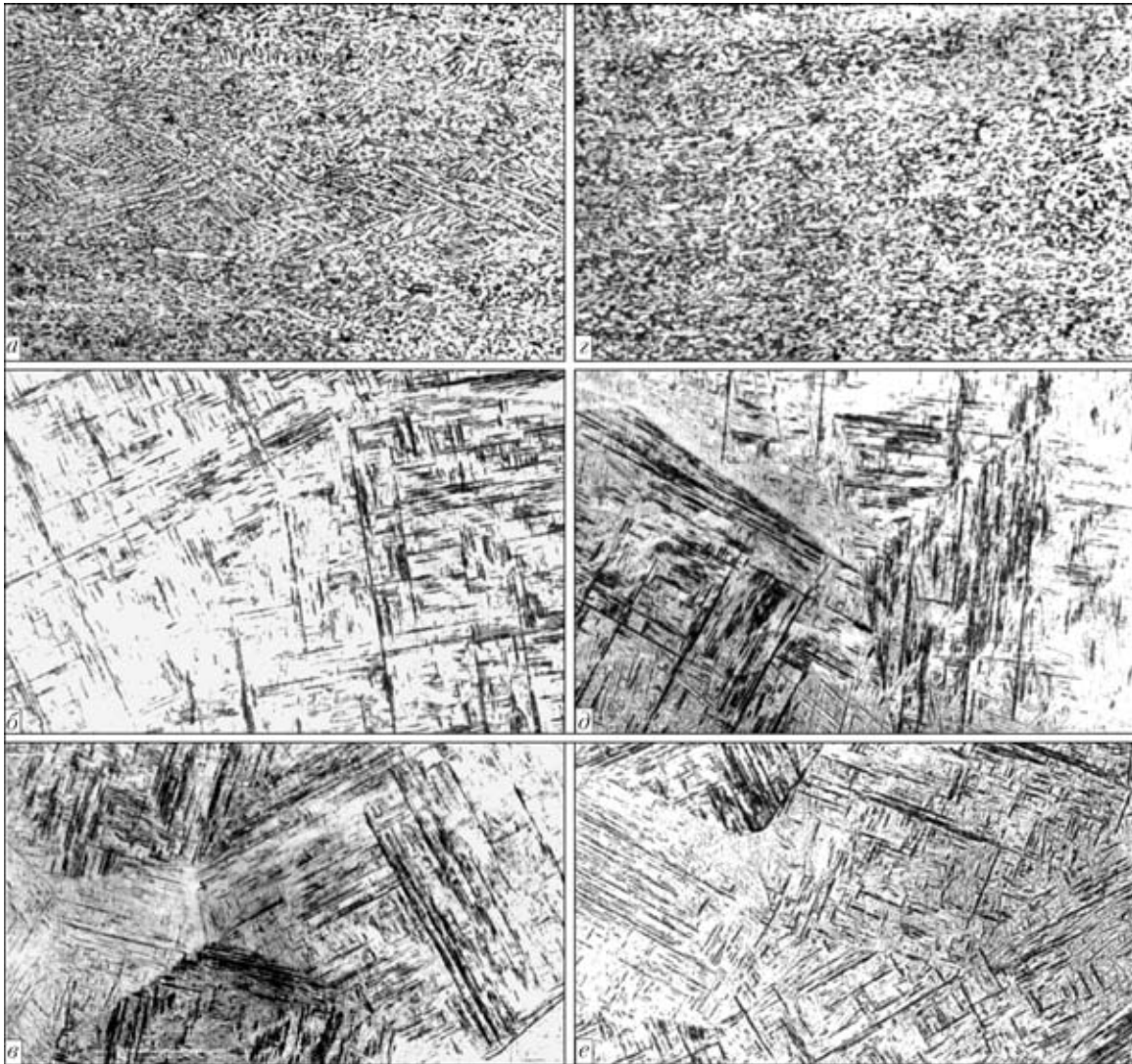


Рис. 2. Микроструктура (X200) металла сварного соединения сплава ВТ6, полученного ЭЛП (а-в) и ВДП (г-е), толщиной 5 мм, выполненного АДС проникающей дугой: а, г — ОМ; б, д — шов; в, е — металл ЗТВ

талла, сколько от способа сварки. Ударная вязкость в металле ЗТВ после АДС выше, чем в шве, в то время как при ЭЛС наблюдается обратная тенденция.

К числу наиболее важных характеристик, определяющих работоспособность сварных соединений из высокопрочных титановых сплавов, относятся также характеристики вязкости разрушения K_{1c} и СРТУ. Вязкость разрушения на воздухе K_{1c} определяет сопротивляемость материала разрушению при статическом или усталостном нагружении при наличии в нем трещин. Оценку величины K_{1c} ОМ и металла сварных соединений титановых сплавов, выплавленных ВДП и ЭЛП, осуществляли в соответствии с нормативным документом ASTM E 399-90.

Испытания сварных соединений титанового сплава ВТ6, проведенные согласно указанной выше методики, позволили определить вязкость разрушения K_{1c} для металла, выплавленного ЭЛП и ВДП, толщиной 12 мм (табл. 4). Анализ полу-

Таблица 4. Показатели вязкости разрушения ОМ и сварных соединений, выполненных ЭЛС

№ образца	Способ выплавки сплава (участок соединения)	K_{1c} , МПа√м
1	ЭЛП (ОМ)	65,9
2		54,0
3		62,6
4	ЭЛП (металл ЗТВ при ЭЛС)	73,9
5		69,4
6		74,2
7	ВДП (ОМ)	62,2
8		61,9
9		54,4
10	ВДП (металл ЗТВ при ЭЛС)	66,8
11		78,3
12		77,9
13		79,3

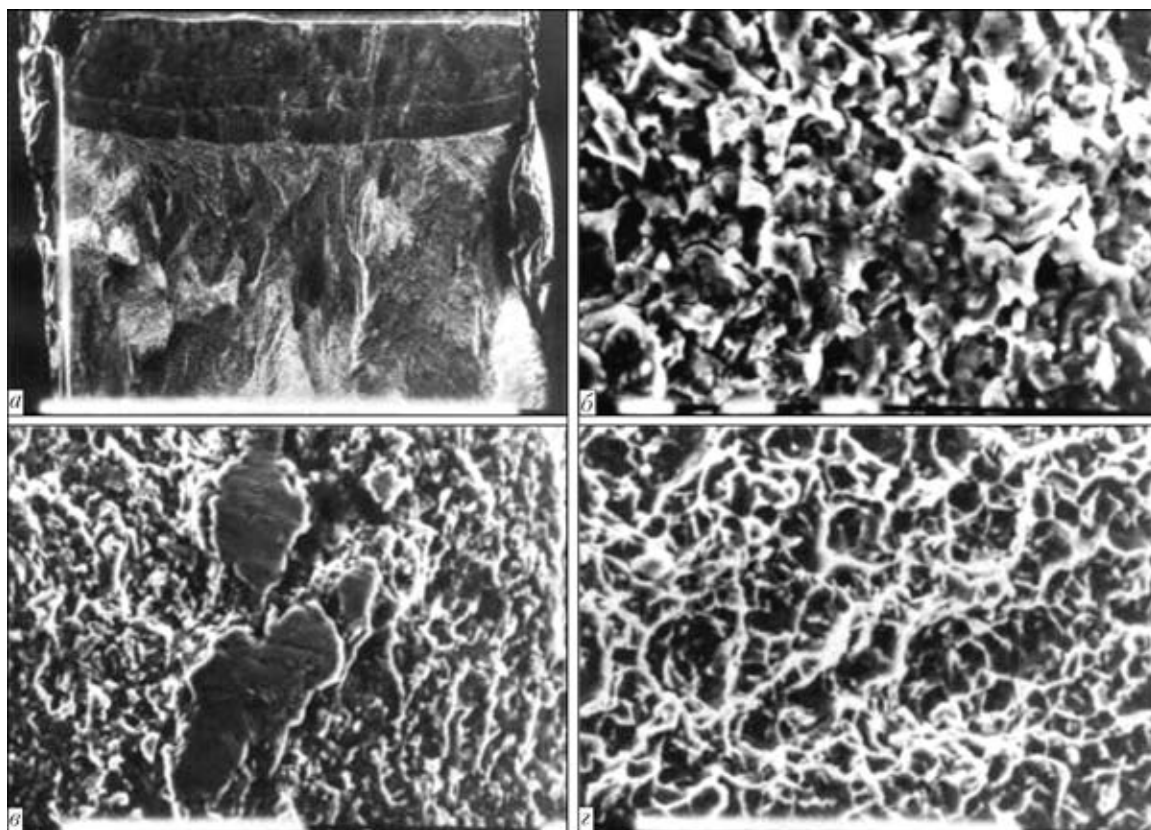


Рис. 3. Вид излома (*a*, $\times 10$) и фрактографическая картина поверхности образца титанового сплава, полученного способом ЭЛП (пояснения *b–г* см. в тексте)

ченных результатов показал, что титановые сплавы, выплавленные методом ВДП и ЭЛП, как и их сварные соединения, очень близки по показателю вязкости разрушения (K_{1c} ОМ соответственно 61,3 и 60,8 МПа $\sqrt{м}$, а K_{1c} сварного соединения — 78,5 и 72,5 МПа $\sqrt{м}$).

Важно отметить, что вязкость разрушения металла сварных соединений выше, чем у ОМ. По мнению авторов работы [8], последнее связано с различной структурой ОМ (преобладает глобулярная) и сварного соединения (пластинчатая крупнозернистая структура). В пластинчатой структуре наблюдаются более резкие изменения направления движения трещин, чем в глобулярной, а иногда и их ветвление с образованием вторичных трещин. Происходящее в результате этих процессов увеличение общей длины трещины требует большей энергии и включает большие объемы металла в работу пластической деформации.

После испытаний исследовали изломы разрушенных образцов. На рис. 3, *a* представлен общий вид поверхности излома ОМ. В его верхней части, где от надреза развивалась усталостная трещина, наблюдаются три ступени ее скачкообразного роста, механизм разрушения является квазисколом с элементами вязкого разрушения (рис. 3, *b*). Переход от зоны распространения усталостной трещины к зоне распространения трещины при статическом нагружении образца представлен на

рис. 4, *в*. В этой части образца преобладает вязкий характер разрушения с участками расслоения, которые, по-видимому, возникают при распространении трещины вдоль устойчивых полос скольжения. Если в начальной зоне распространения магистральной трещины от статической нагрузки на фоне ямочного излома встречаются единичные фасетки квазискола, то по мере ее дальнейшего продвижения элементы квазихрупкого разрушения исчезают, и строение излома становится исключительно ямочным (рис. 3, *г*).

Поверхность излома образца ОМ сплава ВТ6, выплавленного способом ВДП, имеет аналогичное строение.

Несмотря на различие структуры мелкозернистого ОМ и крупнозернистого металла шва, микроструктура изломов образцов сварных соединений, выполненных ЭЛС, сходна со структурой аналогичных участков изломов образцов ОМ. На участке развития усталостной трещины преобладающим механизмом разрушения является квазискол, а переход к распространению трещины от статической нагрузки сопровождается увеличением количества вязких элементов в строении излома.

Таким образом, проанализировав результаты сравнительных испытаний вязкости разрушения ОМ — сплава ВТ6, выплавленного способами ВДП и ЭЛП, и его сварных соединений, выполненных ЭЛС, можно сделать вывод, что для из-

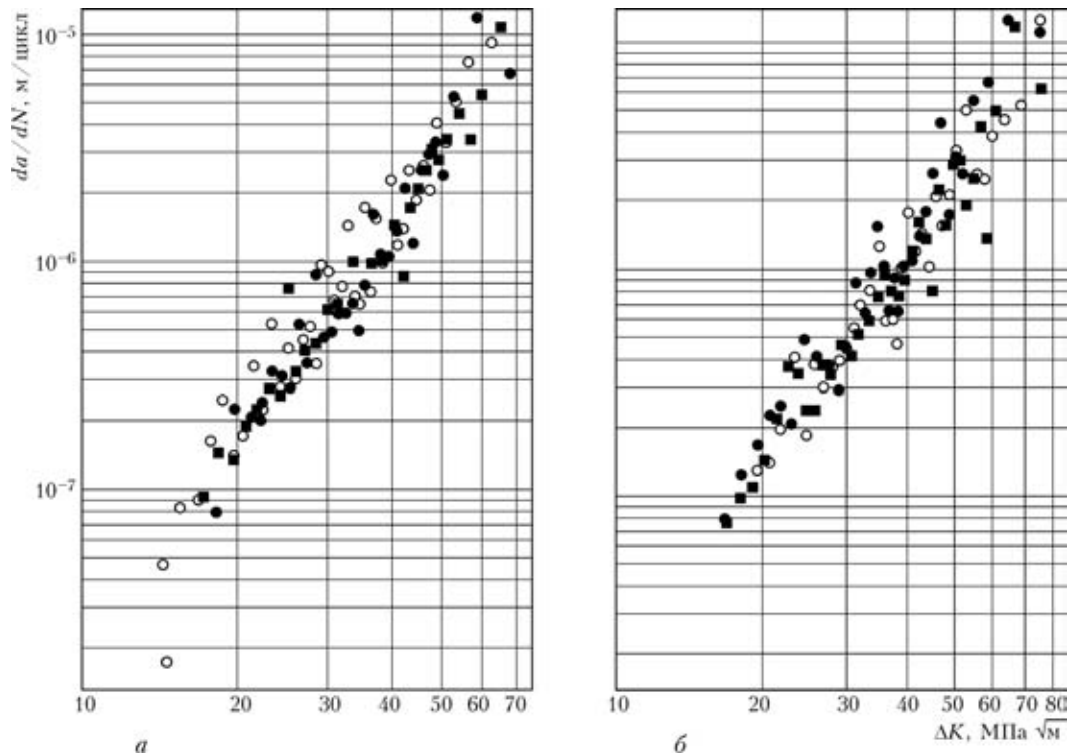


Рис. 4. Кинетическая диаграмма усталостного разрушения металла шва сварных соединений титанового сплава ВТ6, выполненных ЭЛС: а — ЭЛП; б — ВДП

ломов образцов ОМ и металла швов основным механизмом разрушения в зоне развития усталостной трещины является квазискол. При дальнейшем продвижении трещины под действием статической нагрузки в изломах образцов ОМ наблюдается переход к вязкому разрушению, а в изломах образцов металла швов — преимущественно к межзеренному вязкому разрушению.

Усталостные испытания на циклическую трещиностойкость [8, 9] образцов ОМ сплава ВТ6, выплавленного способами ВДП и ЭЛП, и металла швов, выполненных ЭЛС, проводили в соответствии с требованиями стандарта ASTM-E647-93. Испытывали плоские образцы сечением 60×4 мм с центрально расположенным трещиноподобным дефектом. В сварных образцах определяли закономерности роста усталостных трещин при их развитии в металле швов.

Центрально расположенный трещиноподобный дефект выполняли в виде кругового отверстия радиусом 1,5 мм и механических надрезов, равных 1,5 мм. Затем при циклической нагрузке с размахом напряжений, меньшим размаха напряжений при испытании, выращивали трещины в обе стороны надрезов до достижения одной из них длины 1 мм. Полученный центрально расположенный дефект принимали за усталостную трещину для дальнейшего исследования кинетики усталостного разрушения образцов.

Скорость роста усталостной трещины определяли как отношение приращений длины трещины к соответствующему приращению количества

циклов перемен напряжений, а размах коэффициента интенсивности напряжений вычисляли для среднего значения длины трещины. В результате обработки экспериментальных данных построили кинетические диаграммы усталостного разрушения как для ОМ, выплавленного ВДП и ЭЛП, так и для их сварных соединений, выполненных ЭЛС (рис. 4). На полученных кинетических диаграммах усталостного разрушения экспериментальные данные охватывают диапазон изменения скорости от $0,5 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-5} м/цикл и соответствующий этим скоростям диапазон изменения размаха коэффициента интенсивности напряжений от 15 до 75 МПа $\sqrt{\text{м}}$, что соответствует линейному (парисовскому) участку кинетических диаграмм усталостного разрушения.

Фрактографические исследования изломов разрушившихся образцов после усталостных испытаний показали, что в зоне медленного развития трещины как в ОМ, так и в металле швов превалирующим является квазихрупкое разрушение. При переходе в зону ускоренного развития трещины характер разрушения ОМ и сварных швов становится смешанным. Наряду с элементами квазихрупкого разрушения появляются элементы вязкого разрушения, в частности, в швах наблюдаются преимущественно элементы межзеренного вязкого разрушения. В зоне долома наблюдается преимущественно межзеренное вязкое разрушение.

Анализ результатов испытаний циклической трещиностойкости показал, что скорость роста ус-



талостной трещины ОМ титанового сплава VT6, полученного различными способами плавки (ВДП или ЭЛП), а также металла шва их стыковых соединений, выполненных ЭЛС, практически одинакова. Это следует из того, что все экспериментальные данные соответствующих кинетических диаграмм усталостного разрушения с учетом зоны их рассеяния практически совпадают, образуя единую зону рассеяния.

Таким образом, проведенный комплекс исследований показал, что свариваемость и служебные характеристики титанового сплава VT6, полученного различными способами плавки (ВДП или ЭЛП), а также его сварных соединений практически совпадают. Полученные результаты подтверждают перспективность использования передовой технологии ЭЛП для получения титановых сплавов.

Выводы

1. Для получения мелкозернистой однородной структуры в деформированном высокопрочном сплаве (VT6), выплавленном способом ЭЛП, прокатку необходимо вести в β -области до деформации 55...60 % и 40...45 % в двухфазной ($\alpha + \beta$)-области.

2. Для получения оптимальных равнозначных параметров соединений при сварке сплавов, полученных ЭЛП, необходимо увеличивать сварочный ток на 10...12 % по сравнению со сваркой сплавов, полученных способом ВДП.

3. Показано, что независимо от способа выплавки сплава VT6 прочность сварных соединений, выполненных ЭЛС, находится на уровне ОМ, а ударная вязкость металла шва и ЗТВ соответствуют 80...85 % ОМ. Аналогичные характеристики обеспечиваются при АДС с применением сварочной проволоки СП15св.

4. Установлено, что независимо от способа выплавки сплава VT6 вязкость разрушения K_{Ic}

находится на одном уровне, а вязкость разрушения металла швов, выполненных ЭЛС, в обоих случаях выше, чем в ОМ.

5. Титановые сплавы, полученные способом ЭЛП, и их сварные соединения полностью отвечают требованиям стандартов и ASTM и не уступают по качеству сплавам, выплавленным способом ВДП, и соответствующим сварным соединениям.

6. Установлено, что циклическая трещиностойкость ОМ титанового сплава VT6, полученного различными способами плавки (ВДП, ЭЛП), а также металла шва стыковых соединений, выполненных ЭЛС, практически одинакова.

7. Сплавы, выплавленные способом ЭЛП, могут быть рекомендованы к применению в различных отраслях народного хозяйства при изготовлении ответственных сварных конструкций.

1. Mitchel A. The production of high-quality materials by special process // J. Vac. Technol. — 1987. — № 4. — P. 2672–2677.
2. Seagle S. R. New titanium developments in products, processes and applications in the USA // Titanium 1990. Intern. Conf., Dayton, USA, 1990. — Vol. 1. — P. 66–73.
3. Poulsen E., Chinnis W., Mede M. Status of titanium cold hearth melting // Proc. of the Ninth world conf. on titanium. — Saint Petersburg, 7–11 June 1999. — Saint Petersburg: Prometey, 1999. — P. 1541–1544.
4. Некоторые тенденции развития металлургического перелома титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин и др. // Пробл. спецэлектрометаллургии. — 1996. — № 1. — С. 25–31.
5. Электронно-лучевая плавка титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин и др. — Киев: Наук. думка, 2006. — 246 с.
6. Металлография титановых сплавов / Е. А. Борисова, Г. А. Бочвар, М. Я. Брун и др. — М.: Металлургия, 1980. — 464 с.
7. Электронно-лучевая плавка / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. — Киев: Наук. думка, 1997. — 265 с.
8. Боек Д. Основы механики разрушения. — М.: Высш. шк., 1980. — 368 с.
9. Троценко В. Г., Покровский В. В., Прокопенко Д. В. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении. — Киев: Наук. думка, 1987. — 251 с.

The influence of the method of titanium alloy production by the process of vacuum-arc remelting (VAR) or electron beam melting with an intermediate crucible (EBM) on the metal performance and its weldability is considered in the case of medium-alloyed titanium alloy VT6. It is shown that the difference in the strength and ductility properties is negligible. It is established that irrespective of the production process, the fracture toughness KIC of the base metal is on the same level, and fracture toughness of the metal of EB welds is higher than that of the base metal in both the cases. The characteristic of cyclic crack resistance of both the base metal of VT6 titanium alloy produced by different melting processes and of its welded joints is shown to be on the same level.

Поступила в редакцию 26.01.2007



НАГРЕВ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ ПЛОСКОГО ЭЛЕКТРОДА, АКСИАЛЬНО ПОДАВАЕМОГО В ПЛАЗМОТРОН

В. В. ЧИГАРЕВ, д-р техн. наук, **К. А. КОНДРАШОВ**, **Н. А. МАКАРЕНКО**, кандидаты техн. наук, **Н. А. ГРАНОВСКИЙ**, асп. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Изучены особенности нагрева плоского электрода (порошковой плющенко) внутри плазмотрона теплом плазменных дуг в процессе плазменной наплавки комбинированным способом. Установлено, что применение импульсного режима горения плазменных дуг, при котором плоский электрод периодически становится катодом по отношению к неплавящемуся электроду плазмотрона, повышает эффективность его нагрева. Однако при этом увеличивается склонность процесса к шунтированию плазменных дуг плоским электродом.

Ключевые слова: плазменная наплавка, комбинированный способ, плазменная дуга, тепловложение в плоский электрод, импульсный режим, двойное дугообразование, шунтирование плазменной дуги, активные катодные пятна дуги

Плазменная наплавка комбинированным способом, имеющая ряд преимуществ перед другими способами наплавки (возможность визуально контролировать процесс; высокая производительность наплавленного металла [1]; малая глубина проплавления основного металла, позволяющая получать металл заданного химического состава уже в первом наплавленном слое и, тем самым, сэкономить дорогостоящие легированные стали, сплавы и цветные металлы; относительно низкая погонная энергия [2]), обуславливает незначительные термические деформации наплаваемого изделия, снижает риск структурных изменений в основном металле и уменьшает в нем остаточные напряжения.

Проведенные исследования [3] позволили разработать ряд порошковых проволок [4] для использования при плазменной наплавке комбинированным способом. В то же время процесс плазменной наплавки комбинированным способом с применением в качестве плавящегося электрода порошковой плющенко в настоящее время изучен недостаточно, что препятствует его внедрению, несмотря на ряд достоинств: более высокую производительность; возможность регулирования геометрических размеров наплавленного валика и проплавления основного металла за счет изменения расположения плоскостей плющенко относительно вектора скорости наплавки; возможность проведения наплавки изделий из алюминия и его сплавов, для которых изготовление порошковой проволоки, имеющей мягкую непрочную алюминиевую оболочку, проблематично.

Одной из важнейших задач исследований в этом направлении является изучение процессов нагрева [5] порошковой плющенко теплом плаз-

менной дуги. Нагрев плазменной дугой оболочки порошковой плющенко приводит к изменению ее удельного электрического сопротивления, что повышает в ней выделение тепла от проходящего тока собственной дуги. В свою очередь, увеличение температуры оболочки порошковой плющенко ведет к повышению скорости ее плавления, меняет характер массопереноса, влияет на процессы, происходящие в сердечнике порошковой плющенко.

Целью исследований, проведенных кафедрой металлургии и технологии сварочного производства Приазовского государственного технического университета, было установление закономерностей нагрева плоского плавящегося электрода (порошковой плющенко) плазменной дугой при плазменной наплавке комбинированным способом (плавящимся и неплавящимся электродами).

В работе [6] предложен способ определения нагрева плавящегося электрода теплом плазменной дуги при плазменно-дуговой сварке плавящимся электродом, однако этот способ пригоден лишь для оценочной характеристики процесса нагрева и является весьма неточным, на что указывают авторы.

Предложенный ранее способ определения нагрева плавящегося электрода [7] позволяет определить нагрев на различных участках горения плазменной дуги: предсопловом, внутри плазмобразующего канала сопла, на участке видимого вне плазмотрона вылета, а также определить начало процесса шунтирования плазменной дуги плавящимся электродом. Несмотря на достаточную точность способа, он пригоден только для случая применения плавящегося электрода кругового сечения — проволоки. Применение в качестве плавящегося электрода порошковой плющенко, имеющей сечение, близкое к прямоугольному, изменяет условия горения плазменной дуги [8], характер плавления электрода, что делает спо-

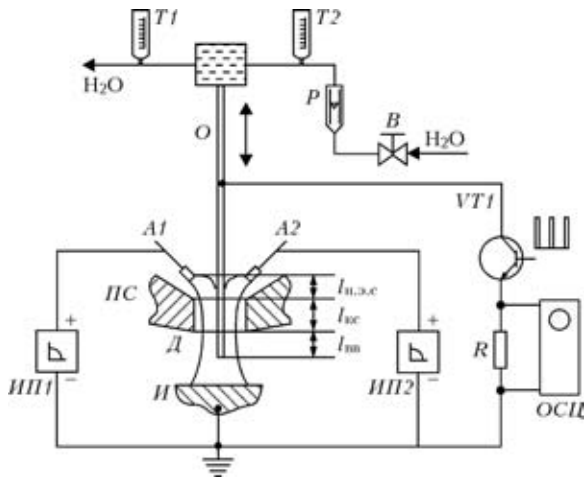


Рис. 1. Схема установки для определения нагрева плавящегося электрода теплом плазменных дуг: $T1, T2$ — термометры; P — ротаметр; B — вентиль; I — изделие; D — плазменная дуга; $A1, A2$ — аноды плазматрона; $ИП1, ИП2$ — источники питания плазменных дуг; R — резистор; $ОСЦ$ — осциллограф

соб, предложенный в работе [7], непригодным для исследования нагрева плоского электрода теплом плазменной дуги.

Следует отметить, что применение для наплавки импульсных режимов горения дуги плавящегося электрода, при которых он периодически становится катодом по отношению к неплавящимся электродам плазматрона [8], ведет к появлению на поверхности плавящегося электрода дополнительных источников нагрева: катодных пятен дуг «плавящийся электрод — неплавящиеся электроды».

В связи с этим возникла необходимость разработать новую методику исследований нагрева плоского плавящегося электрода при плазменной наплавке комбинированным способом, учитывающую перечисленные выше факторы и позволяющую изучить процесс нагрева плоского плавящегося электрода при плазменной наплавке комбинированным способом.

Исследования проводили на установке, функциональная схема которой представлена на рис. 1, методом измерения количества тепла, попадающего в плоский образец-имитатор O сечением 3×6 мм при его нагреве, на различных участках плазменной дуги. Имитатор имел возможность перемещения в осевом направлении (на рис. 1 показано стрелкой).

Порошковая плюшенка нагревается теплом плазменной дуги на следующих участках: предсопловом («неплавящиеся электроды — сопло») $l_{н.э.с}$; в плазмообразующем канале сопла плазматрона $l_{к.с}$ и на участке видимого вылета (вне плазматрона) $l_{в.в}$.

Тепловую мощность, выделяющуюся в имитаторе, определяли по формуле

$$P = C(T_2 - T_1)q, \quad (1)$$

где P — тепловая мощность; C — удельная теплоемкость воды; q — расход воды в секунду.

Измерения проводили последовательным погружением имитатора в различные зоны дуги. При этом вначале определяли тепловую мощность на участке $l_{н.э.с}$, затем имитатор опускали в канал плазмообразующего сопла (ПС) и вновь определяли тепловую мощность, вводимую в имитатор, затем вычисляли тепловую мощность, вводимую в имитатор в канале ПС по формуле

$$P_{к.с} = P_{01} - P_{н.э.с}, \quad (2)$$

где $P_{к.с}$ — тепловая мощность, вводимая в имитатор в канале ПС $l_{к.с}$; P_{01} — общая тепловая мощность на участках $l_{н.э.с}$ и $l_{к.с}$; $P_{н.э.с}$ — измеренная (в предыдущем эксперименте) мощность, вводимая в имитатор на предсопловом участке $l_{н.э.с}$.

Аналогично вычисляли тепловую мощность, вводимую в имитатор на участке видимого вылета:

$$P_{в.в} = P_{02} - P_{01}, \quad (3)$$

где $P_{в.в}$ — мощность, вводимая в имитатор на участке видимого вылета; P_{02} — общая тепловая мощность, вводимая в имитатор при наличии видимого вылета.

Исследования проводили как в непрерывном, так и в импульсном режиме горения плазменных дуг. При импульсном режиме имитатор через балластный реостат периодически подключался к изделию. При этом в момент импульса он становился катодом по отношению к неплавящимся электродам плазматрона и на его боковой поверхности возникали активные катодные пятна [8].

Импульсный режим обеспечивался с помощью периодически отпираемого силового транзистора $VT1$. Длительность импульса тока составляла 3, паузы 7 мс, частота следования импульсов 100 Гц.

Как видно из рис. 2, импульс тока имеет форму, близкую к прямоугольной. Передний фронт импульса более пологий, чем задний, что обусловлено индуктивностью сварочных цепей и источника питания. Прямоугольная форма импульса тока свидетельствует о быстром самопроизвольном зажигании дуг «неплавящиеся электроды плазматрона — плавящийся электрод» и о стабильности процесса горения этих дуг, что позволяет сделать вывод о постоянстве тепловой энергии, вводимой в плоский плавящийся электрод катодными пятнами дуг в течение всего времени прохождения импульса тока.

Изучали также процесс шунтирования плазменной дуги плоским медным образцом. Установлено, что процесс шунтирования в непрерывном режиме начинался при видимом вылете больше, чем в импульсном режиме. Процесс шунти-

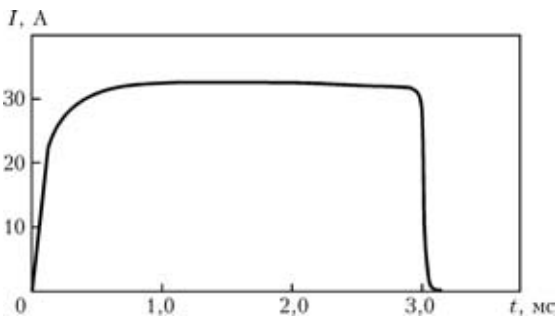


Рис. 2. Форма импульса тока, проходящего через резистор R ($I_{пл1} = I_{пл2} = 90$ А; диаметр плазмообразующего сопла $d_c = 10$ мм; $Q_{Ar} = 5,2$ л/мин; расстояние «сопло–изделие» 14 мм; вылет образца за пределы сопла 3 мм)

рования сопровождался увеличением тепловложения в образец O и оплавлением торца образца. Последнее интенсивнее при импульсном режиме, что свидетельствует о том, что наложение импульсов формирует на поверхности образца активные катодные зоны, которые продолжают существовать и после окончания импульса, облегчая процесс шунтирования плазменных дуг.

Для предсоплового участка была получена зависимость, представленная на рис. 3, *a*, из которой следует, что при импульсном режиме эффективность нагрева плоского электрода выше, чем при непрерывном (кривые 2 и 1 соответственно), что объясняется периодическим появлением на поверхности электрода активных катодных пятен.

В целом возрастание тока плазменных дуг вызывает увеличение теплового потока в порошковую плющенко на предсопловом участке ее нагрева. Эти данные согласуются с описанными в работе [7], характерными для плавящегося электрода круглого сечения. Необходимо отметить, что эффективность нагрева порошковой плющенко даже в непрерывном режиме оказалась несколько выше, чем эффективность нагрева проволоки, исследованная в работе [7], что объясняется несимметричностью порошковой плющенко и нарушением ламинарности газового потока у ее краев (такое нарушение ламинарности потока ведет к более интенсивному теплообмену между плазменной дугой и порошковой плющенко [9]).

С данными работы [7] также согласуются зависимости тепловых потоков в порошковую плющенко на участке «канала сопла» (рис. 3, *б*).

Как и для предсоплового участка эффективность нагрева плоского образца оказалась выше, чем образца круглого сечения. Увеличение теплового потока в образец на участке канала сопла при повышении тока плазменных дуг больше, чем на предсопловом участке, что объясняется сжатием дуги в канале сопла плазмотрона.

В импульсном режиме горения дуги тепловложение в порошковую плющенко на участке $l_{к.с}$ оказывается большим, чем в непрерывном, что не может являться результатом нагрева ее актив-

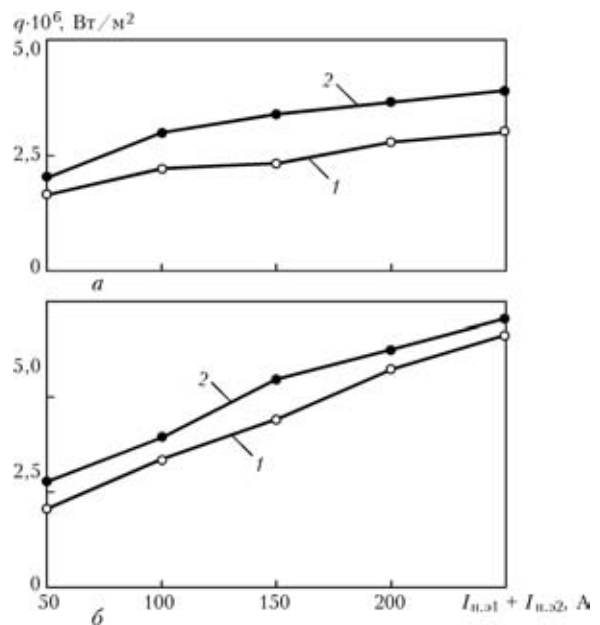


Рис. 3. Зависимость теплового потока в имитатор на участке «неплавящиеся электроды — сопло» (*a*) и плазмообразующего канала сопла (*б*) от суммарного тока неплавящихся электродов при непрерывном (1) и импульсном (2) режиме ($d_c = 10$ мм; $Q_{Ar} = 5,6$ л/мин; $l_{н.э.с} = 5$ мм; $l_{к.с} = 4$ мм)

ными катодными пятнами во время импульсов, так как этот нагрев уже был учтен в исследованиях нагрева порошковой плющенко в предсопловом участке.

Осмотр образца-имитатора после испытаний показал наличие следов эрозии на его торце, а также местных подплавлений торца, что свидетельствует о возникновении дуги между образцом-имитатором и изделием. Таким образом, имеет место шунтирование плазменной дуги при импульсном режиме даже в случае отсутствия вылета образца-имитатора вне плазмотрона.

Процесс шунтирования дуги сопровождается двойным дугообразованием. В этом случае вероятность возникновения двойной дуги описывается принципом минимума Штеенбека, который для данного случая имеет вид

$$U_{н.э.с} + U_{к.с} > U_{а.м} + U_{к.м} + IR_M \tag{4}$$

где $U_{н.э.с}$ — напряжение на участке дуги $l_{н.э.с}$, В; $U_{к.с}$ — напряжение на участке дуги внутри канала плазмообразующего сопла, В; I — ток в имитаторе, А; $U_{а.м}$ — анодное падение напряжения на медном имитаторе, В; $U_{к.м}$ — катодное падение напряжения на медном имитаторе, В.

Учитывая, что $R_M \rightarrow 0$, можно считать

$$U_{н.э.с} + U_{к.с} > U_{а.м} + U_{к.м} \tag{5}$$

Известно [10, 11], что для меди $U_k + U_a = 22...26$ В.

Провести измерения напряжений $U_{н.э.с}$ и $U_{к.с}$ достаточно сложно, так как эти участки дуги находятся внутри плазмотрона. В связи с этим были



проведены измерения напряжений между неплавящимися электродами и зондом, расположенным на выходе плазменной дуги из сопла плазмотрона. В качестве зонда применяли вольфрамовую проволоку диаметром 0,5 мм, непрерывно подаваемую в плазменную дугу. Напряжение регистрировали катодным вольтметром. Результаты измерений показали, что напряжение между анодами плазмотрона и зондом составляет 6...9 В. Из этого напряжения необходимо вычесть 2...3 В прианодного падения напряжения на неплавящемся электроде плазмотрона. Таким образом, согласно принципу минимума Штеенбека, возникновение двойного дугообразования на медном образце-имитаторе невозможно.

В то же время известно [10, 12], что при плазменных процессах, осуществляемых комбинированным способом, между изделием и плавящимся электродом наблюдается слаботочная дуга при электрически нейтральном плавящемся электроде. Возникновение этой дуги, очевидно, связано с самопроизвольным разрядом носителей заряда в плазменной дуге на поверхности плавящегося электрода, вследствие чего между плавящимся электродом и изделием появляется электрический потенциал, приводящий к возникновению слаботочной дуги.

Следует отметить, что возникновение такой дуги существенно облегчается тем, что она горит внутри плазменной дуги, имеющей температуру в 2-3 раза выше, чем дуга плавящегося электрода [12], т. е. существует в условиях внешней принудительной ионизации. При этом с увеличением площади поверхности плавящегося электрода будет возрастать площадь соприкосновения плавящегося электрода с плазменной дугой, что приведет к увеличению количества носителей заряда, разряжающихся на поверхности плавящегося электрода и вызовет возрастание тока дуги между изделием и электрически нейтральным плавящимся электродом. Необходимо отметить, что при таком механизме горения дуги плавящегося электрода на нем будет образовываться лишь одно активное пятно — на торце электрода, роль второго пятна будет выполнять поверхность электрода, погруженная в плазменную дугу. Порошковая плющенко (в отличие от электрода круглого сечения) имеет гораздо большую поверхность по отношению к площади поперечного сечения, в связи с чем описанные выше эффекты при ее применении в качестве плавящегося электрода проявляются намного сильнее, что обуславливает и более высокую эффективность нагрева образца-имитатора плоского сечения.

Однако указанные факторы действуют как при непрерывном, так и при импульсном режимах горения плазменной дуги, в то же время эффективность нагрева плоского имитатора на участке

плазмообразующего канала сопла плазмотрона при импульсном режиме оказывается выше, а его торец имеет следы эрозии и подплавлений. Отмеченные особенности позволяют сделать вывод, что активные катодные пятна на поверхности образца, находящиеся в столбе плазменной дуги, продолжают существовать и после окончания импульса, вследствие чего ток слаботочной дуги возрастает. Следовательно, увеличивается и тепловложение в имитатор. Импульсы тока через имитатор играют роль инициаторов активных катодных пятен на нем, т. е. выступают в роли поджигающих импульсов.

Необходимо отметить, что в имитатор отводится лишь часть тока плазменной дуги, при этом двойное дугообразование не происходит в полной мере, плазменная дуга горит устойчиво с анодов плазмотрона на изделие, т. е. наблюдается лишь частичное шунтирование плазменной дуги.

Известно [10, 11], что на прикатодное падение напряжения оказывает влияние большое количество факторов, в том числе состав газа, материалы анода и катода, наличие в дуге паров металлов.

Учитывая особенности плазменной наплавки комбинированным способом (погружение плавящегося электрода в столб плазменной дуги, являющейся мощным источником внешней ионизации), можно предположить, что в этих условиях прикатодное падение напряжения на медном имитаторе окажется значительно ниже, чем приведенное в работах [10, 11], характеризующее процесс аргонодуговой сварки. В этом случае процессы шунтирования дуги будут протекать более интенсивно.

Изучено тепловложение в медный имитатор при наличии видимого (вне плазмотрона) вылета. Зависимость тепловложения в имитатор от суммарного тока неплавящихся электродов плазмотрона представлена на рис. 4. Как видно из рисунка, интенсивное шунтирование плазменной дуги при непрерывном процессе и вылете 8 мм начинается на токах более 120 А (этому соответствует быстрое увеличение теплового потока в имитатор). При применении импульсного режима процессы шунтирования интенсивно нарастают при токах плазменной дуги 105 А, при этом с возрастанием тока тепловложение в имитатор увеличивается намного быстрее, чем при применении непрерывного режима. Следует отметить, что тепловой поток в плоский имитатор в непрерывном режиме оказывается большим, чем в электрод круглого сечения, а шунтирование дуги наступает при меньших токах плазменной дуги, чем это описано в работе [7].

Полученные данные подтверждают изложенное выше предположение о механизме шунтирования плазменной дуги при плазменной наплавке комбинированным способом с применением в качестве

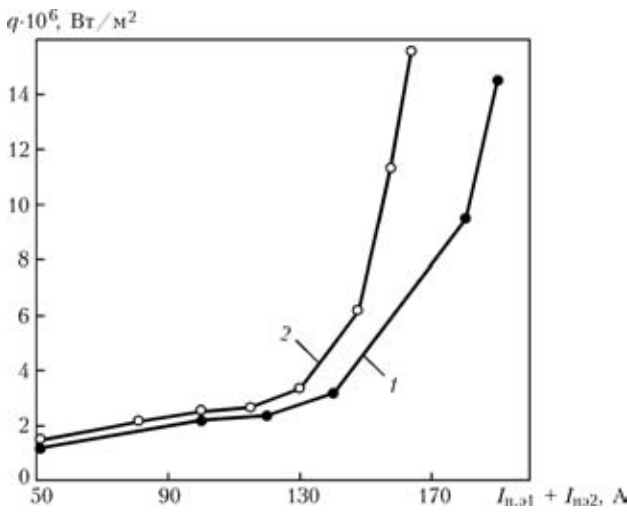


Рис. 4. Зависимость теплового потока в имитатор на участке «неплавящиеся электроды–сопла» от суммарного тока неплавящихся электродов при непрерывном (1) и импульсном (2) режиме ($d_c = 10$ мм; $Q_{Ar} = 6,2$ л/мин; $l_{н.э.с} = 5$ мм; $l_{к.с} = 4$ мм; $l_{в.в} = 4$ мм)

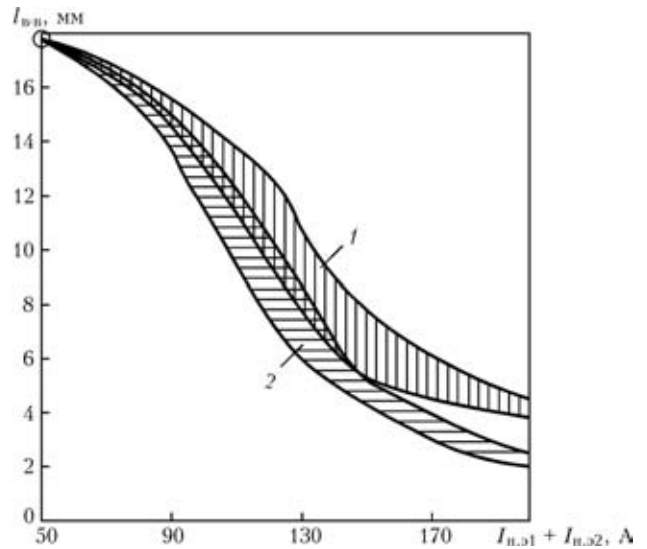


Рис. 5. Зависимость длины видимого вылета имитатора, при котором наблюдается шунтирование плазменной дуги, от суммарного тока неплавящихся электродов при непрерывном (1) и импульсном (2) режиме

плавящегося электрода порошковой плющенко, а также о роли импульсного режима горения плазменной дуги в процессах шунтирования.

Изучено влияние тока плазменной дуги и видимого (вне плазмотрона) вылета имитатора на процесс шунтирования плазменной дуги (рис. 5).

В качестве критерия шунтирования плазменной дуги принимали две величины: первая — начало интенсивного увеличения теплового потока в имитатор (на рис. 5 нижние кривые) и резкое увеличение теплового потока в имитатор (верхние кривые). Кривым соответствуют точки перегиба, показанные на рис. 4.

Из рис. 5 следует, что на режимах, соответствующих точкам, расположенным ниже заштрихованных зон, интенсивного шунтирования нет. Увеличение тока плазменной дуги вызывает прямо пропорциональное возрастание теплового потока в имитатор в зоне, расположенной между кривыми. Шунтирование дуги быстро увеличивается и тепловой поток в имитатор резко возрастает. Точки режимов, расположенные выше заштрихованных областей, соответствуют неустойчивым режимам наплавки, при которых процесс наплавки может нарушиться: возможно двойное дугообразование.

Как видно из рис. 5, с увеличением тока плазменной дуги допустимый видимый вылет плавящегося электрода уменьшается, что необходимо учитывать при разработке технологических процессов плазменной наплавки комбинированным способом с применением порошковой плющенко. В случае применения импульсного режима интенсивное шунтирование плазменной дуги начинается при меньших значениях видимого вылета, что подтверждает роль импульсов тока в имитатор как инициирующих процесс шунтирования.

Импульсный режим горения плазменной дуги следует признать менее устойчивым к двойному дугообразованию. Следовательно, параметры этого режима необходимо выдерживать более точно при производстве наплавочных работ. В практическом применении наплавки критическими параметрами являются ток плазменной дуги и значение видимого вне плазмотрона вылета порошковой плющенко.

Выводы

1. Нагрев плоского плавящегося электрода теплом плазменной дуги выше, чем нагрев электрода круглого сечения. При этом процессы шунтирования плазменной дуги развиваются интенсивнее при применении плоского плавящегося электрода. Импульсный режим горения плазменных дуг увеличивает нагрев плоского электрода и облегчает начало процесса шунтирования.

2. Импульсы тока дуг «неплавящиеся электроды — плоский плавящийся электрод» инициируют процесс начала шунтирования плазменных дуг. При этом с торца плоского электрода возникает маломощная дуга «плоский электрод — изделие», которая подплавляет торец плоского электрода. Установлено ее возникновение даже при нахождении торца плоского электрода внутри сопла плазмотрона.

3. Шунтирование плазменной дуги при импульсном режиме ее горения плоским электродом начинается в условиях, недостаточных для этого процесса (согласно принципу минимума Штеенбека).

1. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. — М.: Машиностроение, 1987. — 187 с.



2. Корниенко А. Н., Макаренко Н. А., Кондрашов К. А. Исследование эффективности нагрева изделия при плазма-МИГ наплавке // Тр. V Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы сварки, металлургии и родственных технологий». — Тбилиси: GWA, 2000. — С. 104–108.
3. Особенности плавления электродной проволоки при наплавке способом плазма-МИГ / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, Н. М. Воропай // Автомат. сварка. — 2001. — № 8. — С. 12–15.
4. Чигарев В. В., Макаренко Н. А., Кондрашов К. А. Особенности плавления порошковой проволоки при плазма-МИГ процессе // Сб. докл. II Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Дуговая сварка. Материалы и качество на рубеже XXI века». — Орел, 2001. — С. 73.
5. Metcalf J. C., Quigley M. B. Heat transfer in plasma-arc welding // Welding J. — 1975. — № 3. — P. 99–103.
6. Акулов А. И., Боженко Б. Л., Ронский В. Л. Нагрев электродного металла при плазменной дуговой сварке плавящимся электродом в аргоне // Свароч. пр-во. — 1983. — № 2. — С. 8–10.
7. Макаренко Н. А. Разработка плазменного процесса с аксиальной подачей порошковой проволоки для наплавки пресс-форм: Дис. ... канд. техн. наук. — Мариуполь, 1999. — 215 с.
8. Чигарев В. В., Кондрашов К. А., Грановский Н. А. Повышение качества наплавленного металла при плазма-МИГ наплавке алюминиевых сплавов // Автомат. сварка. — 2006. — № 6. — С. 22–25.
9. Малаховский В. А. Плазменная сварка. — М.: Высш. шк., 1987. — 80 с.
10. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989. — 263 с.
11. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1970. — 334 с.
12. Ton H. Physical properties of the Plasma-Mig welding arc // Appl. Phys. — 1975. — № 8. — P. 922–938.

The paper presents the data on heating of a flat electrode (flattened flux-cored wire) inside the plasmatron by the plasma arc heat during plasma surfacing by the combined method. It is established that application of the pulsed mode of plasma arc running, in which the flat electrode periodically becomes the cathode relative to the plasmatron nonconsumable electrodes, improves its heating efficiency, while the proneness of the process to shunting of plasma arcs by the flat electrode is enhanced, occurring even in the cases, when the principle of Steinbeck minimum is not observed.

Поступила в редакцию 13.10.2006

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ ТИПА 110Г13Л



В ИЭС им. Е. О. Патона разработана самозащитная порошковая проволока ПП-АНВ2У, обеспечивающая получение качественных сварных соединений из стали 110Г13Л с содержанием никеля в металле шва 8...10 мас. %. Освоена технология полуавтоматической сварки разработанной самозащитной проволокой при изготовлении ковшей карьерных экскаваторов типа ЭКГ-5, ЭКГ-8 и др. Данная технология внедрена на ряде предприятий Украины и стран СНГ (КЦРЗ, Полтавский ГОК, АО «Лензолото» и др.).

Разработанная порошковая проволока ПП-АНВ2У/7, имеющая исключительно высокие пластические характеристики, рекомендуется для выполнения буферных слоев перед износостойкой наплавкой на сталь 110Г13Л с целью предупреждения отколов.

Разработанные порошковые проволоки предназначены для сварки и ремонта деталей из стали типа 110Г13Л, подвергающихся высоким ударным нагрузкам (валы, ковши карьерных экскаваторов, дорожки трековой цепи, решетки угольных комбайнов и другие изделия горнорудного и угледобывающего оборудования).

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 19
Тел./факс: (38044) 289 90 87, 287 10 88

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОДНОПРОХОДНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЬНЫХ ТОКОПОДВОДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Г. В. КУЗЬМЕНКО, инж., **В. Г. КУЗЬМЕНКО**, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Н. В. БОЛОТОВ, инж. (ОАО «Шелеховское специализированное предприятие «Ремонт зданий и сооружений», РФ),
Ю. В. ШЕМЕТ, инж. (ОАО «СибВАМИ» Сибирский научно-исследовательский,
 конструкторский и проектный ин-т алюминиевой и электродной промышленности, г. Иркутск, РФ)

Описана технология однопроходной автоматической электродуговой сварки соединения плата–блумс на электролизерах ОА-300М2 Иркутского алюминиевого завода. В основе новой технологии лежит способ электродуговой сварки закладным электродом. Разработанные технология и оборудование могут применяться для сварки деталей крупного сечения, в том числе и в монтажных условиях.

Ключевые слова: автоматическая электродуговая сварка, подвижный закладной электрод, порошковая проволока, провар, электролизное производство, ошиновка электролизера, катодный стержень

Развитие технологии производства алюминия электролитическим способом сопровождается ростом токовой нагрузки электролизеров. В последние годы спроектированы и построены электролизеры на токи 300 кА и более. При этом предъявляются жесткие требования к системе подвода тока к электролизерам, которая должна обеспечивать минимальные потери электричества в процессе ее длительной (пять и более лет) эксплуатации [1, 2]. Как правило, при проектировании узлов токоподвода предпочтение отдают сварным соединениям как наиболее надежным и обеспечивающим минимальное электрическое сопротивление. Учитывая необходимость пропуска больших токов, элементы токоподвода к электролизерам для производства алюминия имеют достаточно большие сечения, что создает определенные проблемы при выборе способа сварки. Кроме того, стыки чаще всего располагаются в труднодоступных местах, что еще больше усложняет сварочные работы. До последнего времени отсутствовала специализированная сварочная технология и оборудование, обеспечивающие высокопроизводительную сварку токоподводящих узлов.

С июня 2005 г. на Иркутском алюминиевом заводе компании ОАО «СУАЛ» ИркАЗ, г. Шелехов, Иркутская обл., ведется строительство пятой серии электролизного производства (два корпуса по 100 электролизеров с рабочим током более 300 кА) (рис. 1). Согласно проекту на каждом электролизере при его монтаже необходимо сварить 80 стыков сечением 80×220 мм (по 40 с каждой стороны). Эти стыки соединяют стальные

(Ст3) катодные стержни (блумсы) со сталеалюминиевыми переходными бобышками (платами). Последние представляют собой стальную литую деталь (сталь 15Л) с алюминиевым гибким спуском, приваренным к ней с помощью контактной стыковой сварки. Всего при монтаже электролизеров в обоих корпусах требуется сварить 16 тыс. стыков. Работы по сварке указанных соединений необходимо выполнять в стесненных условиях (рис. 2). Размеры рабочей зоны (между шпангоутами катодного кожуха) составляют всего 550 мм по ширине, 1200 мм по высоте и 600 мм по глубине. При этом блумсы располагаются между шпангоутами парами, расстояние между ними составляет 330 мм.

На стадии проработки вопроса специалисты ИркАЗ, СибВАМИ (головная проектная организация) и генерального подрядчика по строительству пятой серии электролизного производства ИркАЗ компании «Шелеховское специализированное предприятие «Ремонт зданий и сооруже-



Рис. 1. Строящийся цех № 9 Иркутского алюминиевого завода



Рис. 2. Катодные стержни (блумсы) электролизера

ний» (ШСП РЗС) рассматривали несколько вариантов сварки указанных соединений: полуавтоматическую электродугую, электрошлаковую, термитную сварку и пр. Однако ни один из них не удовлетворял предъявляемым требованиям по качеству и производительности.

В последние годы в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины был разработан новый высокопроизводительный способ электродуговой сварки закладным электродом [3–5], предназначенный для соединения стыков компактных сечений в узкий зазор. Способ может быть реализован в двух вариантах. Первый — сварка электродом большого сечения (рис. 3, а) — предусматривает использование покрытого пластинчатого электрода с сердечником толщиной 4...6 мм и шириной, равной толщине свариваемых деталей. В процессе сварки осуществляется подача электрода по мере его оплавления. Согласно второму варианту используется закладной электрод в виде плавящегося мундштука, а дополнительный присадочный металл в виде проволоки подается через каналы в сердечнике элект-

рода. При этом электрод может быть как неподвижным (рис. 3, б), так и перемещаемым параллельно свариваемым кромкам в процессе сварки (рис. 3, в).

Данный способ был предложен специалистам ИркаЗ, СибВАМИ и ШСП РЗС в качестве альтернативы для соединения платы с блюмсом в электролизерах ОА-300М2 при строительстве пятой серии электролизного производства ИркаЗ.

На предварительном этапе с руководством ИркаЗ СУАЛ была достигнута договоренность о проведении демонстрации способа сварки закладным электродом в одном из работающих цехов предприятия. С этой целью в г. Шелехов была командирована группа специалистов ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины с необходимым сварочным оборудованием и материалами. С помощью опытного портативного сварочного автомата были сварены натурные образцы блюмсов и плат (рис. 4). На рис. 5 приведен макрошлиф сварного соединения. Следует отметить, что сварку проводили в условиях влияния магнитного поля, в непосредственной близости с токоподводящими шинами, по которым шел ток до 56 кА.

Положительные результаты демонстрации способа сварки закладным электродом убедили руководство ИркаЗ СУАЛ в возможности создания на его основе промышленной технологии, для чего в начале 2006 г. между ИркаЗ СУАЛ, ШСП РЗС и ИЭС им. Е. О. Патона был заключен контракт на разработку технологии, оборудования и сварочных материалов для сварки соединения плата – блюмс.

На первом этапе реализации проекта были проведены эксперименты, целью которых являлся выбор схемы сварки соединения плата – блюмс, наиболее пригодной в конкретных производственных условиях. Выяснилось, что сварка электродом

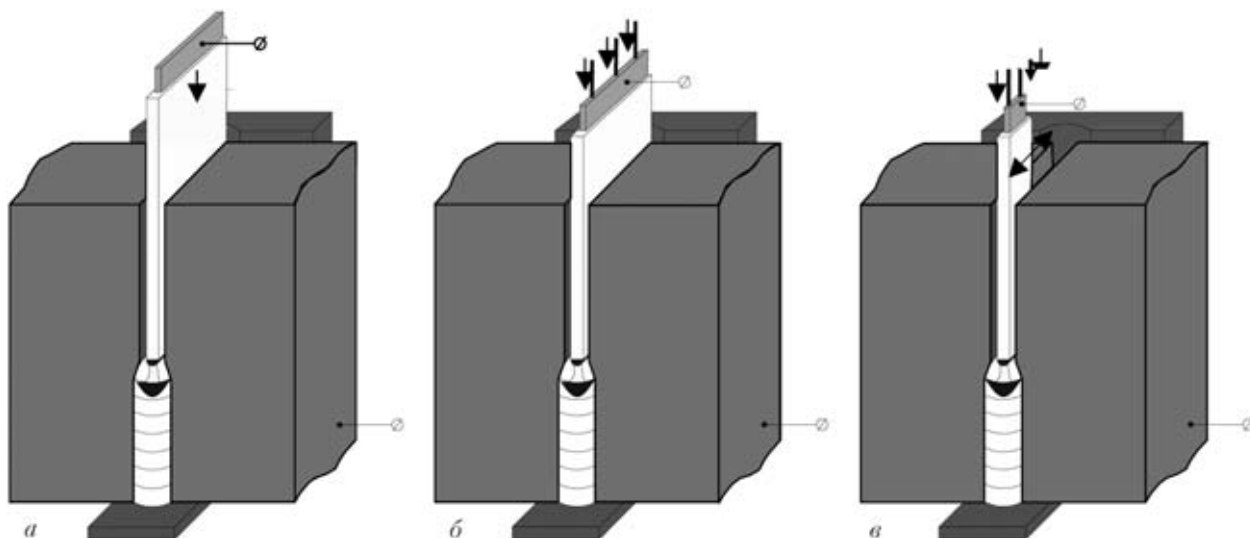


Рис. 3. Схема однопроходной электродуговой сварки закладным электродом большого сечения (а), неподвижным плавящимся мундштуком (б) и плавящимся мундштуком с колебаниями (в)

большого сечения, хотя и позволила получить в лабораторных условиях сварные соединения удовлетворительного качества, не обеспечивала достаточной стойкости швов против пористости и требовала применения специальных электродов, массовое производство которых пока не налажено.

Эксперименты по сварке неподвижным плавающим мундштуком показали, что при данной толщине свариваемых деталей (80 мм) для обеспечения равномерного провара кромок необходимо подавать не менее четырех присадочных проволок, что существенно усложняло оборудование и делало его малоприменимым в монтажных условиях.

В итоге была выбрана схема сварки двумя порошковыми самозащитными проволоками, подаваемыми через два плавящихся трубчатых электрода-мундштука, совершающих возвратно-поступательные перемещения (колебания) в зазоре между свариваемыми кромками для обеспечения их полного провара. Преимущества данной схемы сварки следующие:

- возможность активного воздействия на металлургические процессы в сварочной ванне посредством введения легирующих присадок и раскислителей в сердечник порошковой проволоки;

- относительная простота и компактность оборудования, облегчающие его использование в стесненных монтажных условиях;

- универсальность — возможность сварки деталей толщиной от 10 до 150 мм путем изменения количества используемых электродов (один или два), режимов сварки (от 250 до 900 А) и амплитуды колебаний;

- возможность изготовления электродов промышленным способом на электрообмазочных прессах, что особенно важно при организации их массового производства.

В процессе выполнения работ по контракту специалистами ИЭС им. Е. О. Патона разработано специализированное оборудование (АДПМ-2) и сварочные материалы (проволока ПП АНПМ1), а также трубчатые закладные электроды (АНПМ-8), позволяющие обеспечить требуемые производительность и качество сварных соединений.

Сварочный аппарат марки АДПМ-2 (рис. 6) в комплекте с технологической оснасткой для сборки стыка и формирования сварного шва отличается компактностью, что особенно важно в монтажных условиях. Аппарат имеет два исполнения — для сварки правого и левого блюмса. В качестве источника сварочного тока применяется сварочный выпрямитель ВДУ-1250 фирмы «СЭЛМА».

Технические характеристики аппарата АДПМ-2

Пределы регулирования сварочного тока, А 250...900
Напряжение дуги, В, не более 40
Диаметр электродной проволоки, мм 2,4
Количество электродных проволок, шт. 2

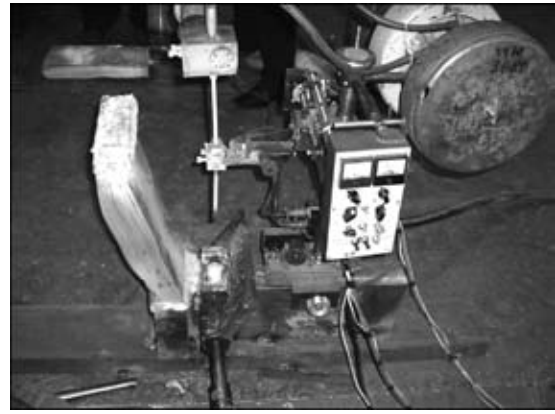


Рис. 4. Натурный образец плата – блюмс



Рис. 5. Макрошлиф сварного соединения (свариваемый материал Ст 3, толщина 80 мм)

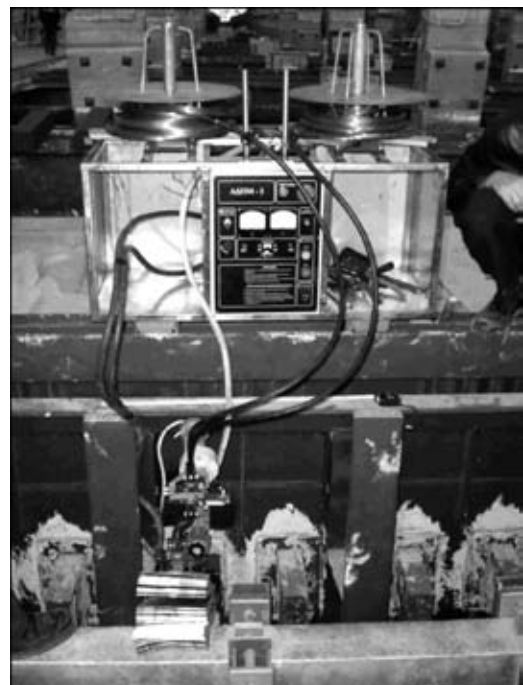


Рис. 6. Аппарат АДПМ-2 для сварки соединения плата – блюмс при монтаже электролизера



Рис. 7. Соединение плата – блюмс до (справа) и после (слева) сварки

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	50...300
Скорость колебаний, м/ч	5...15
Амплитуда колебаний, мм	0...70
Масса, кг:	
головка сварочная	12,8
кондуктор	10,5
шкаф управления (с пустыми катушками для проволоки)	50

Для выполнения работ на пятой серии электролизного производства ИркаЗа было изготовлено и поставлено заказчику в общей сложности десять аппаратов АДПМ-2 (в том числе два опытных) и партия сварочных материалов, проведено обучение персонала, обслуживающего сварочные аппараты в процессе эксплуатации. С участием специалистов ИЭС им. Е. О. Патона в конце 2006 — начале 2007 г. непосредственно на монтаже строящихся цехов № 9 и 10 сварено более тысячи соединений плата – блюмс (рис. 7), в том числе при пониженных температурах (до -25°C). После чего бригада сварщиков ШСП РЗС, полностью освоив технологию и оборудование, приступила к их промышленному использованию. К настоящему времени сварено более 10 тыс. стыков.

Результаты промышленного применения способа сварки закладным электродом, соответствующей сварочной аппаратуры и сварочных материалов показали следующее:

машинное время сварки стыка сечением 80×220 мм при номинальном зазоре 16...18 мм и сварочном токе 600...800 А составляет 10...12 мин, в результате чего достигнута производительность до 15 стыков на одном аппарате в смену с учетом затрат времени на подготовку стыков и установку фиксирующих приспособлений;

разработанное оборудование и технологическая оснастка отличаются достаточной надежностью и благодаря рациональной конструкции могут быть легко отремонтированы в цеховых условиях;

обслуживание оборудования не требует высококвалифицированного персонала, что значительно сокращает сроки освоения технологии;

качество сварных соединений удовлетворяет предъявляемым требованиям по электропроводности.

В целом можно заключить, что электродуговая сварка закладным электродом получила дальнейшее развитие, что позволило создать на ее основе высокоэффективную промышленную технологию, которая может быть рекомендована для использования на других алюминиевых заводах при капитальном строительстве и внедрении электролизеров большой мощности, ремонте катодных устройств в действующих цехах электролиза, где еще до сих пор используются разъемные (болтовые) токоподводы.

1. Ветюков М. М., Цыплаков А. М., Школьников С. И. Электрометаллургия алюминия и магния. — М.: Металлургия, 1987. — 320 с.
2. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия / Под ред. Ю. В. Баймакова, Я. Е. Канторовича. — М.: Металлургия, 1971. — 559 с.
3. Пат. 68361 Украина, МПК В 23 К 9/2. Спосіб електродугового зварювання плавким електродом та електрод для його здійснення / В. Г. Кузьменко, Г. В. Кузьменко. — Оубл. 26.12.2004.
4. Пат. 2219021 РФ, МКИ В 23 К 9.14, 35/36. Способ электродуговой сварки плавящимся электродом и электрод для его осуществления / В. Г. Кузьменко, Г. В. Кузьменко. — Оубл. 29.12.2003.
5. Однопроходная электродуговая сварка закладным электродом металла большой толщины / Г. В. Кузьменко, В. Г. Кузьменко, В. И. Галинич и др. // Автомат. сварка. — 2006. — № 6. — С. 44–49.

Technology of automatic arc welding of plate-blooms: joint in OA-300M2 electrolyzers of Irkutsk Aluminium Plant is described. The new technology is based on the process of embedded electrode arc welding. The developed technology and equipment can be applied for welding large cross-section parts, also in site conditions.

Поступила в редакцию 20.04.2007

АВТОМАТИЧЕСКАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ПАТРОНОВ С ОТРАБОТАННЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **Г. Г. МОНЬКО**, канд. техн. наук,
Д. В. КОВАЛЕНКО, **В. А. ПЕСТОВ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработаны технология автоматической аргонодуговой сварки и оборудование для герметизации патронов П-89 из стали 08X18H10T применительно к утилизации отработанного ядерного топлива Чернобыльской АЭС. Разработка технологии автоматической аргонодуговой сварки колпака к патрону и технологии контрольной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон позволили оптимизировать технические требования к швам для выполнения сварочных работ на монтаже.

Ключевые слова: автоматическая аргонодуговая сварка, контактная сварка, специальная установка, техника и технология сварки, патрон П-89, нержавеющая сталь, отработанное ядерное топливо

В настоящее время для хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на ГСП ЧАЭС используют пеналы со 196 патронами П-89 (рис. 1). В дальнейшем захоронение пеналов предусмотрено в построенном на территории ГСП ЧАЭС хранилище отработанного ядерного топлива (ХОЯТ-2).

Патрон для загрузки ОЯТ спроектирован фирмой «Framatome ANP» (Франция) и изготовлен на ОАО «СНПО им. М. В. Фрунзе» (г. Сумы).

Технологию сварки для герметизации патронов обрабатывали на автоматизированной специализированной установке, разработанной фирмой «Framatome ANP», при приварке (закрывающий шов) колпака к патрону после загрузки ОЯТ с заданным непроваром. После закачки гелия в патрон через отвод штуцера осуществляют контактную сварку, что не регламентировано к применению на АЭС правилами и нормами, действующими в атомной энергетике Украины.

В этой связи необходимо было выполнить следующий объем работ:

разработать технологию сварки и оборудования для приварки колпака к патрону;

выбрать способ сварки и ее оптимальные режимы;

исследовать неразрушающие и разрушающие методы контроля и испытаний для оценки качества сварных соединений патрона;

исследовать коррозионную стойкость сварных соединений;

разработать технологию сварки и оборудования для заварки штуцера патрона;

выбрать способ сварки и определить оптимальные режимы при приварке колпака к патрону после закачки гелия;

использовать неразрушающие и разрушающие методы контроля и испытаний для оценки качества сварных соединений штуцера и патрона;

разработать технологию исправления дефектов, возникших при сварке.

Данная работа выполнена в соответствии с контрактом с фирмой «Framatome ANP», который предусматривал выполнение достаточного количества исследований, необходимых для разработки автоматизированной технологии сварки колпака с патроном и контактной сварки отвода шту-

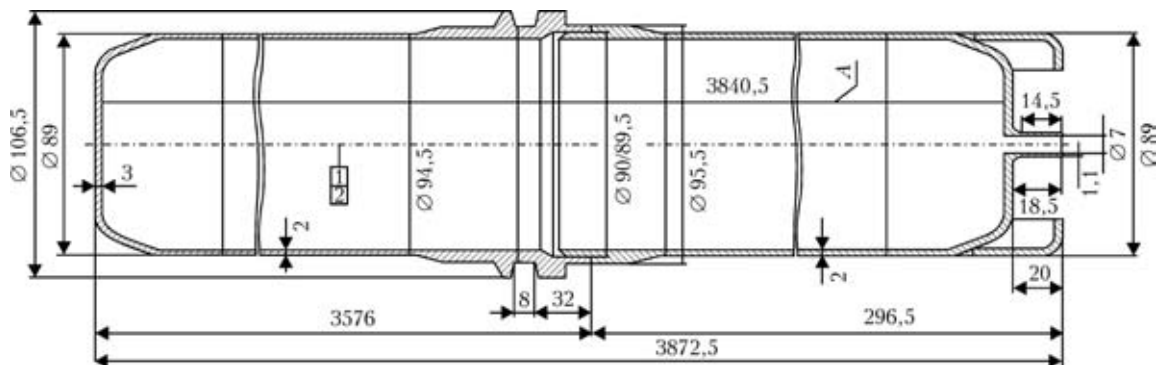


Рис. 1. Схема патрона П-89 для загрузки ОЯТ

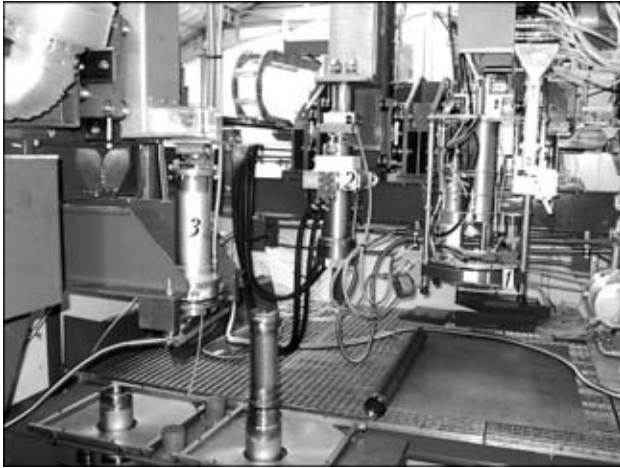


Рис. 2. Общий вид специальной установки для приварки колпака с патроном П-89 в камере: 1 — головка для приварки колпака к патрону; 2 — головка для закачки гелия и приварки герметизации (сварки) отвода штуцера; 3 — головка для контроля патрона на непроницаемость гелием после полного цикла работ по герметизации

цера для закачки гелия в патрон на монтажной площадке ГСП ЧАЭС.

В качестве основного конструкционного материала для патрона применена высоколегированная коррозионностойкая нержавеющей сталь 08X18N10T. Корпус патрона представляет собой трубковидный цилиндрический сосуд, имеющий следующие габаритные размеры: общую длину 3872,5 мм; диаметр 89 мм; длину колпака 276,5 мм; длину штуцера для закачки гелия 21,0 мм. Сварные соединения работают при температуре от -40 до 50 °С в условиях интенсивной радиации, вакуум внутри патрона составляет 400 Па.

Для автоматической аргонодуговой сварки колпака с патроном, контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия и контроля качества швов патрона и штуцера на проницаемость фирмой «Framatome ANP» создана специальная автоматизированная установка с камерой для полного цикла изготовления двух патронов, которая состоит из трех головок (рис. 2).

Для прихватки и сварки разработаны специальные программы, которые вводятся в память компьютера для управления источником питания «Polysoude» и планетарной сварочной головкой (рис. 3).

Технология автоматической аргонодуговой сварки колпака с патроном, загруженными ОЯТ, осуществляется по определенной схеме (рис. 4). Люминесцентная метка шириной 8 мм на станине совмещается с меткой 0' на планетарной сварочной головке. Эту операцию выполняет оператор в ручном режиме, который находится в безопасном помещении и контролирует ее прохождение по монитору компьютера. Затем он подводит сварочную головку с вольфрамовым электродом на стык и в ручном режиме осуществляет контрольный оборот

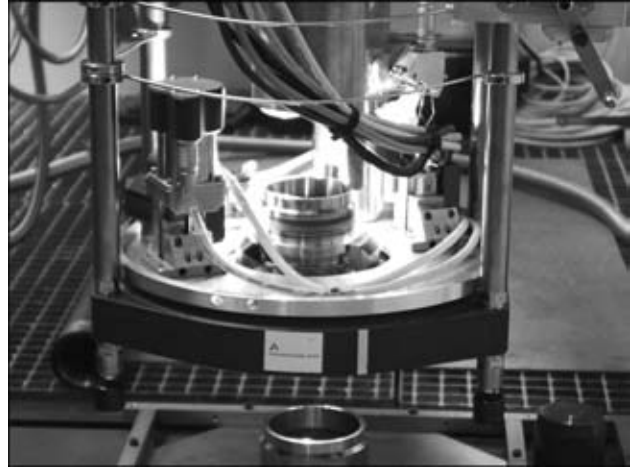


Рис. 3. Общий вид планетарной сварочной головки для выполнения кольцевого шва при сварке колпака с патроном

на 360° по стыку. Если совпадает положение вольфрама-стык, то выполняется следующая операция. При подготовке к прихватке сварочная горелка автоматически возвращается в положение 0'. После включения программы «Прихватка» сварочная горелка устанавливается в положение 0', после чего автоматически поворачивается на угол 240° , останавливается и при сварочном токе $I_{св} = 80$ А способом касания производится прихватка. На рис. 5 представлена циклограмма прихватки.

После прихватки сварочная головка автоматически отклоняется на угол 60° для того, чтобы на мониторе можно было увидеть качество прихватки. Этот процесс длится 10 с, после чего сварочная горелка возвращается в положение 0'. Если прихватка некачественная (не совпадает с положением вольфрама-стык или др.), то оператор выполняет коррекцию вольфрама на стык и процесс повторяется.

Перед автоматической сваркой колпака с патроном в течение 10...15 с осуществляется продувка всей системы аргоном.

Кнопкой «Пуск» по заданной программе сварки сварочная головка возвращается в положение

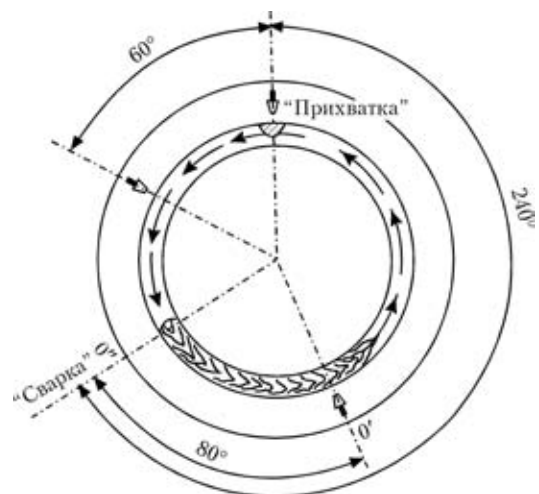


Рис. 4. Схема сварки колпака с патроном

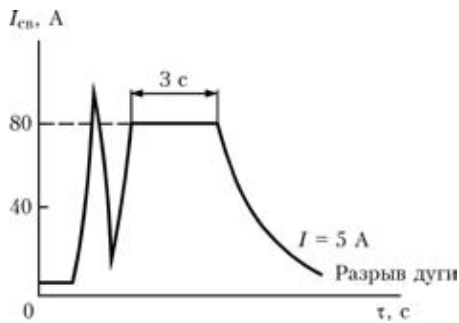


Рис. 5. Циклограмма прихватки колпака к патрону ($U_d = 13$ В)

0'', и на заданном режиме способом касания выполняется автоматическая аргонодуговая сварка колпака с патроном, после окончания которой еще в течение 10 с продолжается подача аргона. На рис. 6 представлена развернутая схема сварки колпака с патроном.

На специальной установке головкой 2 (см. рис. 2) после сварки колпака с патроном осуществляется контактная сварка отвода штуцера для закачки гелия в патрон.

Технология контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон П-89. После приварки колпака к патрону последний поступает на головку 2 (см. рис. 2) специальной установки, где происходит автоматическая закачка гелия в патрон через отвод штуцера, затем сплющивание отвода с усилием P и его контактная сварка, технология которой отработана фирмой «Framatome ANP».

Циклограмма контактной сварки отвода штуцера (рис. 7) включает пять этапов:

зажатие электродов в холодном состоянии (время τ_0 — зажатие с усилием электродов P);

предварительный нагрев при постепенном повышении температуры (линейно нарастающая функция предварительного нагрева в течение τ_1 + + предварительный нагрев в течение τ_2 с интенсивностью I_p);

переходной этап τ_3 в нашем случае сокращен; сварка с линейным нарастанием $I_{св}$ (в течение τ_4 + в течение τ_5);

поддержка зажатия электродов и проковки (τ_6 — зажатие с усилием электродов P).

Опыты, проведенные фирмой «Framatome ANP», подтвердили работоспособность этой спе-

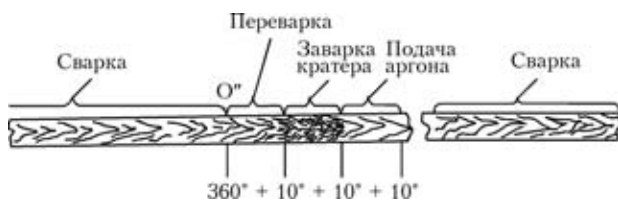


Рис. 6. Развернутая схема сварки колпака с патроном (длина сварного шва $L_{ш} = 298,5$ мм)

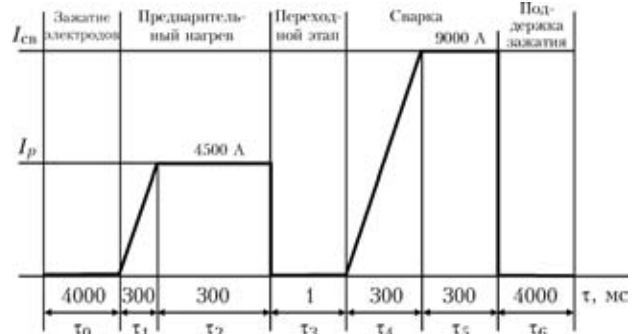


Рис. 7. Циклограмма контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон

циальной установки для контактной сварки отвода штуцера с целью герметизации патрона П-89.

Технология сварки образцов-свидетелей колпака с патроном в ИЭС им. Е. О. Патона. В ИЭС им. Е. О. Патона были проведены опыты по сварке образцов-свидетелей труб с имитацией технологии сварки патронов П-89. Сварку проводили на установке АДСВ-6 с манипулятором сварочным универсальным марки М11010 и источником питания ВСВУ-315У. Сварку выполняли на образцах труб из нержавеющей стали 08Х18Н10Т диаметром 75 мм с толщиной стенки 5,4 мм. Стыковые соединения образца-свидетеля полностью соответствовали чертежам патрона. Образцы-свидетели были получены на режимах сварки, указанных в табл. 1.

Из сваренных образцов-свидетелей изготовлены макрошлифы, исследование которых показало, что с увеличением тока импульса I_n с 120 до 145 А при токе паузы $I_n = 80$ А ширина шва $B_{ш}$ составляет 6,8...7,5 мм, а глубина провара $H_{пр}$ — 2,2...3,0 мм (рис. 8).

Проведены испытания на статическое растяжение при 20 °С (ГОСТ 6996–66, тип XIII) сварных соединений с различной глубиной проплавления, результаты которых представлены в табл. 2.

Анализ свойств сварных соединений, выполненных автоматической аргонодуговой сваркой образцов-свидетелей на трубах диаметром 75 мм из стали марки 08Х18Н10Т, применительно к патрону показал, что швы отличаются достаточно высокой прочностью при минимальной глубине провара $H_{пр} = 1,8...2,0$ мм. Результаты исследований

Таблица 1. Режимы сварки образцов-свидетелей труб

№ образца	$I_n/I_n, А$	$B_{ш}, мм$	$H_{пр}, мм$
1	120/80	6,8...7,0	2,20...2,40
2	125/80	7,4...7,6	2,60...2,75
3	132/80	7,5...7,6	2,80...2,90
4	145/80	7,3...7,5	2,90...3,00

Примечание. $v_{св} = 6$ м/ч; $U_d = 13$ В; время импульса $\tau_n = 0,2$ с; время паузы $\tau_n = 0,3$ с; расход аргона составлял 9 л/мин.

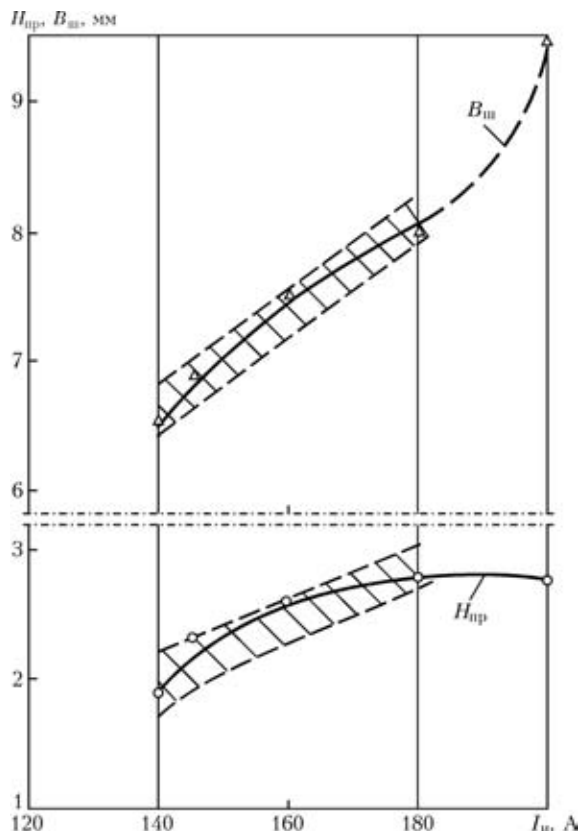


Рис. 8. Влияние тока импульса $I_{и}$ при токе паузы $I_{п} = 80$ А на провар $H_{пр}$ и ширину шва $B_{ш}$ образцов-свидетелей, сваренных в ИЭС им. Е. О. Патона

свидетельствовали о том, что сварное соединение характеризуется стойкостью против межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМ (ГОСТ 6032-4).

Технология сварки колпака с патроном П-89 на фирме «Framatome ANR». Были проведены опыты по автоматической аргодуговой приварке колпака с патроном на натуральных образцах с применением специальной установки фирмы «Framatome ANR» на режимах, приведенных в табл. 3.

Исследования макрошлифов показали, что с увеличением тока импульса от 140 до 180 А при токе паузы 80 А глубина провара изменяется от 1,80 до 2,75 мм, а ширина шва — от 6,5 до 8,0 мм.

Таблица 2. Механические свойства сварных соединений образцов-свидетелей колпака патрона из стали 08X18H10T

№ образца	$\sigma_{св}$, МПа	Содержание α -фазы в металле шва, об. %	$B_{ш}$, мм	$H_{пр}$, мм
1	$\frac{357,5...443,7}{410,2}$	1,8...3,0	7,0	1,8...2,0
2	$\frac{467,7...561,6}{500,6}$	1,8...3,5	7,5	2,4...2,6

Примечание. Приведены результаты испытаний не менее трех образцов.

Установлено, что оптимальная глубина провара $H_{пр} = 2,4...2,6$ мм, а ширина шва $B_{ш} = 6,5...7,5$ мм достигается при следующем режиме сварки: $I_{и} = 160...180$ А; $I_{п} = 80$ А; $\tau_{и} = 0,2$ с; $\tau_{п} = 0,3$ с; $U_{д} = 13,5$ В; $v_{св} = 6$ м/ч; расход аргона 15 л/мин.

Дальнейшее повышение тока импульса до 200 А при токе паузы 80 А увеличивает ширину шва до 9,5 мм, проплавляя только толщину «уса» нахлесточного соединения. Это объясняется малой ($l = 12$ мм) длиной нахлестки, а также наличием зазора (воздушной прослойки). Поэтому повышение тока импульса свыше 180 А не целесообразно.

Контроль качества сварных соединений при герметизации патрона. Для контроля качества сварных соединений следует применять установки и аппаратуру, которые должны отвечать требованиям ПНАЭ Г7-010-89. Допускается применение установок и аппаратуры, не указанных в стандартах (например, полученных по импорту), при условии, что это обеспечивает выполнение всех требований ПНАЭ Г7-010-89 и согласовано с головной материаловедческой организацией.

Контроль качества замыкающего кольцевого шва при приварке колпака к патрону производится разработанной ИЭС им. Е. О. Патона автоматической системой контроля, а контроль на непроницаемость гелием — головкой 3 (см. рис. 2). При этом операции выполняются в следующей последовательности:

создается вакуум внутри колпака головки 3, герметично установленного на колпак патрона с заваренным отводом штуцера (уровень вакуума ниже 400 Па);

измеряется вакуум;

заполняется гелием патрон при давлении $1 \cdot 10^4$ Па;

измеряется давление гелия внутри патрона;

Таблица 3. Режимы приварки колпака с патроном на специальной установке фирмы «Framatome ANR»

Обозначение образца	$I_{и}/I_{п}$, А	$B_{ш}$, мм	$H_{пр}$, мм
P1	160/80	7,5	2,4...2,6
P2	160/80	7,5	2,4...2,6
P3	140/80	6,5	1,8...2,0
P4	150/60	6,5	—
P5	140/80	6,5	—
P6	180/80	8,0	2,75
P7	180/80	8,0	—
P8	160/80 (Ремонтная сварка)	—	—
P9	200/80	9,5	2,60...2,75

Примечание. $v_{св} = 6$ м/ч; $U_{д} = 13,5$ В; $\tau_{и} = 0,2$ с; $\tau_{п} = 0,3$ с; расход аргона составлял 15 л/мин при длине сварочных кабелей и шлангов 35 м.



подается сигнал о наличии утечки гелия в изделии.

При контроле герметичности скорость утечки гелия в обоих швах (автоматического аргонодугового кольцевого, выполненного при сварке колпака к патрону и контактного, выполненного при сварке отвода штуцера) не должна превышать $1 \cdot 10^{-5}$ Па·м³·с⁻¹.

Технология исправления дефектов после сварки. Исправлению подлежат все дефекты (недопустимые отклонения от установленных правил контроля показателей), выявляемые в сварных соединениях при их неразрушающем контроле. При исправлении дефектов при приварке колпака к патрону допускается применение следующих технологий:

повторная автоматическая аргонодуговая пересварка стыкового кольцевого шва при приварке колпака к патрону;

полное удаление сварного кольцевого шва механическим способом с заменой нового колпака и выполнением сварного соединения на автома-

тизированной установке по принятой технологии сварки;

удаление дефектного сварного шва механическим способом с помощью специального приспособления в камере сварки патрона.

Для исправления дефектов при контактной сварке отвода штуцера для закачки гелия применяются следующие технологии:

повторная контактная сварка;

полное удаление сварного кольцевого шва механическим способом с заменой нового колпака и выполнением сварного соединения на автоматизированной установке по вновь принятой технологии сварки;

закачка гелия и контактная сварка отвода штуцера.

Таким образом, проведенные исследования технологии автоматической аргонодуговой сварки колпака с патроном и технологии контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон П-89 позволили оптимизировать технические требования к швам для выполнения сварочных работ на монтаже при захоронении ОЯТ на ЧАЭС.

Technology of automatic argon-arc welding and equipment for sealing P-89 cartridges from steel 08Kh18N10T for Chernobyl NPP nuclear waste disposal have been developed. Development of the technology of automatic argon-arc welding of the cap to the cartridge and technology of test welding of the nozzle tap for helium pumping into the cartridge allowed optimization of technical requirements to welds for performance of welding operations in site.

Поступила в редакцию 25.01.2007

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Сваркой трением удается успешно соединять материалы, отличающиеся по своим механическим и теплофизическим характеристикам, а также материалы, вступающие в процессе совместного нагрева в химическое взаимодействие и образующие хрупкие интерметаллические соединения.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны технологии и режимы сварки трением различных металлов и сплавов в однородном и разнородном сочетании и созданы промышленные технологии сварки конкретных изделий из различных комбинаций металлов и сплавов, в том числе:

- инструментальных сталей с конструкционными (составной концевой металлорежущий инструмент);
- коррозионностойких сталей с конструкционными (валы химических насосов, ролики отделочных машин текстильного производства);
- жаропрочных сталей с конструкционными (биметаллические клапаны двигателей автомобилей, роторы турбокомпрессоров дизелей);
- легированных высокопрочных сталей с углеродистыми равного и неравного сечения (корпуса гидроцилиндров, штоки поршней, валы аксиально-поршневых гидромашин);
- термически упрочненных и нагартованных алюминиевых сплавов (панели из сплава АМгбНПП со шпильками из сплава Д16Т);
- меди и алюминия с металлокерамикой (контакты электроаппаратуры);
- меди, бронзы и латуни со сталью (блоки цилиндров аксиально-поршневых гидромашин);
- алюминия и его сплавов со сталью (биметаллические переходники для приборов авиакосмической техники);
- алюминия с медью (переходники для электротехнической промышленности);
- титана со сталью.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 26

Тел.: (38044) 261 53 55, 261 58 01. Факс: (38044) 287 63 29, 287 42 54. E-mail: chvertko@paton.kiev.ua



РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ БРОНЗ

В. В. КОРЧЕМНЫЙ, инж., **Н. В. СКОРИНА**, канд. техн. наук, **В. А. АНОШИН**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены характеристики и некоторые особенности технологии изготовления покрытых электродов для ручной дуговой сварки и наплавки алюминиевых бронз, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона. Установлена оптимальная температура прокалки электродов, обеспечивающая низкую склонность покрытия к поглощению влаги.

Ключевые слова: дуговая наплавка, алюминиевая бронза, покрытые электроды, обмазочная масса, режимы термообработки, сварочно-технологические свойства, наплавленный металл, химический состав, погонная энергия, механические свойства

Алюминиевая бронза широко применяется в разных отраслях промышленности благодаря высоким механическим и физическим свойствам (жаропрочности, коррозионной стойкости, низкому коэффициенту трения и т. д.). Для экономного расходования этого дефицитного и дорогого цветного металла применяют наплавку — эффективный способ восстановления размеров изношенных деталей и изготовления биметаллических изделий с заданными эксплуатационными характеристиками.

Наиболее простым и дешевым способом является ручная дуговая наплавка (сварка) покрытыми электродами. Анализ зарубежных проспектов показывает, что в развитых странах многие фирмы-производители электродов (Alunox, МТС, УТР и др.) имеют в своей номенклатуре несколько марок электродов для сварки и наплавки бронз. Вместе с тем высокая стоимость импортных электродов ограничивает их использование в требуемых объемах на предприятиях Украины.

Учитывая, что в Украине отсутствует производство электродов для сварки и наплавки алюминиевых бронз, в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины был проведен комплекс научно-исследовательских работ по созданию таких электродов. В результате исследований предложены специальные покрытые электроды марки АНБА-1 со стержнями из стандартной проволоки БрАМц9-2.

Обычно к основным требованиям к электродам относят: необходимость обеспечения заданных служебных свойств наплавленного металла, требуемых сварочно-технологических характеристик электродов и приемлемой технологичности их изготовления. Как правило, сварочно-технологичес-

кие свойства электродов и качество наплавленного металла в значительной мере обусловлены выбором связующего и шлакообразующей системы электродного покрытия, поэтому большое внимание было уделено подбору именно этих составляющих покрытия.

При выборе основы шлаковой системы наилучшие результаты получены при использовании в составе покрытия электродов криолита и фторидов щелочноземельных металлов. Криолит, который является легкоплавким и низкогигроскопичным компонентом, имеет низкую плотность, хорошо смачивает поверхность наплавленного металла и характеризуется малой химической активностью к металлу сварочной ванны, способствует растворению пленки оксида алюминия. Благодаря способности взаимодействовать с парами воды с образованием фтористого водорода фтористые соли щелочноземельных металлов снижают склонность металла к образованию пор.

В качестве связующего электродных покрытий выбрали натрийкалиевое жидкое стекло, которое характеризуется минимальной водоудерживающей способностью и обеспечивает стабильный процесс горения дуги. Были определены оптимальные параметры жидкого стекла и условия технологии изготовления, которые обеспечивают устойчивый процесс приготовления обмазочной массы (что предотвращает опасность комкования) и требуемую стабильную во времени консистенцию обмазочной массы. Последняя характеризуется плавным режимом экструзии при опрессовке электродов (рис. 1) и достаточно высокой прочностью сырого покрытия на электроде.

Гигроскопичность покрытий электродов определяли по увеличению их массы ΔW в результате поглощения влаги в гидростате с постоянной влажностью 84 % (насыщенный раствор бромистого калия при комнатной температуре).

Выбраны оптимальные условия термообработки электродов. Как показали исследования, оптимальной является температура прокалки электродов 300 °С. В этом случае достигается мини-

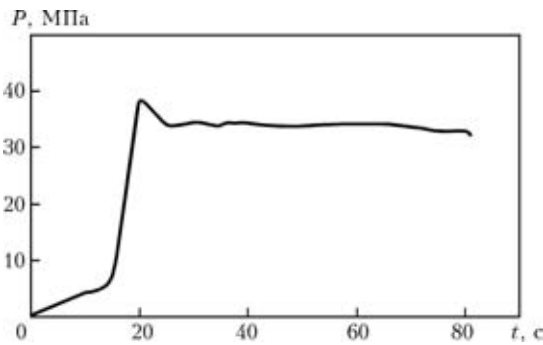


Рис. 1. Кривая экструзии обмазочной массы электродов марки АНБА-1 (фильера $\varnothing 4,0$ мм при расходе массы $Q = 1 \text{ см}^3/\text{с}$)

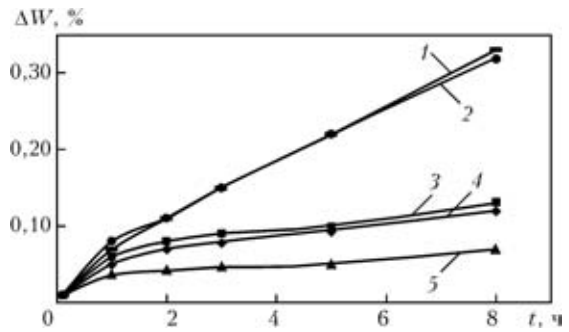


Рис. 2. Кинетика поглощения атмосферной влаги покрытием электродов АНБА-1, прокаленных при разных температурах: 1 — 100; 2 — 150; 3 — 200; 4 — 250; 5 — 300 °С

мальная гигроскопичность покрытия (рис. 2) и обеспечиваются требуемые сварочно-технологические свойства электродов. Дальнейшее повышение температуры прокалки незначительно отражается на гигросорбционной способности покрытий, но увеличивает энергозатраты на изготовление электродов.

Проведена сравнительная оценка сварочно-технологических свойств электродов АНБА-1 с российским аналогом ЛПИ-73. Для каждой марки электрода проводили одно- и трехслойную наплавку на пластину из стали марки 09Г2С. Исследования показали, что при наплавке наблюдается стабильный процесс горения дуги, мелкокапельный перенос электродного металла с минимальным разбрызгиванием. Несколько большие потери электродного металла на разбрызгивание наблюдали при наплавке электродами ЛПИ-73. Поверхность валиков мелкочешуйчатая, с плавным переходом к основному металлу. При наплавке электродами ЛПИ-73 шлаковая корка отделялась несколько хуже. Визуальный контроль валиков и поперечных макрошлифов пор не выявил, лишь в кратере первого слоя при многослойной наплавке электродами ЛПИ-73 имелась трещина.

Проведенные испытания показали, что сварочно-технологические свойства электродов АНБА-1 выше, чем у электродов ЛПИ-73. Химический состав металла, наплавленного электродами АНБА-1 и ЛПИ-73, соответствует составу низколегированной алюминиевой бронзы (табл. 1).

Учитывая, что медные сплавы при наплавке на сталь склонны к проникновениям по границам зерен основного металла [1–3], проведены исследования микрошлифов наплавки с помощью оптического микроскопа. Металлографический анализ показал, что при погонной энергии 29 кДж/см в отдельных местах наблюдали межкристаллитные проникновения алюминиевой бронзы в сталь (рис. 3, а). Глубина проникновений составляла не более 0,2 мм. При уменьшении погонной энергии наблюдалась тенденция к снижению количества проникновений и

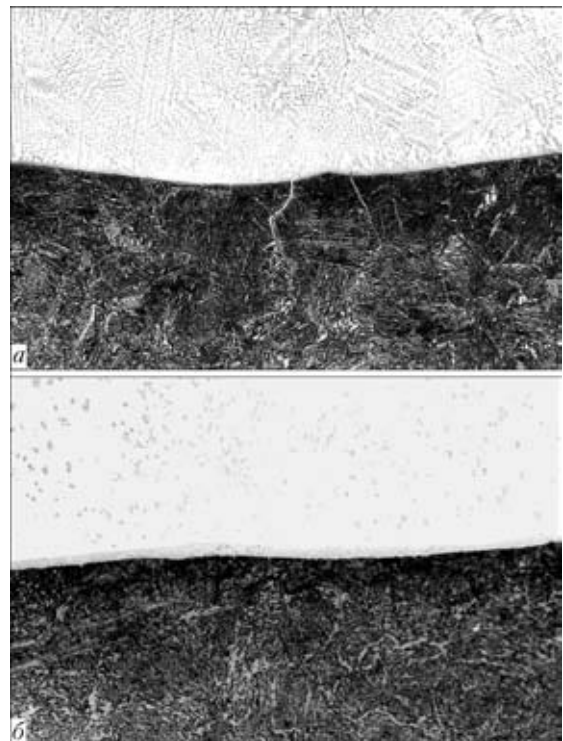


Рис. 3. Микроструктуры ($\times 200$) зоны сплавления алюминиевой бронзы со сталью при разных значениях погонной энергии: а — $q_{п} = 29$; б — 22 кДж/см

при значении 22 кДж/см проникновения в сталь уже отсутствовали (рис. 3, б). В работе [4] показано, что проникновение медного сплава в сталь на глубину до 0,8 мм не влияют отрицательно на прочность биметаллического соединения.

Таблица 1. Химический состав металла литой бронзы и металла, наплавленного покрытиями электродами, мас. %

Материал	Cu	Al	Mn	Fe	Ni	Si	
Бронзовое литье БрА9Мц2Л по ГОСТ 473–79	Основа	8,0...9,5	1,5...2,5	—	—	—	
Металл, наплавленный на сталь, электродами:	АНБА-1	8,0	1,8	3,6	0,7	0,5	
	ЛПИ-73	Основа	6,5	1,6	4,5	2,8	0,8



Таблица 2. Механические свойства металла литой бронзы и металла, наплавленного электродами АНБА-1

Материал	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	Твердость HB
Бронзовое литье БрА9Мц2Л по ГОСТ 473–79	150	400	20	—	90...120
Металл, наплавленный электродами АНБА-1	$\frac{207,7...216,3}{212,0}$	$\frac{549,8...562,2}{556,0}$	$\frac{37,2...42,0}{39,6}$	$\frac{35,5...45,5}{40,5}$	$\frac{146...162}{154}$

Исследования механических свойств металла, наплавленного электродами АНБА-1, проводили путем измерения прочностных свойств и твердости по Бринеллю. Испытания на статическое растяжение проводили на круглых пропорциональных образцах с диаметром рабочей части 6 мм (ГОСТ 6996–66). Результаты испытаний приведены в табл. 2. Анализ механических свойств показал, что у литой бронзы БрА9Мц2Л прочностные характеристики ниже, чем у наплавленной алюминиевой бронзы, твердость в наплавленном металле выше, чем в литом, что объясняется содержанием в наплавленной бронзе железа и никеля.

Опытное производство небольших партий новых электродов освоено в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

1. Милуценко С. Л., Гамов Н. С. Особенности формирования структуры и свойств алюминиевой бронзы, наплавленной на сталь // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1981. — С. 99–105.
2. Джевага И. И., Лебедев Ю. М., Иващенко Г. М. Исследование зоны сплавления сварного соединения углеродистой стали с алюминиевой бронзой // Автомат. сварка. — 1970. — № 8. — С. 11–14.
3. Тимофеев В. Н., Исаев Н. И. Наплавка сплавов меди на стальные поверхности // Там же. — 1965. — № 4. — С. 34–37.
4. Вайнерман А. Е. Влияние проникновений медного сплава на свойства соединений, полученных наплавкой медных сплавов на стали // Наплавка металлов: Л.: ЛДНТП, 1970. — Ч. 2. — С. 25–35.

The paper gives the characteristics and some features of the technology of manufacturing coated electrodes for manual arc welding and surfacing of aluminium bronzes developed at the E. O. Paton Electric Welding Institute. The optimum temperature of electrode baking is determined, which guarantees a low susceptibility of the coating to moisture absorption.

Поступила в редакцию 29.03.2007

ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ТИТАНОВЫХ СЛИТКОВ ИЗ НЕДОСЕПАРИРОВАННОГО ГУБЧАТОГО ТИТАНА В СЕКЦИОННОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА

Снижение затрат при получении губчатого титана и его переплаве в слитки является основной производственной задачей. Один из способов ее решения заключается в сокращении на 20...30 % времени технологических процессов магнийтермического восстановления титана из его хлоридов с последующей отгонкой продуктов реакции в вакууме (сепарация). Это позволяет на 20 % снизить расход энергоносителей и увеличить срок службы дорогостоящего оборудования для получения губчатого титана. Полученный по сокращенному циклу губчатый титан содержит до 1 мас. % соединений хлора вместо 0,08 по стандарту. Губчатый титан с повышенным содержанием хлоридов может быть переплавлен в слитки с помощью процесса индукционной плавки в секционном кристаллизаторе. Суть этого метода заключается в том, что при помощи индуктора небольшой высоты в охлаждаемом медном кристаллизаторе создают зону с высокой напряженностью электромагнитного поля, в которой производят расплавление и рафинирование металла, который подают порциями во время плавки. Для последовательного формирования слитка зону перемещают вдоль кристаллизатора или оставляют ее неподвижной, а слиток вытягивают из кристаллизатора.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 20
 Тел./факс: (38044) 287 60 57
 E-mail: shapovalov@paton.kiev.ua
<http://www.paton.kiev.ua>



УДК 621.791.03-52

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ

А. Е. ПИРУМОВ, инж., **И. О. СКАЧКОВ**, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»),
С. А. СУПРУН, канд. техн. наук **С. Ю. МАКСИМОВ**, д-р техн. наук
 (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены структура и функциональные возможности мобильной информационно-измерительной системы, предназначенной для регистрации электрических и временных параметров процесса дуговой сварки с последующей статистической обработкой и графической интерпретацией полученных результатов.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, дуговая сварка, электрические и временные параметры, регистрация, статистическая обработка, графическая интерпретация

Развитие информационных технологий существенно расширяет область применения компьютерной техники в сварке. Совершенствование оборудования, применяемого для управления сварочными процессами и измерения энергетических параметров сварочной дуги, сопровождается поиском инструментов, способных обеспечить получение прогнозируемой оценки качества изготовленной продукции.

Одним из таких инструментов является информационно-измерительная система (ИИС), разработанная совместно кафедрой электросварочных установок НТУУ Украины «Киевский политехнический институт» и Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Она предназначена для регистрации электрических и временных параметров процесса дуговой сварки с последующей статистической обработкой и графической интерпретацией полученных результатов.

ИИС (рис. 1) состоит из персонального компьютера, оснащенного специализированным программным обеспечением «IMS2006», функционирующим в среде операционной системы Windows Me/2000/XP, внешнего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и набора датчиков. АЦП Е-140 (Л-Кард, Россия) обеспечивает непрерывный сбор аналоговых данных на частотах дискретизации от 0,122 до 100,0 кГц [1]. В базовом варианте ИИС комплектуется датчиками тока и напряжения, обеспечивающими гальваническую развязку цепи и измерение тока до 300 А и напряжения до 500 В. При необходи-

мости пользователь может использовать датчики с нормализованным уровнем выходного сигнала до 10 В любого функционального назначения. Структурная схема ИИС приведена на рис. 2.

Основные технические данные разработанной ИИС следующие: количество аналоговых входов — 16 или 32 (в зависимости от способа подключения к источнику сигнала); количество аналоговых выходов — 2; 16 входных и 16 выходных цифровых TTL-совместимых линий. Диапазон



Рис. 1. Общий вид ИИС



Рис. 2. Функциональная схема ИИС

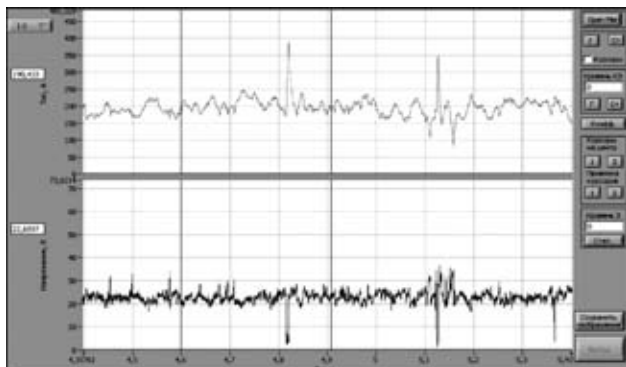


Рис. 3. Основное окно программы обработки данных

входных напряжений каналов аналогового ввода — не более 10 В [1].

С помощью программного обеспечения ИИС оцифрованный сигнал по предварительно заданным параметрам записывается в файл в формате знакового целого двухбайтного числа на жесткий диск персонального компьютера. Обработка данных основана на статистическом анализе электрических сигналов, получаемых с датчиков (например, тока сварки и напряжения дуги, скорости подачи проволоки и перемещения сварочной головки, расхода защитного газа и др.).

При записи сигналов пользователь имеет возможность выбрать номер канала получения данных, установить частоту работы АЦП, задать коэффициент усиления, указать имя файла для записи, а также создать паспорт испытания. После записи сигналов на жестком диске создается двоичный файл с данными. По желанию пользователя система позволяет при записи сигналов включать опцию управления выходными цифровыми линиями, что дает возможность программировать цикл технологического процесса.

В основном окне программы обработки данных (рис. 3) отображаются осциллограммы записанных сигналов, с которыми пользователь может выполнять следующие операции: масштабирование, определение мгновенных значений, сохранение изображения. В основном окне программы также находятся кнопки для перехода к подпрограммам обработки данных. С их помощью пользователь может перейти к расчету основных ста-

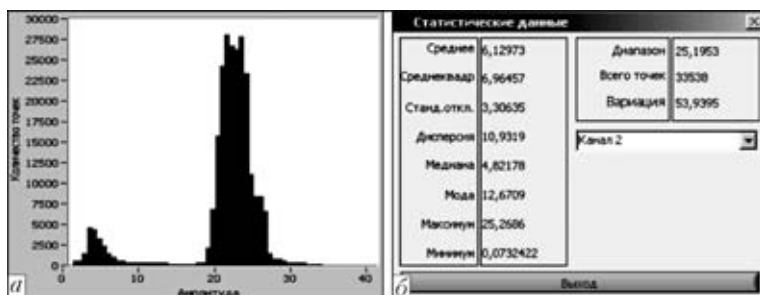


Рис. 4. Окно построения гистограммы (а) и окно статистической обработки сигнала (б)

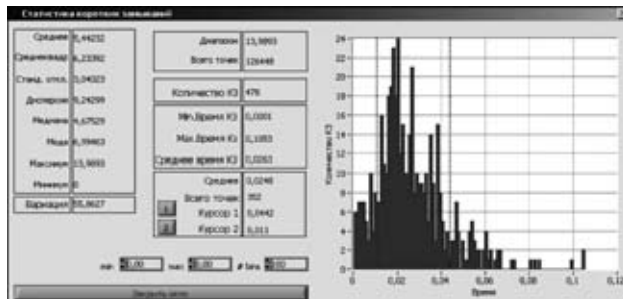


Рис. 5. Окно статистической обработки значений коротких замыканий сварочной дуги

тистических характеристик и построению различных гистограмм. Базовой версией программы обработки предусмотрены следующие режимы расчета параметров сигналов.

1. Расчет статистических характеристик и построение гистограмм (рис. 4) для всех значений осциллограммы или выбранного участка, находящегося между двумя курсорами (положение курсоров задаются пользователем вручную). В программе предусмотрена возможность рассчитывать для выбранного канала записанных данных следующие характеристики: среднее и среднеквадратическое значения, стандартное отклонение, дисперсию, моду и медиану сигнала, коэффициент вариации, определять значения минимума, максимума и размаха сигнала, объем массива данных, выбранного для расчетов [2]. Пользователь имеет возможность выбрать и произвести расчет данных соответствующих параметров, а также сохранить изображение гистограммы амплитудных значений сигнала.

2. Расчет статистических характеристик и построение гистограмм продолжительности коротких замыканий сварочной дуги (рис. 5). Для обработки программа отбирает значения, находящиеся выше (для сигнала сварочного тока) или ниже (для сигнала напряжения на дуге) уровня коротких замыканий, который устанавливает пользователь.

Пользователь имеет возможность получить характеристики описательной статистики, а также информацию по средней, минимальной и максимальной продолжительности коротких замыканий с отображением их гистограммы.

3. Расчет статистических значений и построение гистограмм времени зажиганий сварочной дуги (рис. 6). Подпрограмма работает по алгоритму, аналогичному описанному в п. 2, с той лишь разницей, что для обработки отбираются значения, соответствующие уровню возбуждения сварочной дуги.

Кроме того, для указанной версии программы предусмотрена возможность расчета минимального значения напряжения холостого хода, необходимого

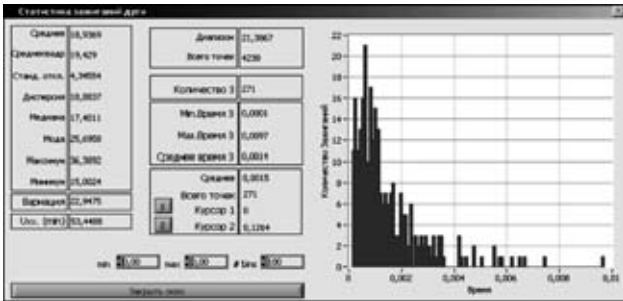


Рис. 6. Окно статистической обработки значений зажигания

для надежного возбуждения сварочной дуги. Такая характеристика полезна при исследовании новых электродных материалов для сварки. Расчет производится по зависимости, предложенной в работе [3]

$$U_{x,x}(\min) = \frac{\bar{x} + 3\sigma^2}{\sqrt{2}}$$

где \bar{x} — среднее значение напряжения зажигания дуги; σ^2 — дисперсия значений напряжения зажигания дуги.

4. Для наглядности исследователь имеет возможность получить вольт-амперную характеристику для указанного участка осциллограммы, рассчитать частоты с помощью преобразований

The paper deals with the structure and functional capabilities of a mobile information-measuring system designed for recording electrical and time parameters of the arc welding process with subsequent statistical processing and graphic interpretation of the obtained results.

Фурье, а также скорость нарастания тока для выбранного участка.

Описанная ИИС прошла успешное апробирование при исследовании процесса автоматической подводной мокрой сварки [4].

Разработанная ИИС полезна исследователям, работающим в области создания сварочных материалов и исследования технологических процессов. Система мобильна, что расширяет область ее применения, проста в использовании. Обработка информации может происходить как сразу после эксперимента, так и в любое другое время. Получаемая информация легко преобразуется в графики и таблицы, что является полезным при написании отчетов и заключений об исследуемом сварочном материале или процессе сварки.

1. Кодоркин А. В. Е-140. Руководство пользователя. — М.: L-Card, 2003.
2. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. — М.: Сов. радио, 1975. — 472 с.
3. Методика определения стабильности дуги переменного тока / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, А. Е. Марченко и др. // Автомат. сварка. — 1979. — № 12. — С. 16–18.
4. К вопросу применения нейронных сетей для контроля качества сварных соединений при подводной сварке / И. О. Скачков, А. Е. Пирумов, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // Там же. — 2006. — № 6. — С. 27–31.

Поступила в редакцию 19.12.2006

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
А. В. Лавренюк (ИЭС) защитил 6 июня 2007 г. кандидатскую диссертацию на тему «Трехфазно-двухфазный источник питания постоянного тока для сварки в среде CO₂». Диссертационная работа посвящена дальнейшему раз-

витию теории, проектирования и расчета источников питания (ИП) для сварки в CO₂ традиционного типа.

В результате проведенного анализа характеристик двухфазных схем выпрямления определено, что применение схем с параллельным соединением выпрямителей при построении сварочных ИП нерационально, так как ведет к значительному сужению пределов регулирования сварочного напряжения, которое составляет до 25 %.

Установлено, что оптимальным вариантом двухфазной схемы выпрямления при построении сварочных ИП является двухфазная схема с последовательно включенными выпрямителями, которые построены по двухполупериодной схеме со средней точкой.

Разработан ИП для сварки в CO₂, построенный на базе двух последовательно соединенных выпрямителей, одного — управляемого, другого — неуправляемого, питание которых осуществляется от трехфазно-двухфазного трансформатора.

Силовая схема нового сварочного ИП позволяет обеспечить плавное тиристорное регулирование сварочного напряжения с исключением провалов сварочного тока и напряжения до нуля во всем диапазоне регулирования, а также повышенное начальное значение напряжения ИП за счет интегрированного в схему диодно-конденсаторного умножителя напряжения (ДКУ), что обеспечивает высокие сварочные свойства такого ИП. При



этом разработанный ИП прост по конструкции и надежен.

Разработана методика расчета комбинированной ВАХ нового ИП, которая еще на этапе проектирования позволяет, зная значение наклона ВАХ ИП, получать соответствующие параметры сварочного трансформатора либо решать обратную задачу.

Разработаны новые конструкции трехфазных и трехфазно-двухфазных трансформаторов с витыми магнитопроводами, применение которых дает возможность снизить массу и стоимость до 28 % в сравнении с существующими аналогами. Новые конструкции могут использоваться как при построении сварочных ИП с различными наклонами ВАХ, так и в других электротехнических устройствах.

Созданы оптимизационные математические модели новых конструкций трансформаторов, позволяющие получить оптимальные по массе и стоимости параметры трансформатора с заданными характеристиками.

Исследования влияния параметров ДКУ на надежность установления процесса сварки в CO_2 показали, что при напряжении умножителя 110 В и емкости его конденсаторов 4500 мкФ при сварке проволоками диаметром 0,8 и 1,2 мм обеспечивается стабильно надежное зажигание дуги с первого касания проволокой изделия. Его применение также позволяет значительно снизить напряжения холостого хода сварочного трансформатора.

На базе известных и проведенных исследований получена зависимость оптимальной скорости нарастания сварочного тока при коротком замыкании дугового промежутка от диаметра электродной проволоки, которая позволяет определять среднее оптимальное значение индуктивности для различных диаметров проволок, избежав трудоемких экспериментов.

Определено, что при сварке в CO_2 для обеспечения наименьшего разбрызгивания (до 4 %) следует применять дроссель, магнитопровод которого не насыщается в течение короткого замыкания.

Экспериментально уточнена динамическая схема физических процессов в системе «ИП — сварочная дуга в среде CO_2 », что позволило определить новые критерии для оценки сварочных свойств ИП.

В качестве критериев оценки сварочных свойств ИП предложено использовать комплексный анализ точечной динамической ВАХ совместно с осциллограммами и гистограммами распределения значений сварочного тока и напряжения, а также с временными характеристиками коротких замыканий, что позволит проводить адекватное сравнение ИП.

В результате сравнительного анализа сварочных свойств опытного образца ИП и серийно выпускаемых выпрямителей типа ВС-300Б и КИГ-401 определено, что опытный образец обладает более высокими сварочными свойствами и имеет значительно меньшую массу и габариты чем аналоги.

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины

В. В. Савицкий (ИЭС) защитил 7 июня 2007 г. кандидатскую диссертацию на тему «Определение остаточных напряжений методом электронной спекл-интерферометрии».

Диссертация посвящена разработке метода определения остаточных напряжений в узлах и элементах конструкций на основе использования электронной спекл-интерферометрии.

В настоящее время существуют различные методы определения остаточных напряжений. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Наибольшее распространение при исследовании напряженного состояния конструкций получил метод электротензометрирования в сочетании с методом отверстий, который состоит в том, что для упругой разгрузки напряжений высверливается несквозное отверстие. В определенных точках окрестности созданного отверстия с помощью тензорезисторов измеряют деформации и, используя данные измерений, вычисляют значения остаточных напряжений, которые существовали в зоне сверления. Следует отметить, что на данный момент — это единственный экспериментальный метод определения остаточных напряжений, применение которого регламентировано международным стандартом. Однако этот метод имеет недостатки, связанные с использованием тензорезисторов — это и требование специальной подготовки поверхности исследуемого объекта, наклейка тензорезисторов, сложные механические системы позиционирования устройства для высверливания, значительная база измерений и др.

В диссертационной работе показана возможность определения остаточных напряжений с помощью метода электронной спекл-интерферометрии.

Разработаны алгоритмы определения остаточных напряжений по данным измерений перемещений методом электронной спекл-интерферометрии в окрестности высверленного отверстия. Разработан компактный прибор, который позволяет определять напряженное состояние в узлах и элементах конструкций в лабораторных и промышленных условиях. Предложены помехоустойчивые алгоритмы обработки спекл-картин, которые обеспечивают однозначность определения ос-



таточных напряжений и исключают влияние оператора на результат измерений.

Проведено математическое моделирование, которое позволило повысить точность определения напряжений. Предложен подход, который дает возможность определять нормальную компоненту тензора напряжений при исследовании напряженного состояния методом отверстий.

Выполнена экспериментальная оценка точности измерения перемещений и определения остаточных напряжений методом электронной спеклинтерферометрии. Исследованы особенности распределения остаточных напряжений в элементах и узлах конструкций.

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Беспроволочный паяльник, включающий узел жала для паяльника, питаемого с помощью электропитания, содержит два электрода, каждый из которых имеет требуемое электрическое сопротивление 1500 мкОм или больше, теплопроводность, меньшую чем 10 британских тепловых единиц в час на фут-градус Фаренгейта (БТО/ч-фут·°F) или равную этой величине. Приведены и другие отличительные признаки. Патент 76813. А. Драгош, А. Григор (Хайперин Инновейшнл Инк., США) [9].

Машина для контактной стыковой сварки оплавлением «Чайка», отличающаяся тем, что подвижный зажим установлен на основе, подвешенной на четырех плоских пружинах, установленных на корпусе машины, в состав привода оплавления и осадки дополнительно входят коромысло, установленное с возможностью поворота вокруг оси. Приведены и другие отличительные признаки. Патент 77255. В. Г. Чайка, Д. В. Чайка [11].

Модифицирование структуры заготовки, при котором обеспечивается относительное перемещение между энергетическим пламенем и заготовкой так, что область заготовки плавится и расплавленный материал смещается, образуя выступ на первом участке области и отверстие на другом участке области. Приведены и другие отличительные признаки. Патент 77348. Д. Б. Г. Ирвайн, К. Ю. Д. Крофорд (Дзе Велдинг Инститют, Великобритания) [11].

Способ обустройства стационарной базы для сварки труб в трубные секции, отличающийся тем, что участок продольного сведения и вращения труб, свариваемых в трубные секции, монтажа центрирующего устройства выполняют укладкой опорного горизонтального слоя параллельных труб и размещением на них перпендикулярно, как минимум, двух пар параллельных труб в горизонтальной плоскости, причем трубы используют из сортамента, подлежащего сварке. Патент 65371. А. Ф. Иткин, Ю. Н. Дёмин, Л. Н. Пачее и др. [11].

Способ электродуговой наплавки чугуна, отличающийся тем, что наплавку осуществляют со скоростью, величину которой устанавливают в зависимости от режима в соответствии с выражением $v = (4,6...5,0) \cdot 10^{-3} IU$ м/ч, где I — величина сварочного тока, А; U — величина напряжения на дуге, В. Декларативный патент 18206. С. В. Щетинин, В. И. Щетинина (Приазовский ГТУ) [11].

Способ электродуговой односторонней сварки, отличающийся тем, что впереди между кромками насыпают флюс и в контакте с кромками U-подобной ленты перпендикулярно подают дополнительно плоский ленточный электрод, ширину которого устанавливают в зависимости от ширины U-подобной ленты в соответствии с выражением $B_1 = (0,9...1,0)B$, где B — ширина U-подобной ленты, мм; B_1 — ширина плоской ленты, мм. Декларативный патент 18207. С. В. Щетинин (То же) [12].

Способ электродуговой односторонней сварки труб, отличающийся тем, что внутри трубы вокруг штанги размещают виток сварочного кабеля, по которому пропускают ток, величину которого устанавливают в зависимости от сварочного тока в соответствии с выражением $I_1 = (0,66...0,7)I$, где I — величина сварочного тока, А, и создают вдоль электромагнитное поле. Декларативный патент 18208. С. В. Щетинин (То же) [12].

Сварочный трактор, отличающийся тем, что пульт управления, кассета для электродной проволоки, бункер для флюса, правильный механизм, подающий и прижимной ролики, мундштук и механизм корректировки положения угла наклона электрода раздельно закреплены на корпусе вертикально расположенного червячного редуктора. Приведены и другие отличительные признаки. Декларативный патент 18452. К. Г. Шердыц [11].

Способ электромагнитной сварки, отличающийся тем, что в процессе пропускания тока кромки пластично деформируют со скоростью, величину которой выбирают в зависимости от толщины металла, сварочного тока и механического давления в соответствии с выражением $v = (9...10) \cdot 10^7 \frac{\delta}{IP}$ м/с, где δ — толщина металла, мм; I — сварочный ток, протекающий по кромкам, А; P — механическое давление, МПа. Патент 18209. С. В. Щетинин (Приазовский ГТУ) [11].

Способ изготовления полиметаллической порошковой проволоки, отличающийся тем, что контейнер заполняют шихтой, после чего методом прессования продавливают через формующую втулку, с последующим заполнением этим стержнем желоба, образованного стальной лентой, ширина которой оставляет 0,7...0,9 длины круга прессованного стержня, и перетягивают полученный полимерный стержень до диаметра 3...9 мм. Декларативный патент 18586. А. Г. Гринь, В. М. Карпенко, И. А. Бойко, В. В. Швороб (Донбасская государственная машиностроительная академия) [11].

* Приведены сведения о патентах Украины, опубликованных в официальных бюллетенях «Промислова власність» 2006 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



Покрывание электродов для ручной дуговой сварки, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит кварцевый песок, ферросплав на основе марганца дополнительно содержит кремний, а в качестве связующего используется водный раствор калийсодержащего силиката при следующем соотношении компонентов, мас. %: 49...54 рутилового концентрата;

6...10 карбоната кальция; 10...19 силаката; 4...7 кварцевого песка; 13...16 ферросплава на основе марганца и кремния; 2...10 органических материалов; 25...30 к массе сухой шихты связующего в виде водного раствора калийсодержащего силиката. Декларативный патент 19031. И. Р. Явдошин, П. А. Косенко, И. К. Походня [11].



По зарубежным журналам*

AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL. — 2006. — Vol. 51, Third Quarter (англ. яз.)

Образование и обучение в Австралии, с. 2–3.
Пути сокращения нехватки квалифицированных сварщиков в Австралии, с. 14–18.
Международная система обучения и аттестации персонала в области сварки, с. 22–26.

Менеджмент в области аттестации и сертификации, с. 28–31.
Австралийское производство, с. 32–33.
Универсальная сварка МИГ — наиболее рентабельный процесс при низком поверхностном разбавлении, с. 52–56.

BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH. — 2006. — Roc. 50, № 6 (пол. яз.)

Mikno Z. Анализ процесса сварки давлением — двухмерная модель, с. 26–29.
Stachurski M. Ультразвуковой контроль тонкостенных элементов и их соединений, с. 29–36.
Klimpel A. et al. Лазерная сваркопайка кузовной оцинкованной стали, с. 39–43.
Weglowski M. Использование электромагнитного излучения для контроля процесса сварки, с. 43–48.

Slania J., B. Slazak B. Сравнительные исследования высоколегированных покрытых электродов ERWS 19—9 L изготавляемых с использованием нового жидкого стекла модифицированного оксидом лития, с. 48–53.
Piatek M., Lesko B. Автоматический стенд для отжига патронных гильз, с. 53–55.

BULETINUL INSTITUTULUI in SUDURA SI INCERCARI DE MATERIALE. — 2006. — № 1 (рум. яз.)

Dogan B. et al. Значение зарождения трещины ползучести при оценке дефектов, с. 3–10.
Pascu D.-R. et al. Анализ ухудшения структуры при эксплуатации труб из стали 16Mo3 в тепловом контуре среднего давления и температуры, с. 11–14.

Fleser T. et al. Оценка эксплуатационной надежности промышленных установок на основе неразрушающих исследований, с. 21–28.
Mistodie L. et al. Оптимизация синергетических режимов при импульсной сварке МИГ, с. 29–35.

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона. Более полно библиография представлена в Сигнальной информации (СИ) «Сварка и родственные технологии», издаваемой в ИЭС и распространяемой по заявкам (заказ по тел. (044) 287-07-77, НТБ ИЭС).



DER PRAKTIKER. — 2006. — № 11 (нем. яз.)

Готова к подключению роботизированная сварочная камера, с. 326.

Polrolniczak H. et al. Дефекты и их предупреждение при контактной сварке. Ч. 4: Установление и оптимизация сварочных параметров, с. 332–337.

Mikoteit W. Персональные защитные средства при сварке и родственных технологиях, с. 338–340.

Lorenz H. Сварка МАГ массивных машинных станин. Сообщение, основанное на опыте, с. 342–344.

Mertig U. Общая концепция безопасного использования технических газов, с. 348–350.

Zwatz R. Заседание Комитета ISO/TC44/SC11. Требования к квалификации персонала, август 2006 г., Канада, с. 352–353.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN. — 2006. — № 11 (нем. яз.)

Hartmann F. Предупредить ошибочные решения в политике сбыта, с. 582–583.

Некомпетентное руководство больше всего тормозит производительность, с. 585.

Разработана установка для одновременной комплектации и сварки приборных щитков, с. 586–587.

Склеивание и «отклеивание» при нажатии кнопки, с. 588.

Производство машин и установок на предприятии Кистлера, с. 592–593.

Eckstein J. et al. Анализ видов отказа наполовину полых штампованных заклепок, с. 594–601.

Anagreh N. et al. Предварительная обработка поверхностей сульфид полифенила (PPS), с. 602–607.

Grund T. et al. Разработка способа «пайки в контролируемой атмосфере» для соединения алюминиевых литых и алюминиевых деформируемых сплавов, с. 608–613.

Spiegel-Ciobanu V. E. Новые ВГ-правила «Сварочный дым» (BGR220), с. 614–619.

Schmidt R. et al. Поверхностные эффекты компонентов пайки без свинца, с. 620.

Защита деталей от износа наплавкой. Конференция в Галле, май 2006 г., с. 620–627.

SCHWEISS & PRUEFTECHNIK. — 2006. — № 12 (нем. яз.)

Zwatz R. Задачи уполномоченного по надзору за сваркой на предприятии, с. 197–200.

Ivanova J. et al. Новые требования к щиткам сварщика, с. 204.

SOUDEGE et TECHNIQUES CONNEXES. — 2006. — Vol. 60, № 7/8 (франц. яз.)

Вагоны метро фирмы АЛЬСТОМ экспортируются все больше и больше, с. 6–7.

Газовые турбины с комбинированным циклом привлекают все большее внимание операторов, с. 8–9.

Прочные сварные швы гоночных автомобилей для формулы 1, с. 12–13.

Перспективы котлостроения, с. 14–15.

Пары, образующиеся при сварке: предельно допустимые значения, оценка риска, меры предупреждения, с. 30–34.

Свойства металла шва современных высокопрочных сталей. Ч. 2, с. 35–38.

TRANSACTION of JWRI. — 2006. — Vol. 35, № 1 (англ. яз.)

Komizo Y. Прогресс в области конструкционных сталей для мостов и трубопроводов, с. 1–7.

Tanaka M. et al. Характеристики дуги при сварке вольфрамовым электродом в среде CO₂, с. 9–12.

Katayama S. et al. Физические явления и механизм предупреждения пористости при гибридной лазерно-дуговой сварке, с. 13–18.

Zhang R. et al. Электронно-лучевая сварка с активирующим флюсом, с. 19–22.

Kobayashi A. et al. Получение металлоглазненного покрытия на основе железа, с. 23–27.

Fahim F. et al. Оптимизация тока пушки для получения пленок карбида кремния с помощью плазменного напыления туннельного типа, с. 29–33.

Morks M. et al. Микроструктурные характеристики и свойства твердости биомедицинских покрытий, напыленных плазмой, с. 35–39.

Zhang J. et al. Теплопроводность композиционных покрытий на основе ZrO₂, полученных атмосферным плазменным напылением туннельного типа, с. 41–46.

Fuji H. et al. Сварка трением с перемешиванием сверхмелкозернистых IF и углеродистых сталей, с. 47–52.

Ye F. et al. Структура и механические свойства сварных соединений разнородных материалов ADC12 и A5083, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с. 53–56.

Kato H. et al. Испытания на определение твердости наоиנדентором для оценки твердости по Виккерсу, с. 57–61.

Применение тонкого стального листа с трещиной для оценки усталостного повреждения мостов.

Sakino Y. et al. Исследование метода оценки и применимости при нагрузках постоянной амплитуды, с. 63–70.

Murakawa H. et al. Фрактальный многосеточный метод для крупномасштабного моделирования механических и термических параметров, с. 71–75.

Liang W. et al. Численное исследование деформации, образующейся в толстолистовой стали при изгибе в процессе линейного нагрева, с. 77–82.

Serizawa H. et al. Анализ методом конечных элементов керамических композиционных материалов с односторонним нахлесточным соединением с использованием интерфейсного элемента, с. 83–88.

Zhang L. et al. Анализ роли дополнительной боковой подачи газа при сварке CO₂-лазером, с. 89–94.



Расходуемые сварочные материалы. Ч. 3, с. 4–5.

Изготовление железнодорожных вагонов, стойких к ударным нагрузкам, с. 6.

WELDING and CUTTING. — 2006. — № 5 (англ. яз.)

Гибкое производство трубчатых конструкций в соответствии с требованиями, с. 242–243.

Установка, разработанная для одновременного размещения электронных компонентов и сварки приборных панелей, с. 244–245.

Лазерная сварка электронпневматических преобразователей, изготовленных из полиамида, с. 246–247.

EuroBLECH 2006 — всемирная выставка по металлообработке листовых изделий, с. 252–260.

Метод определения качества кромок после машинной резки — коэффициент режущей кромки, с. 262–263.

Первые паспорта, выданные в соответствии с национальной системой обучения сварщиков, с. 8.

Лента, армированная стекловолокном — наиболее эффективное решение для подкладки под шов, с. 264–265.

Pisarski H. et al. Оценка механики разрушения кольцевых сварных швов трубопроводов, с. 268–272.

McPherson N. Снижение деформации тонколистовых материалов благодаря правильному руководству и выбору технологии, с. 277–282.

Исследование методов измерения и контроля выделения озона в процессе сварки, с. 287–295.

ПЕРЕВОДЫ

Сварка в узкий зазор (Ч. 2): Слежение за стыком с целью снижения тепловложения: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 6 с. // Пер. ст. Хираока В. из журн. «Welding Technology». — 2004. — № 6. — Р. 126–130.

Сварка титана с разнородными металлами: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 6 с. // Пер. ст. Коутаки Х. из журн. «Welding Technology». — 2000. — № 11. — Р. 110–115.

Сварка трением с перемешиванием листового алюминиевого сплава 5083 средней толщины: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 4 с. // Пер. ст. Кога Н. и др. из журн. «Welding Technology». — 2003. — № 5. — Р. 70–73.

Сварка трением с перемешиванием алюминиевого сплава и ее применение для изготовления конструкций: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 107 с. // Пер. ст. Окамура Х., Аота К. и др. из журн. «Journ. Inst. of Light Metals». — 2000. — Vol. 50, № 4. — Р. 166–172.

Система слежения по шву в реальном масштабе времени для автоматизированной дуговой сварки плавлением: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 15 с. // Пер. ст. Де А., Парль Д. из журн. «Science & Technology of Weld. & Joining». — 2003. — Vol. 8, № 5.

Современное состояние применения экологически чистых бессвинцовых припоев вместо припоев с оптимальным содержанием свинца: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 9 с. // Пер. ст. Такэмото Т. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 69, № 2. — Р. 6–13.

Соединение алюминиевого сплава с низкоуглеродистой сталью лазерной сваркой с применением давления: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 8 с. // Пер. ст. Нисимото К., Фудзии Х., Катаяма С. из журн. «Quarterly Journ. of the Jap. Welding Society». — 2004. — Vol. 22, № 4. — Р. 572–579.

Состояние стандартизации в области сварочной техники в Европе: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 11 с. // Пер. ст. Бениш Г. из журн. «Schweiss & Prueftechnik». — 2001. — № 4. — Р. 50–56.

Технология склеивания конструкций в электроприборостроении: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 3 с. // Пер. ст. Харага К. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2001. — Vol. 70, № 2. — Р. 15–18.

Трехмерный контроль сварного шва оптическими датчиками: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 2 с. // Пер. ст. Штайн Н. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2003. — Vol. 55, № 8. — Р. 420.

Экспериментальный анализ свободного полета капель при дуговой сварке металлическим электродом в защитных

газах в режиме капельно-струйного переноса металла: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 12 с. // Пер. ст. Жу П., Симсон С. из журн. «Austral. Welding Journal». — 2004. — Vol. 49, № 7.

Автоматическая сварка закрытой дугой частей трубопровода из нержавеющей стали 347: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 7 с. // Пер. ст. Горецки Я. и др. из журн. «Spalanie». — 2005. — № 4 (II) — Р. 16–19.

Интеграция техники соединения в производство: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2006. — 5 с. // Пер. ст. Дилтай У. и др. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2005. — Vol. 57, № 5. — Р. 218–221.

Непрерывное визуальное исследование деформации растяжения чистого поликристаллического титана под растровым зондовым микроскопом: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2003. — 10 с. // Пер. ст. Ли Я. и др. из журн. «Journ. Inst. of Light Metals». — 2003. — Vol. 53, № 7. — Р. 295–301.

Новый алгоритм корреляции характеристик кромок для получения размеров расплавленной ванны в реальном масштабе времени на основании компьютерных изображений: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2006. — 14 с. // Пер. ст. Балфур К. и др. из журн. «Welding Journal». — 2006. № 1. — Р. 1–8.

Пайка при пониженной силе тяжести. Программа работ в космической лаборатории: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 4 с. // Пер. ст. Батке В. и др. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 1982. — № 5. — Р. 249.

Поведение дуги и скорость плавления при дуговой сварке металлическим электродом в среде защитного газа на переменной полярности (VP—GMAW): Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2006. — 23 с. // Пер. ст. Харвиг Д. Д. и др. из журн. «Welding Journal». — 2006. — № 3.

Повышение предела прочности при растяжении и пластичности при изгибе швов, полученных сваркой трением титана с нержавеющей сталью AISI 304L: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 23 с. // Пер. ст. Фудзи А. и др. из журн. «Mater. Science & Technol.» — 1992. — № 8. — Р. 3.

Последние разработки в области дуговой сварки в среде защитного газа применительно к алюминию и его сплавам: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 14 с. // Пер. ст. Фортен Ж.—М. и др. из журн. «Soudage et Tech. Connexes». — 2000. — № 1/2. — Р. 3.

Почему алюминий и сталь не соединяют пайкой в инертном газе?: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 3 с. // Пер. ст. Фюссель У. и др. из журн. «Praktiker». — 2003. — Vol. 55, № 4. — Р. 120–121.



Применение высокосортных труб для протяженных газопроводов: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2006. — 6 с. // Пер. ст. Такэути И. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2005. — Vol. 74, № 7. — Р. 6–9.

Продление долговечности сварных конструкций из строительной стали повышенной прочности благодаря применению UIT-технологии: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2006. — 7 с. // Пер. ст. Ульрике У. и др. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2005. — Vol. 57, № 8. — Р. 384–391.

Роботизированная сварка микропанелей с применением системы технического зрения: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 8 с. // Пер. DVS 237. — 2004. — 5 с.

Рост оборота благодаря ИНТЕРНЕТУ. Положительные эффекты фирменной Web-страницы для малых и средних предприятий: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 2 с. // Пер. ст. из журн. «Praktiker». — 2005. — Vol. 57, № 11. — Р. 315–316.

Сварочные технологии для строительства газопроводов: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2006. — 6 с. // Пер. ст. Мураяма М. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2005. — Vol. 74, № 7. — Р. 20–24.

НОВАЯ КНИГА

Кононенко В. Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом (Рекомендации для «чайников»). — Киев: ТОВ «Ника-Принт», 2007. — 266 с.

В справочнике систематизированы материалы, отражающие технологии сварки металлов в среде защитных газов плавящимся (МИГ/МАГ) и неплавящимся (ТИГ) электродом, приведены основные сведения об оборудовании, инструментах и приспособлениях для реализации этих технологий. Изложены принятые на территории Украины новые системы маркировки электродных проволок и описано сложившееся состояние нормативной документации в этом направлении. Дана краткая информация о нормировании процессов сварки, организации рабочего места и технике безопасности.

Для инженерно-технических работников, мастеров, рабочих, студентов вузов и ПТУ сварочных, металлургических и машиностроительных специальностей.



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ В КРЫМУ ПО ТРУБОПРОВОДНОМУ ТРАНСПОРТУ

С 14 по 17 мая в Крыму проходила Шестая международная конференция «Готовность ОАО ХТЗ к производству труб для высокопрочных трубопроводов». В работе конференции приняли участие специалисты ОАО ХТЗ (Харьциск, Украина), ООО «ВНИИСТ» (Москва, РФ), ФГУП «ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина (Москва, РФ), ОАО «Северсталь» (Череповец, РФ), ОАО «МК Азовсталь» (Мариуполь, Украина), ОАО «МК им. Ильича» (Мариуполь, Украина), ОАО «ВМЗ» (Выкса, РФ), ОАО «Уралсталь» (Свердловск, РФ), ИЭС им. Е. О. Патона (Киев, Украина), ЗАО «УкрНИИ НК» (Киев, Украина), ГП «НИТИ» (Днепропетровск, Украина), ЗАО НПО «Спецнефтегаз» (Москва, РФ), АК «Транснефть» (Москва, РФ), фирмы «Quality Program Design» (Хьюстон, США).

Со вступительным словом к участникам конференции обратился генеральный директор ОАО ХТЗ А. В. Шишацкий. Технический директор ОАО ХТЗ А. В. Боровиков сделал доклад об основных достижениях завода за последние два года в области совершенствования технологии производства труб большого диаметра из высокопрочных низколегированных сталей. На техническое перевооружение, совершенствование и развитие производства в 2005 и 2006 гг. затрачено более 180 млн грн. Ожидаемые затраты в 2007 г. — 56 млн грн. В трубоэлектросварочном цехе № 2 завершается строительство третьей технологической линии по производству труб диаметром 406...1420 мм с толщиной стенки до 40 мм из стали классов прочности X70 и X80.

Работы по техническому перевооружению велись также в цехе нанесения изоляционного покрытия на трубы. За истекший период Харьковским трубным были приобретены установки для рентгеновского контроля с напряжением на рентгеновских трубках до 225 кВ. Приобретена и успешно эксплуатируется установка АУЗК фирмы «Krautkramer». В настоящее время ведутся монтажные работы на новой установке АУЗК фирмы «Karl Deutsch» и заканчиваются монтажные наладочные работы установки АУЗК концов труб украинской фирмы «Ультракон» (ЗАО «УкрНИИ НК»).

Технологические службы завода продолжают работать над применением новых технологических материалов. Если два года назад на заводе производили сварку труб под агломерированными флюсами только на опытных партиях, то сегодня 70 % труб на заводе свариваются под этими флюсами производства фирм «Oerlikon», «Lincoln», «Boehler Thyssen», ESAB и др.

Применение агломерированного флюса позволило обеспечить повышенные требования потребителей к ударной вязкости сварных швов и уменьшить количество внутренних дефектов. Выполненные работы позволили улучшить геометрию сварных швов, существенно повысить их качество, значительно уменьшить объем ремонта труб сваркой (с 4,5 % в 2005 г. до 2,2 % за 4 месяца 2007 г.), снизить количество переводов труб в пониженную сортность.

Система управления качеством завода сертифицирована канадским институтом качества «QMI» на соответствие международным стандартам ISO 9001, ISO 14001, QHSAS 18001, на соответствие стандарта ДСТУ ISO 9001 в национальной системе УкрСЕПРО.

В настоящее время заканчиваются работы по сертификации действующей Системы управления на соответствие российскому стандарту ГОСТ ISO 9001 в Системе «ТРАНСЕРТ» и приступают к работе по сертификации на соответствие стандарту ISO 9001 — «Газпром».

В докладе «Развитие требований к сталям для новых проектов магистральных газопроводов и проблемы обеспечения свойств толстолистового проката для таких труб» заведующий сектором трубных сталей ФГПУ «ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина» Ю. Д. Морозов сообщил, что интенсивная индустриализация развивающихся стран наряду с конструкционными материалами требует увеличения потребления энергоносителей таких, как нефть и газ, и, следовательно, развития транспортных систем доставки их потребителям. Отсюда рост потребности в трубах и строительство новых трубопроводов. Как видно, освоение новых перспективных месторождений нефти и газа и строительство трубопроводов для



Генеральный директор ОАО ХТЗ А. В. Шишацкий демонстрирует линию одношовной сварки труб большого диаметра

их транспортировки все более и более смещается в труднодоступные районы Севера, Сибири и арктического шельфа. Так, с 2007 по 2012 гг. «Газпром» планирует реализацию 13 крупных проектов строительства газопроводов высокого давления общей протяженностью более 13 тыс. км диаметром 1020...1420 мм. Среди них такие, как:

Северо-Европейский газопровод наземная часть — трубы диаметром 1420 мм с рабочим давлением 9,8 МПа и подводная часть — трубы диаметром 1219 мм на давление 22 МПа;

газопровод Бованенково — Ухта диаметром 1420 мм из стали класса прочности K65 на рабочее давление 11,8 МПа и подводный переход через Байдаракскую губу — трубы диаметром 1219 мм.

Кроме того, до 2012 г. планируется сооружение подводных трубопроводов — второй нитки «Голубой поток» по дну Черного моря и газопровода со Штокманского месторождения.

Сооружение новых газопроводов требует решения двух задач:

увеличения объемов производства труб большого диаметра, в том числе толстолистового проката для их изготовления;

повышения качественных характеристик металла и труб с учетом строительства газопроводов на давление 11,8 МПа на суше и до 25 МПа на море, применение в новых проектах труб из сталей с прочностью K65 и повышенных толщин их стенок с учетом строительства и эксплуатации трубопроводов в сложных климатических и геологических условиях.

Возможности производства труб, необходимых для строительства новых магистральных трубопроводов, в значительной мере определяются наличием современного оборудования на металлургических и трубных предприятиях.

По этому показателю производители сварных труб пока опережают металлургов. В России в настоящее время трубы диаметром 1420 мм в одношовном исполнении, а также толстолистовые трубы (40 мм) диаметром 1020...1220 мм готовы выпускать на Ижорском заводе (ИТЗ) и Выксунском заводе (ВМЗ). Общий объем поставок таких труб уже составляет около 1 млн т в год и базируется преимущественно на поставках импортного металла. Существуют проекты по строительству подобных цехов на ОАО «ВТЗ» в г. Волжском, на ОАО «ЧТПЗ» в г. Челябинске и еще одного цеха на ОАО «ВМЗ». Таким образом, через 2-3 года объем производства труб для современных магистральных трубопроводов может составить 2,5 млн т в год, что должно полностью удовлетворить потребности ОАО «Газпром» и ОАО «АК «Транснефть».

Значительно хуже положение с производством штрипса особенно для труб диаметром 1420 мм. Из прокатных станов на территории СНГ в настоящее время только ОАО «Северсталь» имеет стан 5000 с годовым объемом производства штрипсов не



Линия одношовной сварки труб большого диаметра

более 600 тыс. т. Только к 2010 г. следует ожидать прокат с первого из новых проектируемых станов 5000 на ОАО «ММК». Объем производства проката для труб диаметром 1420 мм и для толстолистовых труб диаметром 1020...1220 мм может составить до 1 млн т в год. К 2011 г. Можно ожидать начало получения проката со стана 5000, который планирует построить ОМК в г. Выкса. Поэтому ближайшие два-три года будет дефицит толстолистового проката для труб новых магистральных трубопроводов. За это время металлурги должны решить вопросы, связанные с получением чистой стали и непрерывно-литых слябов необходимого качества поверхности с минимальной сегрегацией и высокой чистотой по вредным примесям и неметаллическим включениям. Как указано выше, важное значение придается выполнению теста ИПГ при прокатке толстых листов. Установлены необходимые соотношения между толщинами листового проката и подкатом в чистой клетке, частными деформациями в черновой клетке для прохождения полной рекристаллизации. Эти соотношения диаметра и длины трубы определяют необходимые параметры непрерывнолитого сляба. В настоящее время только ОАО «НТМК» имеет сляб, удовлетворяющий перечисленным требованиям (сечением 300×2700 мм). Остальным металлургическим комбинатам предстоит работа в этом направлении.

Представители ОАО «Азовсталь» (И. В. Ганюшенко), ОАО «МК им. Ильича» (А. В. Мурашкин), ОАО «Уралсталь» (А. М. Степашин), ОАО «ВМЗ» (А. А. Шишов) рассказали участникам конференции о комплексе работ, проводимых на металлургических предприятиях России и Украины, которые направлены на повышение качества штрипсовой стали.

Сотрудники ОАО «Харьковский трубный завод» (С. Ю. Лях, А. В. Талалай, А. А. Кравцов, А. Ю. Лоскутов, В. Ю. Котенжи, С. А. Басула, Е. Г. Кочоненко) в своих докладах осветили вопросы реконструкции, модернизации и развития трубного производства на ОАО ХТЗ.

С большим и содержательным докладом выступил президент компании «Quality Program Design» Чарльз Л. Халлам, который представил новую (44-ю) редакцию Стандарта API Specification 5L и сообщил, что с февраля 2008 г. она будет действовать в качестве Стандарта ISO 3183. Развернувшаяся дискуссия, в которой приняли участие как металлурги, производители труб, так и специалисты в области строительства и эксплуатации трубопроводов, показала большой интерес к вопросам стандартизации, сертификации и валидации всего комплекса технологических процессов, связанных с изготовлением труб, строительством и эксплуатацией трубопроводов.

На конференции были представлены доклады сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона (А. А. Рыбакова, С. Е. Семенова, В. В. Головки, В. И. Галинича), в которых отражены результаты сотрудничества института с ОАО ХТЗ, ОАО «Запорожстеклофлюс» и другими организациями по внедрению новых и усовершенствованных образцов оборудования и сварочных материалов на технологических линиях производства труб для высокопрочных трубопроводов. Представленные на конференции доклады будут изданы ОАО ХТЗ в виде сборника.

В. В. Головки, д-р техн. наук,
В. И. Галинич, канд. техн. наук

УДК 621.791.009(100)

В МЕЖГОСУДАРСТВЕННОМ НАУЧНОМ СОВЕТЕ ПО СВАРКЕ И РОДСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

22–24 мая 2007 г. в Доме творчества ученых «Кацивели» НАНУ состоялось очередное заседание секции «Источники питания и системы автоматического управления сварочным оборудованием» Межгосударственного научного совета по сварке и родственным технологиям. Для обсуждения была предложена тема «Ближайшие проблемы совершенствования источников питания и систем автоматического управления для электросварки».

В работе секции приняли участие представители из России (МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва и НПП «ТехноТрон», г. Чебоксары), Литвы (ЗАО «Велга-Вильнюс»); Беларуси (ПО «Минский тракторный завод», г. Минск), Украины (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, НТ СКБ «Полисвит» ГНПП «Объединение Коммунар» г. Харьков, Национальный университет кораблестроения имени Адмирала Макарова, г. Николаев, ОАО «ЗОНТ», г. Одесса, Фирмы «СЭЛМА», г. Симферополь и ОАО «Симферопольский моторный завод», г. Симферополь).

На секции были заслушаны 18 докладов, основное внимание в которых было уделено решению научно-технических задач, разработкам и производству источников питания и систем автоматического управления электросваркой.

После большого вынужденного перерыва сварочные предприятия бывшего СССР возвращаются не только к производству, но и к традиционному направлению — разработке новых более совершенных образцов сварочной техники, исследованию сварочных процессов как объектов автоматического управления.

По-прежнему среди технологий изготовления неразъемных соединений сварка занимает главное место.



Рабочий момент семинара

Высокотехнологичные приемы сварки, термической резки, наплавки и пайки обеспечивают заданное качество конструкции в целом. Применение систем автоматического управления, а также робототехнологических комплексов позволяет существенно улучшить качество выполнения технологического процесса, расширить функциональные возможности оборудования, облегчить труд рабочих, занятых в производстве. В связи с этим научные и практические результаты, изложенные в докладах участников заседания секции, являются, безусловно, актуальными с научной и практической точек зрения.

Наибольшее количество заслушанных докладов было посвящено разработке и изготовлению сварочных источников питания. Новые технические решения в этой области были представлены в докладах специалистов ИЭС им. Е. О. Патона, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Национального университета кораблестроения имени Адмирала Макарова, НПП «ТехноТрон», НТ СКБ «Полисвит» ГНПП «Объединение Коммунар».



Отмечено, что первенство среди основных направлений развития и производства сварочных источников держат источники питания, выполненные на базе высокочастотных инверторов и чопперов.

В повседневную эксплуатацию в медицинских учреждениях все больше внедряются источники питания для сварки живых тканей, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона.

Ряд предприятий освоил и наладил выпуск многоцелевых дизельных сварочных агрегатов нового поколения, предназначенных для сварочных работ в местах, удаленных от центрального энергоснабжения (ОАО «Симферопольский моторный завод», Украина, ЗАО «Велга-Вильнюс», Литва).

Современное развитие ресурсо- и энергосберегающих технологий, требования к экологии промышленных процессов послужили толчком для развития многокаскадных инверторных источников питания специального применения, которые используются для питания высоковольтных плазмотронов.

Особое внимание было уделено обсуждению проблем стандартизации и сертификации сварочных производств, аттестации сварочного персонала, ответственности выпускаемой продукции европейским стандартам.

С большим интересом был встречен доклад представителя МГТУ им. Н. Э. Баумана о сертификации сварочного оборудования в России. Первый опыт аттестации сварочных источников в рамках Национальной ассоциации контроля и сварки (НАКС) сводился к проверке соответствия заявленных производителем электротехнических параметров сварочного оборудования реальным параметрам. Это стало возможным благодаря разработанным в техническом университете специальным устройствам для аттестации:

измеритель статических вольт-амперных характеристик (ВАХ) сварочных источников AWS-024, обеспечивающий измерение, запоминание и передачу в компьютер статических ВАХ сварочных источников с выходным током до 500 А;

измеритель ПВ и ПН сварочных источников ИПН-500. При измерении статической ВАХ сварочный источник последовательно нагружается током от 0 до 1000 А с шагом 5 А;

регистратор параметров сварки AWR-224М, предназначенный для измерения, отображения и запоминания напряжения дуги (+/-100 В) и тока сварки (+/300 А или +/-500 А) при любых типах дуговой сварки;

система наведения на стык в виде автономного малогабаритного модуля, предназначенная для укомплектования сварочных установок, используемых при сварке изделий с кольцевыми и продольными швами большой протяженности;

на протяжении десяти лет в университете ведутся работы по созданию систем оперативного контроля качества дуговой сварки с применением доступных

для измерения и обработки информационных сигналов и нейросетевых моделей для прогнозирования различных параметров сварного соединения, в том числе и для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

В большей степени практическую направленность носили доклады в области создания систем автоматического управления для сварки. Рассматривались конкретные примеры систем управления и регулирования процессами аргонодуговой сварки (МГТУ им. Н. Э. Баумана, ИЭС им. Е. О. Патона), система регулирования электрошлаковой сварки (ИЭС им. Е. О. Патона), а также локальные системы управления сварочным оборудованием на базе микропроцессорной техники («Объединение Коммунар», г. Харьков).

На секции была представлена новая книга доктора технических наук, профессора МГТУ им. Н. Э. Баумана Э. А. Гладкова «Управление процессами и оборудованием при сварке», в которой дано описание принципов построения современных систем оперативного управления качеством сварного соединения при различных способах сварки, рассмотрены микропроцессорные системы управления пространственным положением источника нагрева относительно стыка; системы программного регулирования и стабилизации параметров процесса и оборудования при дуговой, контактной и электронно-лучевой сварке; роботизированные комплексы для дуговой и контактной сварки.

В результате работы секции было принято следующее решение:

отметить, что многие предприятия, представленные в совете, освоили серийное производство источников питания для сварки, близкие к международному уровню;

расширять и углублять исследования, направленные на повышение технических возможностей сварочных источников питания с использованием современной силовой электроники и систем управления на базе микропроцессорной техники;

рекомендовать заводам-изготовителям более тесное сотрудничество с научно-исследовательскими институтами и технологами, осуществлять выпуск сварочного оборудования под конкретную технологию заказчика, а также осуществлять консультации и послегарантийное сопровождение поставляемого заказчику сварочного оборудования;

при разработке новых сварочных ИП следует уделять особое внимание их влиянию на сеть электроснабжения;

считать целесообразным разработку измерителя влияния сварочных установок на сеть;

оказывать содействие в выходе на рынок отечественным производителям сварочного оборудования;

учитывая наблюдающийся экономический рост в странах СНГ, укреплять многосторонние связи с ведущими фирмами-изготовителями робототехно-

гических комплексов для сварки с целью подготовки производства и внедрению РТК.

В рамках межгосударственной программы:

исследовать и разработать технологию регламентации процесса сварки по скорости подачи проволоки. Разработать ТЗ на модернизацию выпускаемых ОАО «СЭЛМА» полуавтоматов и автоматов для сварки в CO₂ (исполнитель ПО «Минский тракторный завод»);

провести конструкторскую модернизацию и освоить выпуск полуавтоматов и автоматов с регла-

УДК 621.791.009(100)

ментацией процесса подачи проволоки (исполнитель фирма «СЭЛМА», г. Симферополь).

Считать целесообразным публикацию докладов, представленных на совете, в журналах «Автоматическая сварка» и «Сварочное производство». Проводить заседания секции не реже одного раза в два года. Бюро секции выражает благодарность директору Дома творчества ученых НАН Украины В. В. Ковшуну за содействие в работе семинара.

Л. Ф. Суший, инж.

IV МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

23–25 мая 2007 г. в кардиологическом санатории под Киевом «Ворзель» прошла IV Всеукраинская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии», ставшая уже традиционной. Каждые два года она собирает молодых ученых, работающих в области сварки и смежных технологий. Участие в таком мероприятии дает молодым специалистам возможность ознакомиться с работами своих коллег из других организаций, обменяться опытом и обсудить перспективы сотрудничества.

Как всегда, инициатором стал Совет научной молодежи ИЭС им. Е. О. Патона. На этот раз было заявлено 172 доклада (среди них 91 от ИЭС), которые представляли 24 научные, учебные организации и предприятия из 14 городов. Непосредственное участие в работе конференции приняли около 90 человек.

Конференцию открыл академик НАН Украины Л. М. Лобанов. В своем выступлении он отметил важность и актуальность проведения таких конференций, необходимость привлечения молодых кадров в науку и развитие их творческого и интеллектуального потенциала.

За три дня проведения конференции в режиме пленарных заседаний было заслушано 80 докладов. Оживленные дискуссии, вызываемые докладами, часто приходилось выносить за рамки сессий. Следует отметить значительный прогресс как в плане демонстрационного, так и научного уровня докладов.

Представленные сообщения охватили следующие направления: прогрессивные технологии сварки и



Участники IV Всеукраинской молодежной конференции «Сварка и родственные технологии»



Лауреаты IV Всеукраинской молодежной конференции «Сварка и родственные технологии»



соединения материалов; прочность, надежность и долговечность сварных конструкций; технологии наплавки, нанесения покрытий и обработки поверхностей; процессы спецэлектрометаллургии; новые конструкционные и функциональные материалы; математическое моделирование в сварке; автоматизация процессов сварки и родственных технологий; фундаментальные исследования физико-химических процессов; техническая диагностика и неразрушающий контроль.

Отрадно отметить, что впервые среди участников были представители стран СНГ. Так, хороший доклад, отмеченный впоследствии премией, представили специалисты РУП «Беларусский металлургический завод» (г. Жлобин, Республика Беларусь). Кроме того, необходимо отметить хорошие выступления молодых ученых из Института черной металлургии (г. Днепропетровск), НТУУ «КПИ» (г. Киев), а также традиционно сильные работы из Черниговского ГТУ.

По окончании конференции состоялось награждение дипломами и денежными премиями:

диплом I степени был вручен *А. Н. Кислице* (ИЭС им. Е. О. Патона) «Пористые титановые покрытия

на деталях эндопротезов тазобедренного сустава, получаемые методом микроплазменного напыления»;

дипломы II степени — *А. С. Миленину* (ИЭС им. Е. О. Патона) «Определение рациональных параметров сварко-пайки разнородных титан-алюминиевых соединений на основе результатов математического моделирования» и *С. С. Семькину* (Институт черной металлургии, г. Днепропетровск) «Особенности выдалення сірки при окислювальному рафінуванні в умовах накладання низьковольтного потенціала»;

дипломы III степени — *А. А. Гриньку* (ИЭС им. Е. О. Патона) «Преимущества сварки высокопрочных алюминиевых сплавов сжатой дугой»; *Т. Р. Ганееву* (Черниговский государственный технологический университет) «Дифузійне зварювання у вакуумі міді з молібденом»; *С. В. Макаренко* (РУП «Белорусский металлургический завод», г. Жлобин, Республика Беларусь) «Автоматизация стыковой сварки металлокорда из высокоуглеродистой стали».

Следующая V конференция «Сварка и родственные технологии» запланирована на май 2008 г.

С. Г. Войнарович, инж.,
В. Ю. Хаскин, канд. техн. наук

УДК 621.791.009(100)



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «СУДОСТРОЕНИЕ–2007»

23–25 мая в г. Николаеве прошла Тринадцатая международная выставка «Судостроение — 2007», целью которой было оказание поддержки предприятиям в экспорте и импорте судостроительной продукции, повышение престижа отечественного производителя, установление и укрепление деловых связей.

В выставке приняли участие около 100 предприятий, представляющих судостроительные и судоремонтные заводы, заводы судового машиностроения, организации, занимающиеся материально-техническим обеспечением судов на судоремонтных заводах и в портах, производители и продавцы сварочных материалов и сварочного оборудования.

Среди участников выставки судостроительные заводы «Дамен Шипярде Окен» (г. Николаев), «Лиман» (г. Севастополь), «Залив» (г. Керчь), Завод «Ленинская кузница» (г. Киев), НПП «Меридиан» (г. Харьков), НУК им. Адмирала Макарова (г. Николаев), «Паллада» (г. Херсон), а также представители Польши — Щецинская судоремонтная верфь «Гры-

фия», Щецинская судовой верфь «Нова», АО судовой верфь «Грыня», украинский производитель сварочных проволок для судостроения ООО «АРКСЭЛ» (г. Донецк) и многие другие.

Во время выставки состоялось общее собрание Ассоциации судостроителей Украины, на котором были рассмотрены ориентиры национальной поли-



тики в области судостроения и судоремонта, проанализированы итоги работы судостроительных предприятий в 2006 г. и первом квартале 2007 г.

Следует отметить две особенности выставки. Впервые, посетителей было удивительно мало для такого центра судостроения, каким является Николаев.

УДК 621.791.009(100)

Во-вторых, неполное представительство на выставке украинских судостроительных и судоремонтных заводов. Присутствовало менее половины работающих заводов.

А. Н. Алимов, инж.

СЕССИЯ НАУЧНОГО СОВЕТА ПО НОВЫМ МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

25 мая 2007 г. в Киеве в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины состоялась очередная сессия Научного совета по новым материалам Комитета по естественным наукам Международной ассоциации академий наук (МАН). Тематика сессии «Интерметаллиды: технологии, структура, свойства и области применения». В работе приняли участие около 200 ученых и специалистов в области материаловедения от академий наук, вузов и предприятий Беларуси, Казахстана, России и Украины.

На пленарном заседании были заслушаны следующие научные доклады:

К. Б. Поварова, О. А. Банных «Физико-химические принципы разработки конструкционных жаропрочных сплавов и композитов на основе интерметаллидов» (Россия);

С. А. Фирстов «Интерметаллиды: особенности строения и физико-механических свойств» (Украина);

Н. П. Лякишев, М. И. Гасик «Идентификация интерметаллидов, избыточно фосфорсодержащих фаз в структуре сплавов системы Fe–Si, склонных к рассыпанию с выделением промышленно ядовитых газов — фосфина и арсина» (Россия, Украина);

Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Г. В. Жук «Получение сплавов на основе гамма-алюминидов титана методом электронно-лучевой плавки» (Украина);

С. К. Кожухметов, В. В. Савчук, Б. Л. Зорин (Интерметаллиды бериллия — технология получения,

УДК 621.791.009(100)

испытания свойств и перспективы применения» (Казахстан);

С. И. Кучук-Яценко, А. И. Устинов «Сварка давлением интерметаллидов титана с использованием тонких прослоек» (Украина);

Ю. В. Мильман «Новые легкие жаропрочные сплавы на основе интерметаллидов алюминия» (Украина);

В. В. Рубаник «Иницирование эффектов мартенситной неупругости в интерметаллидах TiNi с помощью ультразвука» (Беларусь);

С. В. Ладохин, Н. И. Левицкий «Опыт получения интерметаллидов титана методом электронно-лучевой гарнисажной плавки» (Украина);

К. Ю. Яковчук «Градиентные защитные покрытия на основе интерметаллидов в NiAl» (Украина);

Я. Ю. Компан «Магнитоуправляемая электрошлаковая плавка жаропрочных титановых сплавов с интерметаллидным типом упрочнения» (Украина).

Обмен научной информацией и обсуждение докладов по рассматриваемой тематике были взаимно интересными.

Следующее заседание научного совета решено провести в мае 2008 г. на тему «Нанотехнологии получения и обработки новых материалов».

А. В. Бабаев, канд. техн. наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «СВАРКА, РЕЗКА, НАПЛАВКА» В МОСКВЕ

Крупнейшая в мире выставка «Schweissen&Schneiden», проходящая раз в четыре года в Эссене, впервые состоялась в России. 28–31 мая 2007 г. в Москве в ВК «Экспоцентр» прошла Международная специализированная выставка «Сварка, резка, наплавка». Ее организаторами выступили Messe Эссен ГмбХ, ООО «Мессе Дюссельдорф Москва» при содействии DVS — Немецкого союза сварщиков, НАКС — Национальной ассоциации контроля и сварки, ЗАО «Экспоцентр».

Мессе Эссен ГмбХ вот уже в течение 50 лет каждые четыре года проводит так называемую олимпиаду сварочных технологий — выставку «Schweissen&Schneiden». Это ведущая выставка сварочных технологий и родственных им процессов, представляет мировой рынок отрасли во всей его широте и является местом встречи экспертов и покупателей всех стран и континентов. С каждой выставкой возрастает количество участников и экспонентов, что определяет ее постоянный успех. На последней выставке в Эссене 2005 г. более тысячи экспонентов

из 45 стран представили свои инновационные разработки в павильонах общей площадью 89 тыс. м². Большую популярность приобрели также выставки «Schweissen&Schneiden», проводимые раз в два года в Китае и Индии. Причем выставку в Китае, проводимую попеременно в Пекине и Шанхае, признают второй по своему значению после ведущей выставки в Эссене.

Динамичное развитие российской промышленности и в первую очередь таких отраслей, как энергетика, автомобиле- и самолетостроение, химическое и общее машиностроение, привело Мессе Эссен к логическому решению — организации выставки в Москве.

Тематика выставки охватывала все аспекты сварочного производства:

- установки, оборудование и технологии для сварки металлов и пластиков; нанесения покрытий; высоко- и низкотемпературной пайки; наплавки; термического напыления; производства присадочных и сварочных материалов;
- способы выполнения наплавки;
- установки и оборудование для термической обработки;
- соединение, резка и нанесение покрытий из металлических и неметаллических соединений;
- полностью механизированные и автоматические установки, промышленные роботы, обработка данных, контроль и мониторинг;
- установки для соединения склеиванием, применение клеев, дозирующие устройства;
- комплектующие и сварочные материалы;
- применение газов и газовых смесей для сварки, резки и наплавки;
- измерительная техника и методы испытаний (оборудование и/или услуги);
- охрана здоровья и безопасность (индивидуальное защитное оборудование), охрана окружающей среды;
- исследования, услуги, информационные материалы, литература.

Причем сварочная экспозиция явилась составной частью Международного форума инновационных технологий, представленных также выставками «Трубы России 2007», «Проволока России 2007», «Металлургия — Литмаш 2007», «Алюминий/цветмет 2007», «Технофорум 2007», «Сантехника, отопление, кондиционирование 2007», «Леспромбизнес 2007», «Электроэнергетика России 2007».

Цель единого выставочного и информационного пространства — открыть фирмам-экспонентам новые перспективы для продвижения продукции на российском рынке, расширить масштабы делового партнерства со специалистами профильных и смежных отраслей промышленности, повысить эффективность коммерческой работы и дать возможность



посетителям и экспонентам получить информацию от ведущих мировых производителей из первых рук.

В выставке приняли участие экспоненты из 15 стран (Венгрия, Германия, Дания, Индия, Испания, Италия, Китай, Россия, США, Турция, Украина, Финляндия, Франция, Чехия, Швеция). Причем доминирующая часть экспозиций была представлена Германией (31), Россией (28) и Китаем (23).

Среди известных мировых брендов — фирма Александр Бинцель Швайстехник ГмБХ, Делоро Стеллит ГмБХ, Дойма, Клоос Кука, УТП (Германия), Кемппи (Финляндия), ЭСАБ (Швеция), Полисуд (Франция) и др.





Выступившие во время открытия выставки президент фирмы «Messe Essen» Й. Ханнекс, главный управляющий DVS К. Миддельдорф, Президент НАКС академик РАН Н. П. Алешин и другие выразили уверенность в несомненном успехе проводимой выставки, больших перспективах ее расширения в будущем, огромном интересе к ней и широком резонансе среди ученых и специалистов сварочного производства.

От Украины в выставке приняли участие Институт электросварки им. Е. О. Патона, ООО «Торговый дом Ильницкий завод МСО, Завод «Артем-контакт», «СимЗ», «Донмет».

Экспозиция ИЭС им. Е. О. Патона отличалась хорошим оформлением стенда, наличием печатных изданий и каталога, отражающего разработки института за последние пять лет. Большой интерес вызвал сборник научных статей по результатам выполнения украинскими учеными целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин».

Основной интерес посетителей выставки на стенде был связан со следующими разработками:

сварка и ремонт в нефтегазовой промышленности; ЭЛС жаропрочных материалов, сложных сечений;

КСС фланцев, законцовок буровых труб; сварка конструкций из оцинкованного металла; сварка и наплавка меди и ее сплавов трением с перемешиванием;

ремонт и восстановление деталей металлургического оборудования и штампов.

В период работы выставки специалистами DVS и GSI был организован и проведен инновационный форум сварочных технологий, включавший выступления на следующие темы: «Современный уровень и перспективы признания требований по качеству для сварочной техники согласно ISO 3834» (д-р Х.-Г. Гросс, GSI, Германия), «Чистый воздух на рабочем месте» (Б. Кемпер, Kemper GmbH, Германия), «Flood Welding — технология компании Weld Mold для ремонта ковочных штампов» (С. Элек, Weld Mold Company, США), «Применение производственных систем на средних предприятиях в автомобильном производстве» (д-р П. Риппель, Kuka Schweißanlagen GmbH, Германия), «Новые системы легирования присадок для изготовительной и ремонтной сварки химического оборудования» (Д. Калинин, UTP Schweißmaterial GmbH, Германия), «Системная техника для лазерной сварки и пайки» (д-р П. Риппель, Kuka Schweißanlagen GmbH, Германия), «Современные горелки для электросварки производства компании «ТВИ Industries-Germania» (С. Б. Воробьев, «Технотерм», Россия), «Усовершенствование контроля за процессом газопламенной пайки» (И. Вишек, «Themis», Чехия), «Современный уровень и перспективы при использовании иностранного сварочного оборудования на россий-





ком рынке» (Н. Н. Рубцова, «Мир сварки», Россия), «Сварка порошковыми проволоками высокопрочных мелкозернистых сталей» (д-р Р. Розерт, Drahtzug Stein wire & welding GmbH, Германия), «Возможность применения сварки трением и магнитно-дуговой сварки вне автомобильной промышленности» (д-р П. Риппель). Выступления вызвали живой интерес у участников и посетителей выставки.

Удачным следует признать совмещение собственно выставки с достаточно представительной Международной конференцией «Сварка — взгляд в будущее» (29–30 мая 2007 г.), организаторами которых выступили НАКС, DVS и МГТУ им. Н. Э. Баумана. Конференция включала пленарное заседание и работу четырех секций: «Сертификация в сварочном производстве» (рук. В. Ф. Лукьянов), «Неразрушающий контроль в сварочном производстве» (рук. Я. Г. Смородинский, Г. Доблан), «Подготовка персонала в сварочном производстве» (рук. В. И. Лысак) и «Современные сварочные технологии» (рук. В. А. Лопота).

Конференцию, проводимую в 15-ю годовщину НАКС, открыл ее председатель, академик Б. Е. Патон. Он поздравил ее участников и пожелал всем плодотворной работы. В выступлении Б. Е. Патона

УДК 621.791.009(100)

были изложены современные представления на перспективы развития сварки и родственных процессов, которые на сегодня являются наиболее широко применяемыми производственными процессами и продолжают интенсивно развиваться, обеспечивая решение многих сложнейших технических проблем. Б. Е. Патон выразил уверенность в том, что конференция послужит консолидации ученых-сварщиков многих стран, будет способствовать международному сотрудничеству и прогрессу.

На пленарном заседании также выступили представитель Госдумы В. А. Язев, руководитель Ростехнадзора К. Б. Пуликовский, президент НАКС академик Н. П. Алешин, вице-президент МИС Л. Квинтино, директор DVS К. Миддельдорф.

Выступления на пленарном заседании и в последующем работа секций вызвали большой интерес у участников конференции.

В заключение следует отметить, что выставка «Сварка, резка, наплавка» удалась. Ее успеху способствовало проведение крупной международной конференции.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук
Н. Г. Третьяк, канд. техн. наук

КОНГРЕСС ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

С 28 мая по 1 июня 2007 г. в Харькове состоялся 8-й Международный конгресс «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов». Его организаторами выступили Национальная академия наук Украины, Министерство образования и науки Украины, ННЦ НАН Украины Харьковский физико-технический институт (ННЦ-ХФТИ), Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровский национальный университет (НМАУ-ДНУ), Ассоциация металловедов и термистов Украины, Украинское вакуумное общество. Конгресс проходил на базе отдыха «Элат», расположенной на живописном берегу Печенежского

водохранилища. Председателем оргкомитета конференции являлся генеральный директор ННЦ-ХФТИ, академик НАНУ, д-р техн. наук, И. М. Неклюдов, сопредседателем зам. генерального директора ННЦ-ХФТИ, канд. физ.-мат. наук В. М. Шулаев, зам. председателя зав. кафедрой НМАУ-ДНУ, д-р техн. наук, проф. Л. Н. Дейнеко, ученым секретарем — А. П. Редкокаша.

В программу конгресса входили: 8-я Международная научно-техническая конференция «Технологии термической и химико-термической обработки металлов и сплавов», 6-й Международный научно-практический симпозиум «Наноструктурные функциональные покрытия для повышения качества

поверхностей изделий машиностроения», 6-я Школа молодых ученых и специалистов совместно с курсами повышения квалификации.

В работе конгресса приняло участие свыше 130 специалистов, работающих в области термической обработки, материаловедения, металловедения, физики твердого тела, механики разрушения, металлофизики, нанотехнологий, производства новых конструкционных и функциональных материалов, сварочного производства из НИИ, университетов, академий, предприятий машиностроения, металлургии и энергетики (всего из десяти стран). Возросший интерес к конгрессу проявился в увеличении числа его участников из ведущих организаций и учебных заведений таких, как ИЭС им. Е. О. Патона, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Московского института стали и сплавов, ОАО «Ижсталь».

Открыл конгресс И. М. Неклюдов, который поздравил участников с его началом, пожелал всем успешной и плодотворной работы, а также перспективного делового сотрудничества. Далее отметил, что конгресс является связующим звеном между учеными и производственниками, занятыми разработкой и выпуском термического оборудования. Традиционно на конгрессе происходит обмен информацией о результатах исследований и новых технологиях в области термической и химико-термической обработки, материаловедения, новых конструкционных и функциональных материалов и др. Тематика дополнилась новыми научными разработками, которые относятся к сварочным, например, структурные превращения при сварочном и лазерном нагреве и др. Главное внимание И. М. Неклюдов уделил наноматериалам и нанотехнологиям, как основным составляющим научно-технического прогресса. В заключение сказал, что тематическая направленность работы конгресса соответствует мировым тенденциям развития и отражает современный отраслевой уровень.

Сопредседатель Оргкомитета В. М. Шулаев свое выступление посвятил анализу исследований и новым разработкам, обеспечивающим повышение качественных характеристик и снижение металлоемкости изделий, а также ресурсосберегающим тех-

нологиям и оборудованию нового поколения для термической обработки.

Доклады проводились по сформированной тематике, включающей следующие основные направления:

- ✓ технологии и оборудование термической и термомеханической обработки;
- ✓ нанотехнологии и наноматериалы; технологии химико-термической обработки;
- ✓ новые конструкционные и функциональные материалы;
- ✓ механика разрушения;
- ✓ структурные изменения, обеспечиваемые сварочным нагревом;
- ✓ проблемы образования и подготовки кадров;
- ✓ металловедение в машиностроении.

Докладывались результаты фундаментальных и прикладных исследований, а также практических разработок. Все доклады выполнены на высоком научно-техническом уровне. Для демонстрации информационного материала привлекались компьютерные технологии.

На конгрессе состоялся ряд презентаций разработок. К наиболее значимым из них можно отнести представленные технологии восстановления эксплуатационных характеристик изношенных лопаток авиационных двигателей (ОАО «НПО-Сатурн») и технологии производства высокопрочных крепежных изделий с антикоррозионным покрытием (УН-ПП «Армст-2000»)

В течение работы конгресса между его участниками установились и укрепилась деловые контакты. Молодые ученые, инженеры и аспиранты обогатились новыми знаниями и опытом.

По окончании работы конгресса были определены перспективные задачи его дальнейшей работы. По его материалам издан двухтомный сборник научных трудов.

С материалами докладов, представленных на конгрессе, можно ознакомиться на сайте www.otom.com.ua.

В. В. Дмитрик, канд. техн. наук

УДК 621.791.009(100)

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА НОВОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

29 мая–2 июня 2007 г. в Крыму на базе Дома творчества ученых «Кацивели» НАНУ состоялась 3-я Международная конференция «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов LTWMP-2007», организованная ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, НИИ лазерной техники и технологии НТУУ «КПИ» и Международной ассоциацией «Сварка». Сопредседатели Программного комитета — академик Б. Е. Патон и проф. В. С. Коваленко.

Еще на 1-й конференции, проведенной в мае 2003 г., было принято решение о проведении подобных международных конференций раз в два года. В 2005 г. специалисты в области лазерных технологий из 19 стран представили результаты своих последних исследований. И вот снова в 2007 г. были представлены доклады специалистов из 18 стран (Украина, Россия, Беларусь, Германия, Польша, Бельгия, Словения, Великобритания, Иран, Турция и др.).



Конференция была открыта небольшим концертом ансамбля скрипачей Крымского государственного инженерно-педагогического университета. После этого было зачитано приветствие участникам конференции Сопредседателей Программного комитета академика Б. Е. Патона и проф. В. С. Коваленко.

В последние годы лазеры динамично вошли практически во все сферы человеческой деятельности. Сейчас насчитывается более 350 различных применений лазеров. Особенно эффективно применение лазеров для обработки материалов в различных отраслях промышленности. Интерес производителей к лазерным технологиям особенно возрос в последние годы в связи с появлением новых поколений лазеров с повышенным коэффициентом полезного действия: твердотельных лазеров, мощных CO_2 -лазеров, эксимерных лазеров, лазеров на парах металлов, компактных диодных лазеров, оптоволоконных лазеров и др.

Наряду с традиционными применениями лазеров для сварки, резки и т. д., на этот раз акцент был сделан на применении лазеров в медицинской и биологической аппаратуре, в микро- и нанопроботке, формировании листового металла.

В настоящее время применение лазеров в медицине занимает второе место после применения лазеров в промышленности. Этой теме был посвящен первый пленарный доклад «Лазерная техника в медицине и медицинском производстве» проф. В. С. Коваленко (НИИ лазерной техники и технологий НТУУ «КПИ», Киев).

Большой интерес у участников вызвал доклад проф. В. С. Голубева (Институт лазерных и информационных технологий РАН, г. Москва) «Глубокое проникновение луча мощного CO_2 -лазера в жидкость».

Сообщение д-ра Е. В. Кройца (Лазерный центр Института Фраунгофера, г. Аахен, Германия) был посвящен диагностике и моделированию нелинейных динамических процессов при лазерной резке, сварке и сверлении.

Проф. Г. А. Туричин (С.-Петербургский технический университет) представил доклад, посвященный особенностям кинетики фазовых превращений и управлению формированием микроструктуры при лазерной гибридной сварке.

В совместном докладе экспертов НТУУ «КПИ» и Института сверхтвердых материалов НАН Украины проф. Л. Ф. Головкин описал новую технологию лазерного спекания композиционных материалов, содержащих алмазы, применительно к созданию новых инструментов. Эта тема была развита далее в стендовых докладах.

Исследователи из Словении (Университет г. Любляны) проф. Е. Говецар и Р. Розман представили модель физических процессов, протекающих в плазме при лазерном формировании капель.

В работе конференции приняла участие большая группа исследователей из Германии. У. Хюссельбарг (фирма ТРУМПФ, г. Дитинген) описал применение лазерных комплексов, производимых этой известной фирмой, в автомобилестроении. Б. Бюссе с коллегами (Лазерный центр, г. Ганновер) представил результаты по формированию горячих трещин при сварке высоколегированных сталей с импульсным лучом лазера. А. Флориан (Баварский лазерный центр, г. Эрланген) в своем сообщении представил материалы по лазерной пайке в автомобилестроении. М. Грден (Институт лучевой техники, г. Аахен) представил доклад «Быстрое моделирование термической гибки».

Всего было проведено семь пленарных сессий, на которых были рассмотрены вопросы использо-

вания лазеров при сварке, резке, наплавке, термообработке, синтезе объемных изделий, а также моделированию этих процессов. Специальная сессия была отведена для стендовых докладов (всего 27 докладов).

Большое внимание на конференции было уделено различным численным методам исследования физических явлений, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с материалом. Были представлены теоретические результаты по использованию лазерного излучения для программированного формирования тонколистового материала. Проф И. В. Кривцун с коллегами рассмотрел физические явления взаимодействия лазерного излучения с материалами при гибридной лазерно-плазменной обработке.

Гибридные лазерные процессы были в центре внимания многих экспертов из различных стран, так как они позволяют повысить КПД технологических процессов. Несколько сообщений было посвящено проблемам лазерного спекания порошковых материалов при реализации процессов синтеза трехмерных изделий.

В докладе В. В. Колпакова НТУУ «КПИ» рассматривались перспективы использования Интернет технологий и виртуального предприятия для повышения эффективности использования сложных лазерных систем. Эта работа в настоящее время уже

стала международным проектом, интегрирующим усилия экспертов из Украины, Словении, Литвы и Венгрии.

Конференция показала, что лазерные технологии по-прежнему остаются динамично развивающейся областью науки и техники, стабильно повышающей эффективность существующих процессов лазерной обработки и постоянно открывающей новые применения лазеров в производственной сфере.

Успешному проведению конференции способствовала слаженная работа Оргкомитета (А. Т. Зельниченко, И. Ю. Романова, В. М. Абдулах).

К открытию конференции были изданы сборник тезисов и программа конференции. К концу ноября 2007 г. будут изданы труды конференции на английском языке (труды LTWMP-03 и LTWMP-05 можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка»: www.iaw.com.ua/russian/books/books-1.html).

Доброжелательная, гостеприимная, творческая обстановка конференции способствовала развитию полезных дискуссий, установлению деловых контактов. Участники конференции из разных стран, отмечая ее безусловный успех, выразили пожелание принять участие в следующей, 4-й конференции LTWMP-09 в 2009 г.

В. С. Коваленко, д-р техн. наук
А. Т. Зельниченко, канд. физ.-мат. наук

УДК 621.791.009(100)

УЧЕНЫЕ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА — ЛАУРЕАТЫ ПРЕМИИ АССОЦИАЦИИ СВАРЩИКОВ ГРУЗИИ

5 июня 2007 г. в ИЭС им. Е. О. Патона состоялась встреча академика Б. Е. Патона с Чрезвычайным и Полномочным послом Республики Грузии в Украине Григолом Катамадзе и профессором, Президентом Ассоциации сварщиков Грузии Сезаром Якобашвили.

На встрече были обсуждены состояние и перспективы сотрудничества сварщиков Украины и Грузии. С. Якобашвили зачитал Постановление президиума Ассоциации сварщиков Грузии, в котором отмечено, что за большой личный вклад в развитие грузино-украинских научных и общественных связей, за плодотворную научную деятельность в области сварки, металлургии и родственных тех-

нологий присвоить премии Ассоциации сварщиков Грузии с вручением дипломов и медалей лауреата академиком НАН Украины Л. М. Лобанову, К. А. Ющенко, кандидатам техн. наук А. В. Бабаеву, О. Н. Ивановой. Ранее такая же премия была присвоена академику НАН Украины И. К. Походне в связи с его 80-летием и большой вклад в развитие грузино-украинских научных и общественных связей, а также разработки и внедрение сварочно-наплавочных технологий и материалов в промышленных производствах Грузии.

Редакция



Ю. С. БОРИСОВУ — 75



В августе исполнилось 75 лет Юрию Сергеевичу Борисову — заведующему отделом защитных покрытий, доктору технических наук, профессору.

После окончания в 1955 г. металлургического факультета Уральского политехнического института он начал свою трудовую деятельность в Уральском научно-

исследовательском институте черных металлов, где прошел путь от младшего научного сотрудника до руководителя лаборатории разработки процессов защитных покрытий. Здесь он занимался разработкой теории и практического применения комбинированного дутья в производстве чугуна, применением углеводородов и жидкого топлива, внедрением теоретических и технологических достижений и их практическим применением на металлургических заводах Урала. В 1963 г. Ю. С. Борисов успешно защитил кандидатскую диссертацию. С 1971 г. Ю. С. Борисов руководит лабораторией разработки процессов нанесения защитных покрытий УралНИИЧермета, где развиваются направления применения плазменных технологий в металлургическом производстве, разработки новых материалов для нанесения защитных покрытий методом плазменного напыления, процессов горячего цинкования и алюминирования для производства проката и деталей с коррозионностойкими покрытиями.

С 1975 г. его трудовая деятельность связана с Академией наук Украины. В течение десяти лет он работал в Институте проблем материаловедения сначала в должности старшего научного сотрудника, затем руководителя группы и заведующего отделом. С 1985 г. Ю. С. Борисов — заведующий отделом защитных покрытий Института электросварки им. Е. О. Патона. Начиная с 1964 г., научная деятельность Ю. С. Борисова связана с развитием, с одной стороны, специфической области материаловедения — материаловедения защитных покрытий, а с другой стороны, — созданием новых технологий газотермического нанесения покрытий, как разновидности инженерии поверхности. В результате комплекса теоретических и экспериментальных исследований, выполненных им лично и совместно со своими сотрудниками, были развиты такие новые направления в газотермическом напылении, как нанесение покрытий из композиционных порошков, покрытий с аморфной и квазикристаллической структурой. Результаты разработки теоретических и технологических основ получения плазменных пок-

рытий из композиционных порошков стали основой докторской диссертации Ю. С. Борисова, которую он успешно защитил в 1983 г.

Им были разработаны принципиальные основы создания композиционных порошков для газотермического напыления, предложены новые группы композиционных порошков, газотермическое напыление которых сопровождается синтезом материала покрытий (интерметаллидов, боридов, карбидов, силицидов, нитридов) с экзотермическим эффектом в режиме СВС. В последние годы под руководством Ю. С. Борисова развиваются такие оригинальные технологии нанесения покрытий, как микроплазменное напыление и гибридный лазерно-плазменный метод. Для реализации указанных процессов с участием Ю. С. Борисова разработано оборудование для микроплазменного напыления и интегрированный лазерно-дуговой плазмотрон. В течение последних лет Ю. С. Борисов руководит работами по созданию новых биоактивных покрытий для эндопротезов и стентов, наносимых методами микроплазменного и магнетронного распыления. Освоению новых видов плазменных покрытий способствует использование оригинальной системы компьютерного моделирования процесса напыления CASPSP, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона под руководством Ю. С. Борисова.

Наряду с разнообразными фундаментальными исследованиями под руководством Ю. С. Борисова выполнен ряд важных прикладных разработок. В частности, была освоена в массовом производстве на шести предприятиях СССР технология плазменного напыления нитеводящих деталей машин для производства химволокна, разработаны технологии нанесения износостойких покрытий на детали оборудования теплоэлектростанций, антикавитационных покрытий гильз ДВС, антикоррозионных покрытий металлоконструкций и промышленных емкостей, упрочнение инструмента и прессоштамповой оснастки, восстановление изношенных деталей автотранспорта, насосов и другого оборудования; разработан комплекс руководящих технологических материалов по газотермическому напылению, получивший широкое распространение и послуживший основой для реализации практических технологий на многих предприятиях. Микроплазменная технология биокерамических покрытий находит практическое применение при изготовлении различных эндопротезов.

Результаты научной деятельности Ю. С. Борисова отражены в более чем 400 статьях и 70 авторских свидетельствах и патентах, 6 книгах и 12 брошюрах. Под его руководством подготовлены и успешно защищены 3 докторские и 15 кандидатских диссертаций.

В. Ф. ХОРУНОВУ — 70



В августе исполнилось 70 лет Виктору Федоровичу Хорунову — члену-корреспонденту Национальной академии наук Украины, доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники Украины, лауреату Государственной премии УССР.

В. Ф. Хорунов в 1959 г. закончил Киевский политехнический институт и поступил на работу в Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, где прошел путь от инженера до заведующего отделом физико-химических процессов пайки.

Начало его творческой деятельности связано с изучением особенностей структурных и фазовых превращений в чугунах с различным содержанием элементов графитизаторов, кристаллизирующихся в условиях высоких скоростей охлаждения, которые характерны для сварочных процессов. На этой основе были разработаны составы порошковых проволок и создан способ механизированной дуговой сварки чугуна. Результаты этих исследований обобщены в кандидатской диссертации В. Ф. Хорунова.

Основная научная деятельность В. Ф. Хорунова посвящена исследованию процессов высоко- и низкотемпературной пайки, созданию научной школы в этой области. Исследования охватывают практически все конструкционные материалы, используемые в промышленности. Под его руководством разработаны научные основы, припой и технология вакуумной пайки тонкостенных конструкций из нержавеющей сталей различных классов. Особо следует отметить разработанный под руководством В. Ф. Хорунова уникальный комплекс (конструкция, материалы, оборудование) технологического процесса изготовления нового типа аэродинамических поверхностей — решетчатых рулей современных ракет.

Полученные результаты обобщены в докторской диссертации В. Ф. Хорунова. За работу в области ракетостроения ему присуждена Государственная премия УССР в области науки и техники (1988 г.).

Большой объем исследований был проведен в области разработки припоев и технологии пайки высоколегированных никелевых сплавов. Главной посылкой при постановке исследований был отказ от использования традиционных элементов-депрессантов (Si, B, Mn) в припоях на основе никеля и использование вместо них элементов IV и V групп таблицы Менделеева (Ti, Zr, Hf, Nb и др.). На основе полученных результатов созданы новые, не известные в мировой практике, припойные материалы для пайки изделий из жаропрочных никелевых спла-

вов. Важным преимуществом разработанных композиционных припоев является возможность получения наплавленного металла, близкого по своим свойствам к основному металлу, что недостижимо при использовании известных композиций. Более того, их можно использовать в условиях дугового нагрева, что дает значительные преимущества по сравнению с вакуумной пайкой.

Важным аспектом научной деятельности В. Ф. Хорунова является углубление теоретических основ пайки, создание технологических процессов и припоев для пайки перспективных материалов: интерметаллидных и дисперсноупрочненных сплавов, углеродных материалов, сплавов на основе титана и алюминия.

Для решения проблемы пайки интерметаллидных сплавов, в частности γ -TiAl, изучены фазовый состав и интервалы плавления систем Ti-Zr-Mn и Ti-Zr-Fe в широких пределах концентраций, впервые построены поверхности ликвидуса названных систем. Созданные на основе полученных результатов припои позволили получить соединения по структуре и свойствам близкие к основному металлу.

На основе фундаментальных исследований системы KF-AlF₃-K₃SiF₇ разработан реактивный флюс для пайки алюминия, который позволяет проводить процесс пайки без введения припоя: последний образуетея в процессе смачивания флюсом поверхности алюминия. Для низкотемпературной флюсовой пайки алюминия впервые синтезирован новый класс комплексных тетрафторборатов Zn(II), Cd(II), Pb(II) с различными основаниями, содержащими азот.

Под руководством В. Ф. Хорунова выполнен ряд специальных проектов. Так, был подготовлен и успешно осуществлен эксперимент по пайке на околоземной орбите (станция «Салют-7», космонавты Л. Кизим и В. Соловьев). В рамках международного проекта «Токомак» разработаны припой и технология пайки разнородных соединений дивертора установки термоядерного синтеза (дисперсноупрочненная медь – вольфрам и графит – молибден) и исследована работоспособность разнородных паяных соединений в условиях жесткой термической нагрузки и нейтронного облучения.

В. Ф. Хорунов был руководителем (с украинской стороны) нескольких международных проектов: «Коперникус» (ЕС) — в области электроники — по разработке припоя с повышенной теплостойкостью; два проекта под эгидой Министерства энергетики США: с Ливерморской национальной лабораторией — исследование пайки интерметаллидных сплавов γ -TiAl; с Национальной лабораторией «Сандия» — усовершенствование технологии пайки авиационных трубопроводов из нержавеющей сталей.



В. Ф. Хорунов является автором более 350 печатных работ, в том числе 60 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством защищено 10 кандидатских диссертаций, в том числе три российскими и одна китайским специалистами. Он является членом ученого совета Института электросварки им. Е. О. Патона, редакционных коллегий журналов «Автоматическая сварка» и «Адгезия расплавов и пайка материалов», спецсовета по защите диссертаций в области сварки УГМТУ им. Адм. Макарова. На протяжении ряда лет был ученым секретарем секции металлургии Комитета по Государствен-

ным премиям в области науки и техники, председателем I комиссии Национального комитета СССР Международного института сварки. Многократно выступал с лекциями по пайке в США и Китае.

В. Ф. Хорунов — известный ученый в области материаловедения, высокой низкотемпературной пайки, сварки, соединения новых перспективных материалов, технологии металлов — пользуется заслуженным авторитетом среди специалистов. Его отличает интеллигентность, доброжелательность, твердое выражение своей позиции. Он верен дружбе и партнерству.

С. И. ПРИТУЛЕ — 60



В августе исполнилось 60 лет Сергею Ивановичу Притуле — директору Государственного предприятия «Опытное конструкторско-технологическое бюро Института электросварки им. Е. О. Патона Национальной академии наук Украины», члену-корреспонденту Академии инженерных наук Украины, специалисту в области разработки

и проектирования сварочного оборудования.

Трудовую деятельность он начал в 1965 г. Работал фрезеровщиком, шлифовальщиком, сварщиком. В 1973 г. поступил на работу в Опытное конструкторско-технологическое бюро (ОКТБ) Института электросварки им. Е. О. Патона.

В 1975 г. закончил Киевский политехнический институт по специальности «Сварочное производство» получил квалификацию инженера-механика. В ОКТБ прошел трудовой путь от инженера-конструктора до его директора.

С. И. Притулой при его непосредственном участии выполнен ряд работ в области оборудования для электродуговой сварки. В частности, работы по созданию электромеханических и дуговых систем направления электрода по стыку. Особо следует отметить разработку модульной системы построения сварочного оборудования и типовых функциональных блоков для ее реализации. На основании этих разработок были созданы различные технологические комплексы для производства изделий под-

вижного железнодорожного состава, бронетанковой техники, узлов оборудования для химической промышленности.

Руководимое С. И. Притулой ОКТБ имеет значительный инженерно-технический потенциал и 48-летний опыт работы в составе Научно-технического комплекса «Институт электросварки им. Е. О. Патона» НАН Украины. На базе современных технологий оно создает как отдельные виды оборудования, так и новые сварочные производства по изготовлению изделий машиностроения, строительства, энергетики, военной техники (бронетанковой, авиационной и др.), горнодобывающей, химической, судостроительной промышленности.

В разработанном ОКТБ сварочном оборудовании использованы современные конструкторские и технологические решения, позволившие авторам получить сотни авторских свидетельств, десятки патентов и наград за участие в отечественных и международных выставках.

Сварочная аппаратура, созданная в ОКТБ, работает в наземных условиях, в космосе и под водой. На этом оборудовании осуществляются все известные современной технике технологии сварки сталей, чугунов, цветных металлов, наплавки, напыления во многих научных и промышленных организациях стран СНГ, Болгарии, Китая, Индии, Финляндии, США, Германии, Ирана.

С. И. Притула — автор 34 патентов и авторских свидетельств. В содружестве с коллегами опубликованы 28 статей в книгах и научно-технических журналах.

Ю. К. БОНДАРЕНКО — 60



В августе исполнилось 60 лет Юрию Куприяновичу Бондаренко, кандидату технических наук, лауреату Государственной премии Украины, старшему научному сотруднику, руководителю отдела Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.

После окончания Киевского политехнического института Ю. К. Бондаренко пришел в ИЭС им. Е. О. Патона. Занимаясь исследованиями в области методов контроля и обеспечения качества в сварочном производстве, он без отрыва от основной работы закончил аспирантуру при Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта. В 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Методы контроля в машиностроении». Ю. К. Бондаренко работал младшим научным сотрудником, руководителем группы, зав. лабораторией, старшим научным сотрудником, с 1996 г. руководит отделом проблем обеспечения качества, аттестации, сертификации и технической экспертизы в сварочном производстве.

В. К. Бондаренко в течение ряда лет принимал участие в разработке и внедрении систем контроля и обеспечения качества на ряде предприятий таких, как: Мостострой-1 (г. Киев), Дрогобычский доломный завод, Харцызский трубный завод, Выксунский металлургический завод, Бакинский металлургический завод, ГПЗ-3 (г. Саратов), ПО «Ориана» (г. Калуш), Кунгурский машиностроительный завод, ИЦ «Титан» (г. Киев), НПФ «Зонд» (г. Ивано-Франковск), Крюковский вагонный завод и др.

Ю. К. Бондаренко принимает активное участие в аккредитации ряда испытательных лабораторий ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, органов по сертификации продукции, систем управления качеством и персонала, является аудитором по системе управления качеством TUV Ak. (Rheinland) и аудитором по продукции и услугам в системе УкрСЕПРО. Ю. К. Бондаренко один из участников разработки и гармонизации стандартов и других нормативных документов в области контроля и обеспечения качества (ГОСТ 14782, ДСТУ 4002, ДСТУ 3951, СТТУ УТ НКТД 01–2000, ДНАОП 0.00-1.27–97 ДСТУ ISO 14731–2004, ДСТУ ISO 17637–2003 и др.).

Результаты научной деятельности Ю. К. Бондаренко отражены в 120 статьях и 23 авторских свидетельствах и патентах.

***Сердечно поздравляем юбиляров и от всей души желаем им
крепкого здоровья, жизненной энергии,
дальнейших творческих свершений, благополучия.***

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Редколлегия журнала «Автоматическая сварка»

ЦЕЛЬНОСВАРНОЙ МОСТ ЧЕРЕЗ ВХОД В ГАВАНЬ В Г. КИЕВЕ

В настоящее время в столице действует четыре автодорожных моста через р. Днепр. Однако их явно недостаточно в связи с возрастающей нагрузкой и увеличением транспортных потоков. В соответствии с Генеральным планом развития г. Киева на период до 2020 г. предполагается построить два новых автодорожных моста.

Грандиозное строительство в городе Киеве — Подольский мостовой переход — комплекс, состоящий из ряда объектов. Одним из них является «Горбатый» автодорожный мост через вход в Гавань. «Горбатым» он назван из-за конструктивной формы, которая обеспечивает судоходство без строгого ограничения высоты.

Общая длина моста 355 м, ширина 34,56 м. Шесть пролетов организованы поперечным сечением, состоящим из четырех ниток коробчатых прямоугольных балок, объединенных железобетонной плитой проезжей части.

Это инженерное сооружение интересно тем, что впервые в отечественном мостостроении в основных металлических сварных конструкциях — главных балках — применен листовой прокат двух различных марок сталей одного класса прочности С390.

Сталь 10ХСНД-2 (ГОСТ 6713) хорошо известна в мостостроении. Поставляется прокат в нормализованном состоянии. При изготовлении сварных конструкций с применением проката данной стали, проблем практически нет.

Сталь марки 06ГБД (ТУ У 27.1-054416923-085:2007) в мостостроении применяется впервые. В настоящее время эта сталь включена в ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування».

Из проката стали 10ХСНД-2 изготовлены две нитки главных балок, а две аналогичные по конструкции нитки главных балок — из проката 06ГБД.

Конструкции из проката 10ХСНД-2 изготавливали на ЗАО «Курганстальмост», а конструкции из 06ГБД — на Днепропетровском заводе металлических конструкций им. И. В. Бабушкина.

В ИЭС проведен комплекс исследований механических, технологических и служебных характеристик, а также свариваемости новой стали 06ГБД С 390, разработанной с участием ИЭС им. Е. О. Патона. Разработаны и внедрены технологические инструкции по изготовлению и монтажу металлоконструкций.



Строительство автодорожного моста через вход в Гавань (р. Днепр г. Киев)

При строительстве моста через вход в Гавань авторами проекта и представителями ИЭС осуществлялось научно-инженерное сопровождение: производился входной контроль сварных металлоконструкций, поступающих на монтажную площадку от заводов-изготовителей, под постоянным контролем было качество сборочных и сварочных работ. Перед выполнением сварочных работ производили оперативный контроль готовности сварочного оборудования и материалов к производству монтажных работ.

При выполнении монтажа главных балок, изготовленных их двух сталей, получен большой практический опыт сварки сталей без каких-либо специальных приемов, так как сталь 06ГБД технологична и не требует предварительного подогрева при сварке.

При монтаже металлоконструкций применяли типовое сварное соединение — «монтажный стык Патона».

Сварочные материалы:

- для автоматической сварки под флюсом — проволока Св-10НМА, Св-10Г2, диаметром 4 мм, флюс АН 47 + АН 348 (50 % + 50 %);
- вертикальные швы с принудительным формированием — порошковая проволока ПП-АН19Н диаметром 3 мм;
- для полуавтоматической сварки — проволока марки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в среде защитного газа CO₂;
- для ручной дуговой сварки — электроды типа Э50А марки УОНИ-13/55 диаметром 3...4 мм.

В настоящее время завершен монтаж главных балок пролетных строений моста, выполняется бетонирование настила проезжей части.

Автор проекта — М. М. Корнеев, проектное бюро АО «Мостобуд»
Инженерное сопровождение строительства — ИЭС им. Е. О. Патона
Пуск моста планируется в конце 2007 г.

15 лет на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Трида-Сварка»
г. Запорожье

- Электрогазосварочное оборудование
- Горелки к полуавтоматам
- Электрододержатели
- Пусконаладочные работы
- Ремонт сварочного оборудования, в том числе сложного
- Технологическое обеспечение сварочных процессов
- Автоматизированные сварочные линии и комплексы
- Проволока алюминиевая марки Al Mg 5 \varnothing 1,2 мм, Al Si 5 \varnothing 1,2 мм



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

Электромашино-
строительный завод
«ФИРМА СЭЛМА»



**ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**



95000, г. Симферополь, Украина
ул. Генерала Васильева, 32А
Тел.: (0652) 58-30-55, 66-85-37,
58-30-50, 58-30-52, 58-30-54
E-mail: sales@selma.crimea.ua

www.selma.ua

маски
катоды
флюсы
горелки
редуктора
проволоки
электроды
выпрямители
плазмотроны
клемы массы
трансформаторы
сварочные трактора
керамические сопла
держатели электрода
сварочные полуавтоматы
установки для автоматизированной плазменной резки
оборудование для газоплазменной резки, наплавки, напыления
установки для контактной сварки
установки для микроплазменной сварки
гарантийное и сервисное обслуживание
установки очистки и фильтрации воздуха
установки для автоматической сварки в среде защитных газов всех видов металла
оборудование для антикоррозионной защиты
установки для автоматической сварки под флюсом
композиционные металлополимерные материалы



**ТОРГОВИЙ ДІМ
ЗВАРЮВАННЯ**

03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав.№21,
тел./факс: (+380 44) 526-93-70, 526-93-76, 526-93-75, 526-92-20,
e-mail: house@welding.kiev.ua, eduardch@ukr.net




ООО "НПФ "Элно"
Порошковые проволоки
для сварки, наплавки
и напыления



ООО "НПФ "Элно" является представителем компаний WELDING WIRELOYS LIMITED (Англия) и HYUNDAI WELDING (Южная Корея) в Украине



ул. Петровская, 69, г. Киев, 03680 тел. (044) 200-80-85, 200-85-17 факс (044) 200-85-17 e-mail: info@elno.com.ua



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

Производство материалов для дуговой сварки, наплавки и резки:

Электроды – АНО-4, АНО-4П, АНО-6, АНО-6У, АНО-12, АНО-21, АНО-21М, АНО-21У, 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, ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ЦУ-5, ТМУ-21У, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭА-395/9, ЭА-400/10У, 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-НхХ25Г14Н3Т, 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



ДОНМЕТ
Завод автогенного оборудования

Запоріжжя (061) 224-11-56
Київ (044) 200-80-67
Дніпропетровськ (056) 370-54-45
Донецьк (062) 381-88-93
Харків (0572) 50-16-89
Луганськ (0642) 595-165
Львів (0322) 45-00-68
Полтава (0532) 50-89-67
Вінниця (0432) 53-16-38
Сімферополь (0652) 54-32-11
Черкаси (0472) 64-35-28



(06264) 5-77-13, 4-26-85
svarka@donmet.com.ua www.donmet.com.ua

Лидер производства порошковых проволок в Украине



ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"

Порошковые проволоки для наплавки по ГОСТ 26101-84
–80Х20 Р3Т,35В9Х3СФ,25Х5ФМС,18Х1Г1М и др.

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК
–ВЕЛТЕК Н200 - Н620

Порошковые проволоки для сварки
–АН1,АН8,АН39,АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ
–ТМВ3,ТМВ6,ТМВ7,ТМВ11,ТМВ14,ТМВ29 и др

Диаметры от 1,0 до 6,0 мм., производство до 5000 т/год
разработка, адаптация к условиям заказчика.

ул. Полевая, 24, офис 504
03056, Киев, Украина
тел./факс: (044) 456-0209, (044) 458-3485
e-mail: weldtec@iptelecom.net.ua www.weldtec.com.ua



г. Киев, 03150, ул. Божихів, 11
www.gefest-uv.com.ua
gefest-uv@kievweb.com.ua
т. 261-51-65; 227-88-33; т./ф 220-16-19

Производство высококачественных электродов для:

- Сварки высоколегированных сталей
 - ОЗЛ-6 • ЦЛ-11 • ЭА-48М/22
 - АНЖР-1 • АНЖР-2 • ЦТ-15
 - НИИ-48Г • ОЗЛ-8 и др.
- Сварки теплоустойчивых сталей
 - ЦУ-5 • ЦА-39 • ТМУ-21У
- Наплавки слоев со специальными свойствами
 - ЦН-12М • ЦН-6А • Гефест-6 (ОЗН-6)
 - Т-590 • НР-70 • ЦЧ-4
- Изготовление на заказ электродов необходимых Вам марок
- Проволока сварочная СВ-08Г2С

Все марки электродов
СЕРТИФИЦИРОВАНЫ

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:
Флюсы сварочные

Проволоки порошковые для внепечной обработки металлургических расплавов

Проволоки порошковые для сварки, наплавки, напыления и металлплазми

Электроды наплавочные, специального назначения, для сварки чугуна и резки

Ферросплавы и легитурсы

Хром металлургический

Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Кургантокая, 1 Тел.: (380562) 35-50-25
г. Днепропетровск Тел./факс: (380562) 35-19-41
49051, Украина E-mail: sp@spetszsplov.dp.ua

**производство продажа
сервисное обслуживание**



*малозабаритное,
высокоэффективное
энергосберегающее сварочное
оборудование на токи
110-300 А с ограничением
холостого хода до 12 В*



*автономные мобильные
сварочные комплексы на базе
резонансных преобразователей*



*сварочные инверторы для
ММА и ТИГ сварки
на токи до 300 А*

"ИЭС-ЭПИС"

Украина, 03150 г. Киев
ул. Горького, 56, корп. 2
Тел.: (044) 271-2036
Факс: (044) 271-2107

**НАВКО-
ТЕХ**

Automatic machines and robots for arc welding

**Автоматические установки и роботы
для дуговой сварки**



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА



Украина, 03056, Киев, ул. Полевая, 24
Тел.: +38 044 456-40-20
Факс: +38 044 456-83-53

<http://www.navko-teh.kiev.ua>

E-mail: info@navko-teh.kiev.ua



MEGAFIL®
СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМЫ

MEGAFIL® — обеспечение точности благодаря совершенной форме: полностью бесшовная порошковая проволока с уникальными сварочными свойствами для получения неразъемных соединений; благодаря своим стабильным размерам, отсутствию деформаций кручения она пригодна при решении широкого круга задач; гарантированная внутренняя защита от влаги позволяет использовать ее без повторной прокатки; важными преимуществами являются сверхвысокая электрическая проводимость и стабильное горение дуги. Поддержите свою форму с помощью MEGAFIL®.

MEGAFIL®: Продукция компании Дратцуг Штайн — наша серия бесшовных изделий, включая также высококачественные порошковые проволоки TOPCORE® и MECUFIL®.


DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Drahtzug Stein
D-67317 Altleiningen
Tel: +49(0) 6356 966-0
Fax: +49(0) 6356 966-114
E-mail: postmaster@drahtzug.de; www.drahtzug.de

Официальный представитель в Украине

АРКСЭЛ
83017, г. Донецк, пер. Вирсаний, 2а
Тел.: (062) 332-2650(52)
Тел./факс: 382-9449, 332-2651

E-mail: info@arsel.dn.ua; www.arsel.dn.ua



ПОДПИСКА — 2007 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
	180 грн.	360 грн.	1980 руб.	3960 руб.	78 дол. США	156 дол. США

* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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

Контакты: тел.: (38044) 287-63-02, 271-24-03; факс: (38044) 528-34-84, 528-04-86, 529-26-23.

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

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____ **200** г. по _____ **200** г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

- Первая страница обложки (190×190 мм) - 500 \$
- Вторая страница обложки (200×290 мм) 350 \$
- Третья страница обложки (200×290 мм) - 350 \$
- Четвертая страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

- Первая страница обложки (190×190 мм) - 350 \$
- Вторая страница обложки (200×290 мм) 350 \$
- Третья страница обложки (200×290 мм) - 350 \$
- Четвертая страница обложки (200×290 мм) - 350 \$

Внутренняя вставка

- Полноцветная (200×290 мм) - 300 \$
- Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) - 500 \$
- Полноцветная (200×145 мм) - 150 \$
- Полноцветная (80×80 мм) - 20 \$
- 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 200×290 мм
- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов, необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации
- Все файлы в формате IBM PC**
- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 7.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi
- К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 2.08.2007. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отт. 8,3. Уч.-изд. л. 8,9 + 2 цв. вклейки. Цена договорная.

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

© Автоматическая сварка, 2007