

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
 РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Н. П. Алешин (Россия)
 Гуань Цяо (Китай)
 У. Дилтай (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) 200 6302, 200 8277
 Факс: (38044) 200 5484, 200 8277
 E-mail: journal@paton.kiev.ua
 http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
 регистрации КВ 4788
 от 09.01.2001

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

За содержание рекламных
 материалов редакция журнала
 ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<i>Харченко Г. К., Устинов А. И., Фальченко Ю. В., Муравейник А. Н., Мельниченко Т. В., Петрушинец Л. В.</i> Диффузионная сварка в вакууме сплава на основе γ -TiAl с использованием нанослойных прослоек	7
<i>Лабур Т. М., Шонин В. А., Таранова Т. Г., Костин В. А., Машин В. С., Клочков И. Н.</i> Морфология поверхности разрушения в условиях усталости сварных соединений сплава AMg6, полученных плавящимся электродом	12
<i>Хохлова Ю. А., Федорчук В. Е., Хохлов М. А.</i> Особенности межзеренного массопереноса галлия в алюминиевом сплаве при твердофазной активации соединяемых поверхностей	19
<i>Белоус В. Ю.</i> Условия формирования бездефектных швов при сварке низколегированных титановых сплавов в узкий зазор магнитоуправляемой дугой	23
<i>Осадчук С. А., Котляр О. В., Ныrkова Л. И., Поляков С. Г.</i> Мониторинг коррозии трубопроводов системы охлаждения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций	27
<i>Носовский Б. И., Лаврова Е. В.</i> Разработка методики выбора параметров наплавки ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла	30

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<i>Ланкин Ю. Н., Москаленко А. А., Тюкалов В. Г., Семикин В. Ф.</i> Управление зажиганием дуги при возбуждении электрошлакового процесса	34
<i>Скачков И. О., Чвертко Е. П.</i> Оценка стабильности процесса сплавления при контактной стыковой сварке	38
<i>Козулин С. М.</i> Выбор формы разделки кромок при ремонте сквозных трещин многослойной электрошлаковой сваркой	41
<i>Барвинко А. Ю., Барвинко Ю. П.</i> Повышение качества сварного узла врезки патрубков в стенку резервуаров для хранения нефти	46
<i>Левченко О. Г., Левчук В. К., Тимошенко О. Н.</i> Экранирующие материалы и средства индивидуальной защиты сварщика от магнитных полей	49

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Кафедра физической металлургии и материаловедения в ИЭС им. Е. О. Патона	56
--	----

ХРОНИКА

Съезд Международного института сварки	59
Выдающийся ученый и организатор науки (к 100-летию со дня рождения М. В. Келдыша)	60
И. И. Зарубе — 90	61
А. А. Бондареву — 75	62
Памяти С. И. Притулы	63
ИНФОРМАЦИЯ	64
Компания «Lincoln Electric» в России	65
Разработано в ИЭС	45, 48

Avtomaticheskaya Svarka

№ 3 (695)

March 2011

Published since 1948

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Dilthey (Germany)
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) 200 63 02, 200 82 77
Fax: (38044) 200 54 84, 200 82 77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushina
Electron galley:
I. R. Naumova,

I. V. Petushkov, A. I. Sulima

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

Kharchenko G. K., Ustinov A. I., Falchenko Yu. V., Muravejnik A. N., Melnichenko T. V., Petrushinets L. V. Vacuum diffusion bonding of alloy on γ -TiAl base using nanolayers interlayers 7
Labur T. M., Shonin V. A., Taranova T. G., Kostin V. A., Mashin V. S., Klochkov I. N. Morphology of fracture surface under conditions of fatigue of alloy AMg6 welded joints made by consumable electrode 12
Khokhlova Yu. A., Fedorchuk V. E., Khokhlov M. A. Specifics of intergranular mass transfer of gallium in aluminium alloy in solid-state activation of surfaces being joined 19
Belous V. Yu. Conditions of formation of defect-free welds in narrow-gap magnetically-controlled arc welding of low-alloy titanium alloys 23
Osadchuk S. A., Kotlyar O. V., Nyrkova L. I., Polyakov S. G. Monitoring of corrosion of pipelines of cooling system of automobile gas-filling compressor stations 27
Nosovsky B. I., Lavrova E. V. Development of method for selection of parameters of strip electrode surfacing with a forced mechanical transfer of molten metal 30

INDUSTRIAL

Lankin Yu. N., Moskalenko A. A., Tyukalov V. G., Semikin V. F. Control of arc ignition in exciting of electroslog process 34
Skachkov I. O., Chvertko E. P. Evaluation of stability of fusion process in flash-butt welding 38
Kozulin S. M. Selection of groove shape in repair of through cracks in multilayer electroslog welding 41
Barvinko A. Yu., Barvinko Yu. P. Improvement of quality of welded assembly of branch pipes insertion into wall of oil storage tanks 46
Levchenko O. G., Levchuk V. K., Timoshenko O. N. Shielding materials and means for individual protection of welder from magnetic fields 49

BRIEF INFORMATION

Chair of Metal Physics and Materials Science at the E. O. Paton Electric Welding Institute 56

NEWS

Congress of IIW 59
Outstanding scientist and science organizer (Towards the 100th anniversary of M. V. Keldysh) 60
Zaruba I. I. is 90 61
Bondarev A. A. is 75 62
In memory of Pritula S. I. 63
INFORMATION 64
«Lincoln Electric» in Russia 65
Developed at the PWJ 45, 48

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

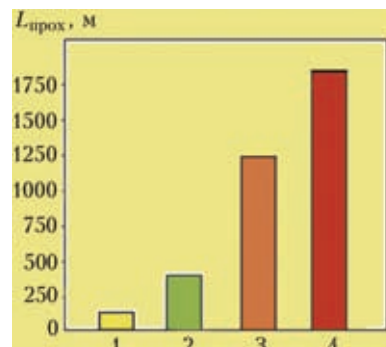
ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ ДОЛОТА



Буровое долото и калибратор для добычи рассеянного шахтного метана

Шахты Донецкого бассейна имеют высокую насыщенность слоев метаном, что не только усложняет эксплуатацию шахт и повышает эксплуатационные расходы, но и постоянно создает угрозы взрывов с тяжелыми последствиями, в том числе с человеческими жертвами. Между тем опыт шахты им. Засядько показывает, что имеется возможность не только уменьшить вероятность аварий на шахтах из-за взрывов метана, но и эффективно использовать последний как для обеспечения шахтных потребностей (энергосбережение, применение на транспорте и т. д.), так и для нужд местного населения.

Узким местом для массового применения этой технологии являлась низкая стойкость производимых в Украине долот, которые значительно уступали зарубежным аналогам.



Среднее значение проходки бурового долота, изготовленного в Институте сверхтвердых материалов (ИСМ) (1); совместно ИСМ и ИЭС (2); ИЭС (3); ИЭС + ремонт (4)

В ИЭС им. Е. О. Патона созданы:

- высокопрочные бескадмиевые припои и технологический процесс изготовления долот;
- усовершенствованная конструкция долота и стабилизатора.

Обновленная конструкция и технология изготовления позволили повысить проходку в несколько раз.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины разработан новый малогабаритный многофункциональный источник питания «МП-50» для микроплазменной сварки и порошковой наплавки. Он предназначен для обеспечения технологических процессов ручной и механизированной микроплазменной сварки черных, цветных, тугоплавких металлов, сплавов малых толщин (от 0,3 до 1,5 мм) и может быть использован в качестве основного или вспомогательного плазменного источника энергии в составе технологических установок для микроплазменно-порошковой наплавки и гибридной лазерно-микроплазменной сварки.

В соответствии с функциональным назначением источник питания обеспечивает формирование микроплазменной дуги с требуемыми для заданных технологических процессов энергетическими и теплофизическими характеристиками при работе в следующих основных режимах:

режим А — сварка постоянным током прямой полярности с плавной регулировкой тока от 5 до 50 А;

режим В — сварка импульсным током прямой полярности с плавной регулировкой тока от 5 до 50 А и дискретной регулировкой длительности импульсов и пауз между ними в диапазоне от 1 до 99 мс с шагом 1 мс;

режим С — сварка разнополярными импульсами тока с плавной регулировкой тока прямой полярности в диапазоне от 5 до 50 А и дискретной регулировкой длительности импульсов тока прямой полярности в диапазоне от 1 до 99 мс шагом 1 мс и тока обратной полярности в диапазоне от 5 до 25 А длительности импульсов тока обратной полярности в диапазоне от 1 до 99 мс шагом 1 мс.

Источник может быть использован в электромеханической промышленности, автомобилестроении, производстве изделий авиационной и космической техники, машиностроении и производстве промышленных установок, химической и пищевой промышленности, медицинской техники.

Для работы требуется подключение к плазмотрону (питателю порошковому) и внешним системам подачи рабочих газов и водоохлаждения.

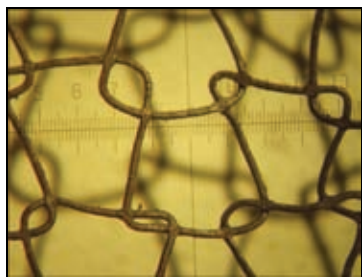


НОВЫЙ МЕТОД СВАРКОПАЙКИ

Сваркопайка одножильного провода с многожильным. Для стыкового соединения многожильных проводов с одножильными, в котором температура плавления материала многожильного провода не выше температуры плавления металла одножильного провода (например, для оконцевания проволок из сплавов сопротивления медными многожильными проводами), в Институте электросварки им. Е. О. Патона разработан новый метод сваркопайки.

Ниже приведены фотографии типичных соединений медного провода сечением 7×0,42 мм с проволокой диаметром 0,5 мм из нихрома (рисунок, а) и нержавеющей стали (рисунок, б).

Метод позволяет автоматизировать процесс соединения. Прочность соединений, выполненных с соблюдением технологических инструкций, соответствует прочности медного провода, т. е. разрыв при растяжении всегда происходит по медному проводу.



Сварка узлов металлической сетки.

При изготовлении сетки из тонкой проволоки, полученной из мягкого металла, часто возникает потребность соединения этой сетки в узлах с целью сохранения размеров ячеек. Эту задачу решает новый способ соединения узлов сетки в процессе ее плетения. Прочность соединения позволяет сворачивать сетку, изгибать ее под острым углом, манипулировать ею при различных видах эксплуатации.



ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ

Состояние сварочной горелки в виде фиксированного блока с контактной трубкой, которая достаточно быстро изнашивается, часто является причиной низкой производительности при роботизированной сварке. Имеют место также расходы, связанные с загрязнением окружающей среды, а также с заменой или очисткой быстроизнашивающихся деталей: брызгоотбойного устройства, газового сопла, распределителя газа.

Компания «Fronius» решает все эти проблемы с помощью своей новой разработки — станции смены корпуса горелки Robacta TX. Благодаря этой разработке уменьшается время простоя, повышаются безопасность производственного процесса, эксплуатационная готовность оборудования, качество сварки и производительность труда. С технической точки зрения это реализуется посредством применения сменного корпуса горелки вместе с контактной трубкой.

Корпус горелки может иметь различную геометрическую форму или содержать «всего лишь» быстроизнашивающиеся детали, требующие регулярной замены. Места соединений на свариваемых деталях могут располагаться в различных местах, в том числе, и в труднодоступных, и для осуществления оптимальной



Робот меняет корпус горелки для выполнения различных сварочных заданий или корпус горелки с новой контактной трубкой автономно, а также в зависимости от ситуации и потребности

сварки разных по длине участков могут потребоваться различные горелки. При использовании стандартного оборудования эксплуатационные перерывы для смены корпуса горелки достигают 15 мин. Такая же ситуация возникает при нескольких последовательных сварочных процессах, выполняемых с помощью различных корпусов горелок в две или несколько ячеек. При использовании системы Robacta TX промежуток времени между снятием одного и установкой другого корпуса горелки составляет всего лишь 20...30 с.

Экономия по сравнению со стандартной сменой инструмента составляет около 25 евро на сварочную ячейку и 10 евро по оплате обслуживающего персонала, т. е. около 35 евро за одну смену корпуса горелки. Если в день смена горелок выполняется трижды, то в год

складывается сумма в 25 000 евро! Более того, сокращается время сварки, что означает дополнительный рост производительности.

Кроме того, данная технология не требует дополнительных сварочных ячеек — вот источник дополнительной экономии инвестиций, производственных ресурсов и площади.

Экономия в 35 евро за каждую смену инструмента относится также к стандартной замене контактной трубки. Благодаря такой скорости смену инструмента можно выполнять по необходимости, т. е. в оптимальный с экономической точки зрения момент, когда обнаружен износ контактной трубки.

Таким образом, можно избежать преждевременной (например, между двумя сменами) замены контактной трубки, ресурс которой не исчерпан до конца. При использовании «очень абразивной» проволоки замену можно производить чаще и практически без перебоев в работе.

Система смены корпуса горелки Robacta TX состоит из консоли, на которой расположено до десяти корпусов горелки. Устройство для обрезания сварочной проволоки прикреплено к консоли. Все необходимые действия: обрезание проволоки перед сменой корпуса горелки, ее обратная намотка и укладка, задействование сменной муфты, захват следующего корпуса горелки, перемотка проволоки вперед и ее обрезание до необходимого вылета электрода — выполняются автономно и под контролем датчиков. Компактная конструкция системы гарантирует кратчайшие сроки смены. Для приведения муфты в действие подается сжатый воздух под давлением 6 бар. Система Robacta TX подходит для горелок как с газовым, так и с водяным охлаждением.



После установки нового корпуса горелки сварочная проволока пропускается сквозь корпус горелки и отрезается до нужного вылета электрода

ОРБИТАЛЬНАЯ СВАРКА ТИГ КОМПАНИИ «POLYSOUDE»

С новыми инверторными источниками питания, такими как P4 и P6, компания «POLYSOUDE» (Франция) установила новый технологический стандарт для автоматизированной орбитальной сварки ТИГ. Лидеры рынка Франции раскрывают новые уровни качества и экономическую эффективность для заводского изменения. На новом витке своей деятельности компания провела технологическую и визуальную адаптацию других важных составляющих своей хай-тек системы для орбитальной сварки в соответствии с новым представлением о соединении: совершенно новые сварочные головки, которые особенно легко использовать и в то же время они имеют эргономичный и отличный дизайн.

Новые головки для орбитальной сварки позволяют оператору достаточно легко приваривать трубу к трубной доске и трубу к трубе. При разработке головки TS 8/75 для приварки трубы к трубной доске выдвигались следующие требования: большая компактность, эргономичность, эффективность, простота, автоматизированность и точность.

Команда компании «POLYSOUDE» улучшила эти требования — TS 8/75 поражает своей массой и компактными размерами применительно к обрабатываемой детали;

эргономичным двойным зажимом со встроенными кнопками управления для закрепления и сварки.

Встроенная пневматическая система зажимания/центрирования позволяет работать с помощью нескольких сварочных головок одновременно; очень легко отрегулировать подачу проволоки и опоры; стандартная регулировка высоты дуги помогает полностью автоматизировать процесс соединения; встроенный механизм подачи проволоки с одновременным вращением обеспечивает постоянную скорость подачи, а также постоянное контактное положение для присадочной проволоки.



Новая головка TS 8/75



Применение головки для приварки трубы к трубной доске в теплообменниках

Новая сварочная головка обеспечивает продолжительные сроки службы и эксплуатации благодаря замкнутой цепи водного охлаждения. Коллектор подает постоянно вращающейся головке энергию, защитный газ и воду для охлаждения. Таким образом, огромное количество кабелей и шлангов, используемых для традиционных горелок, уходят в прошлое.

Головки для приварки трубы к трубной доске применяются для создания соединений в теплообменниках — одном из наиболее сложных элементов с наиболее изменяемой формой: в парогенераторах на энергостанциях, для охлаждения в системах кондиционирования воздуха и стерилизации в пищевой промышленности, т. е. когда часто необходимо выполнить множество одинаковых соединений.

В этом случае наиболее экономным является процесс автоматизированной сварки с системами соединения от компании «POLYSOUDE» — уровень дефектов практически равен нулю. Это утверждение применимо ко всем основным материалам независимо от того углеродистая или нержавеющая это сталь, титан, цирконий или дуплекс сталь.

СВАРОЧНЫЙ КОМПЛЕКС «СТЫК»

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан сварочный аппарат комплекса «Стык» нового поколения для автоматизированной электродуговой сварки порошковой проволокой с принудительным формированием шва неповоротных стыков труб большого диаметра. Производство аппарата освоено Каховским заводом электросварочного оборудования.

Ниже приведены технические характеристики.

Параметр	Значение
Диаметр свариваемых труб	530...1420 мм
Толщина стенки	12...30 мм
Сварочный ток при ПВ 100%	280...500 А
Напряжение дуги	24...32 В
Диаметр электродной проволоки	1,6; 2,0; 2,4 мм
Скорость подачи электродной проволоки	150...500 м/ч
Скорость перемещения сварочной головки	до 25 м/ч
Машинное время сварки одного стыка (при работе двух головок одновременно) на трубах диаметром 1020...1420 мм	6...12 мин





ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ СПЛАВА НА ОСНОВЕ γ -TiAl С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСЛОЙНЫХ ПРОСЛОЕК

Г. К. ХАРЧЕНКО, д-р техн. наук, А. И. УСТИНОВ, д-р физ.-мат. наук, Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук,
А. Н. МУРАВЕЙНИК, инж., Т. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, канд. техн. наук, Л. В. ПЕТРУШИНЕЦ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние нанослойных прослоек Ti/Al, Ni/Ti и Ni/Al на структуру сварных швов сплавов на основе γ -TiAl, полученных диффузионной сваркой в вакууме. Показано, что при использовании нанослойных прослоек, химический состав которых отличается от состава свариваемого сплава, требуется гомогенизирующий отжиг для снижения степени химической неоднородности в зоне шва.

Ключевые слова: диффузионная сварка в вакууме, интерметаллидный титаноалюминиевый сплав на основе γ -TiAl, нанослойная прослойка, гомогенизирующий отжиг, стык соединения, неоднородность, структура, микротвердость

Алюминиды титана и сплавы на их основе относятся к новому классу легких жаропрочных материалов, предназначенных для работы при температуре 700...1100 °С, т. е. значительно выше температуры, при которой работают современные титановые суперсплавы ($T \leq 600$ °С). Интерес к алюминидам титана обусловлен перспективностью их применения в изделиях авиакосмической техники взамен титановых и никелевых суперсплавов.

В работах [1, 2] изучена свариваемость алюминидов титана (Ti–45 ат. % Al–2 ат. % Cr–2 ат. % Nb) с применением нанослойных прослоек системы Ti–Al состава Ti–48...50 ат. % Al, которые наносили на свариваемые поверхности магнетронным напылением. Толщина прослоек составляла 2,0...2,5 мкм при толщине отдельных слоев 4 нм. В прослойках в процессе осаждения пленки происходит образование нанокристаллов TiAl с твердостью более высокой, чем основной металл. Оптимальными параметрами авторы указанных работ считают температуру сварки $T_{\text{св}} = 1000$ °С; давление $P = 50$ МПа; время сварки $t_{\text{св}} = 1$ ч.

В работе [3] показано, что оптимальный режим диффузионной сварки сплавов γ -TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al, полученной вакуумным осаждением, следующий: $T_{\text{св}} = 1200$ °С; $P = 10$ МПа; $t_{\text{св}} = 20$ мин. При этом в зоне соединения поры и трещины не образуются.

В литературе отсутствуют результаты исследований возможности применения нанослойных прослоек другого состава.

Целью настоящей работы является исследование особенностей формирования неразъемных соединений сплава на основе γ -TiAl в случае применения нанослойных прослоек Ti/Al, Ni/Ti, Ni/Al в виде фольг толщиной 15...30 мкм, полученных методом электронно-лучевого испарения и осаждения в вакууме из паровой фазы [4, 5]. Фольги состоят из чередующихся нанослоев компонентов, в которых при нагреве проходят твердофазные реакции синтеза интерметаллидов.

Для сварки образцов сплава Ti–48 ат. % Al–2 ат. % Nb–2 ат. % Mn выбраны следующие промежуточные прослойки: Ti/Al (Ti–38 ат. % Al), Ni/Ti (Ti–44 ат. % Ni) и Ni/Al (Al–46 ат. % Ni).

Диффузионную сварку образцов размером 10×10×6 мм из интерметаллида Ti–48 ат. % Al–2 ат. % Nb–2 ат. % Mn (далее γ -TiAl) выполняли на установке У-394. В качестве источника нагрева использовали электронно-лучевой нагреватель. Свариваемые поверхности предварительно подготавливали путем снятия на алмазном круге нагарованного слоя, а затем обезжиривания. Сварку осуществляли на следующем режиме: температура нагрева $T_{\text{н}} = 1200$ °С; время нагрева $t_{\text{н}} = 20$ мин; $P = 20$ МПа; вакуум в рабочей камере на уровне $1,33 \cdot 10^{-3}$ МПа.

Микроструктуру и химический состав основного металла и сварных соединений анализировали с помощью оптического микроскопа «Неофот-32» и сканирующего микроскопа «CamScan», оснащенного энергодисперсионной системой локального анализа «Energy 200». Фазовый состав оценивали методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре «ДРОН-3» с использованием излучения $\text{Cu}_K\alpha$. Микротвердость образцов измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,1...0,5 Н.

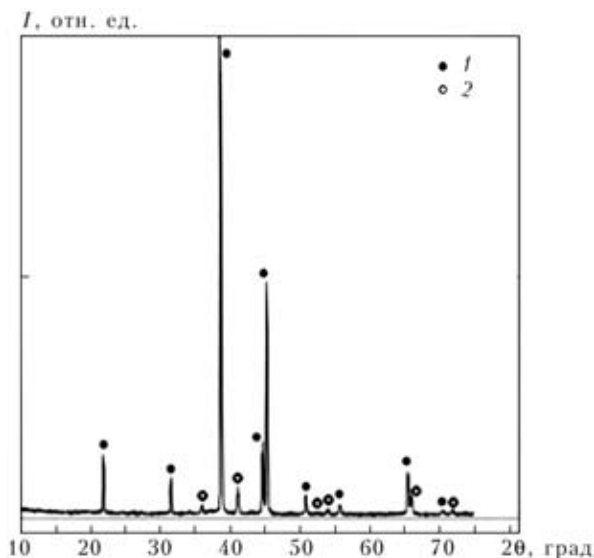


Рис. 1. Фрагмент дифрактограммы сплава γ -TiAl в исходном состоянии: 1 — фаза TiAl; 2 — фаза Ti_3Al ; I — интенсивность излучения; 2θ — угол дифракции

Результаты рентгеноструктурного фазового анализа показали, что в исходном состоянии в состав сплава γ -TiAl входят две фазы — TiAl (γ -фаза) и Ti_3Al (α_2 -фаза). В указанном сплаве объемная доля α_2 -фазы по отношению к γ -фазе составляет около 7 %. Фрагмент дифрактограммы сплава γ -TiAl приведен на рис. 1.

Металлографические исследования показали, что в исходном состоянии в сплаве сформировалась полностью ламельная структура. Сплав состоит из однородных, практически равноосных зерен размером приблизительно 60...120 мкм с пластинами (ламелями) γ - и α_2 -фазы внутри, имеющими определенную направленность (рис. 2).

В работе [6] отмечается, что обычно α_2 -фаза в ламельной структуре присутствует в виде тонких пластин на двойниковых границах γ -фазы, что, вероятно, тормозит ее рост. Кроме того, в структуре сплава на фоне ламельной структуры образуются дисперсные темные включения различной формы, которые равномерно распределены в объеме матрицы и имеют повышенное содержание ниобия. В сплаве встречаются единич-

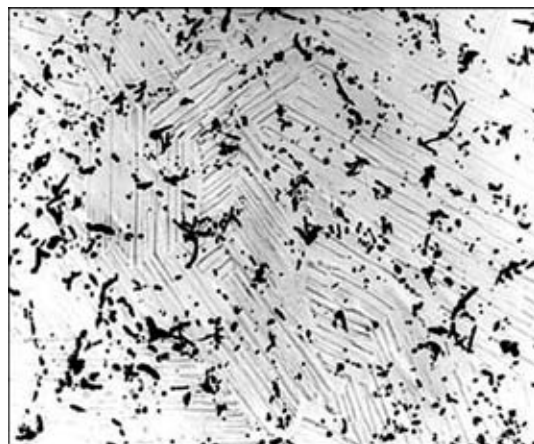


Рис. 2. Микроструктура ($\times 400$) сплава γ -TiAl в исходном состоянии

ные микропоры, наличие крупных пор и трещин не обнаружено. Микротвердость сплава в исходном состоянии составляет HV 3000...4000 МПа.

Ранее авторами работы [3] были проведены металлографические исследования соединения сплава γ -TiAl, полученного диффузионной сваркой в вакууме без прослойки. На рис. 3, а видно, что в структуре переходной зоны четко проявляется граница раздела, образование общих зерен в зоне соединения не происходит. В микроструктуре указанного сплава при больших увеличениях в режиме фазового контраста на границе обнаружено наличие прослойки интерметаллида Ti_3Al (рис. 3, б).

Сварка с применением прослоек Ti/Al. Микроструктуры сварного соединения, полученного с использованием нанослойной прослойки Ti/Al, представлены на рис. 4, б, в, где цифрами обозначены точки, в которых проводились исследования микротвердости и локального химического состава.

Результаты металлографических исследований показали, что в сварном соединении дефекты в виде пор, оксидных включений и трещин отсутствуют. В стыке сформировалась однородная переходная зона (рис. 4, а) толщиной около 20 мкм, состав которой по данным локального химического анализа соответствует 49,26 ат. % Al–50,07

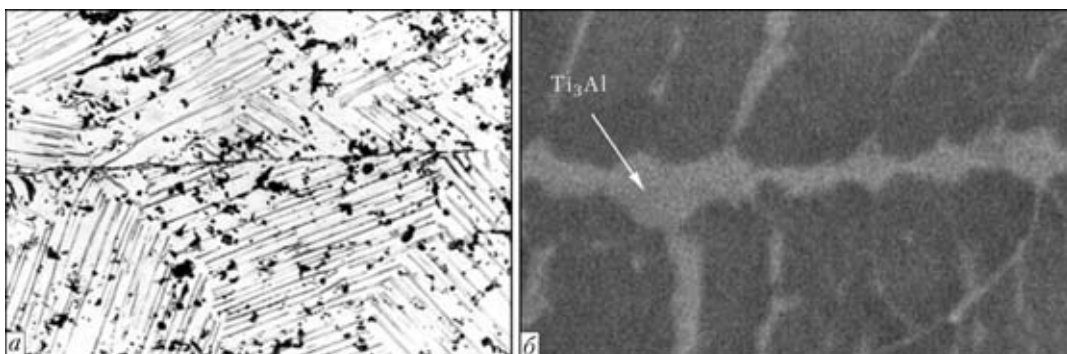


Рис. 3. Микроструктуры зоны соединения сплава γ -TiAl при сварке без промежуточной прослойки, полученные методами оптической (а, $\times 500$) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) в режиме фазового контраста (б, $\times 3000$)

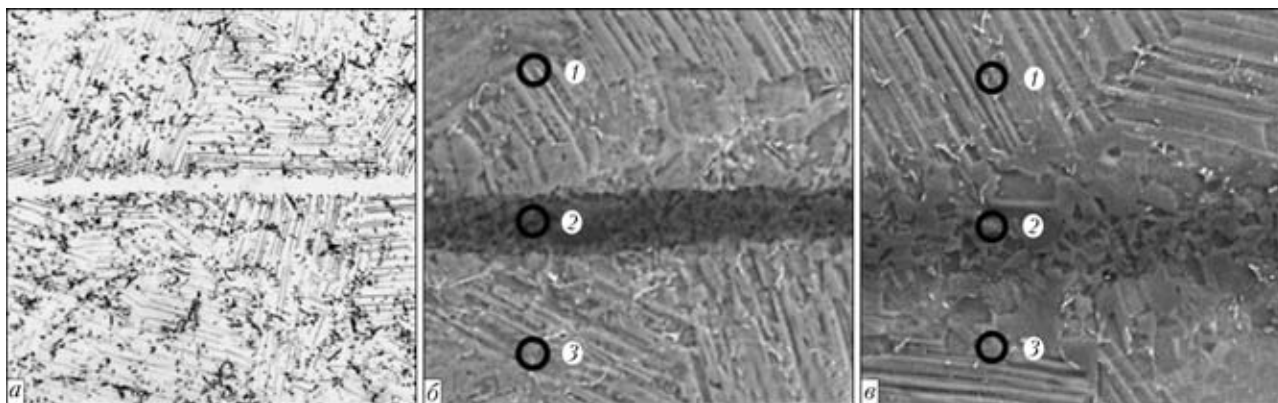


Рис. 4. Микроструктуры зоны соединения сплава γ -TiAl при сварке с использованием нанослойной прослойки Ti/Al, полученные методом оптической микроскопии (а, $\times 200$), РЭМ (б, $\times 300$) и РЭМ после сварки и гомогенизирующего отжига при 1200 °С в течение 2 ч (в, $\times 300$)

ат. % Ti–0,67 ат. % Mn, что близко к составу основной интерметаллидной фазы γ -TiAl. При использовании прослойки Ti/Al в зоне соединения формируются мелкие равноосные зерна, прорастающие в основной металл (рис. 4, б), что, однако, не ухудшает прочностные свойства соединения. Микротвердость в зоне соединения составляет HV 3500...4200 МПа, а основного металла — HV 3000...4000 МПа.

Для понимания роли нанослойных фольг в формировании сварного соединения и исследования интенсивности протекания диффузионных процессов в стыке нами выполнена сварка с применением радиоактивных изотопов, предварительно нанесенных на алюминид титана. Установлено [7], что применение нанослойных прослоек Ti/Al при диффузионной сварке в вакууме значительно увеличивает подвижность атомов ^{63}Ni в зоне соединения. При сварке с нанослойной прослойкой размер диффузионной зоны возрастает приблизительно в 4 раза по сравнению со сваркой без прослойки. Расчетное значение эффективного коэффициента диффузии при сварке без прослойки составляет около $1 \cdot 10^{-7}$, с прослойкой — около $1 \cdot 10^{-5}$ см²/с. Таким образом, при применении нанослойной прос-

лойки подвижность атомов ^{63}Ni в зоне соединения увеличивается на два порядка.

Об активизации диффузионных процессов свидетельствует присутствие марганца в зоне соединения (табл. 1). Ниобий при сварке в отличие от марганца из основного металла в прослойку не переходит. Поскольку неоднородность структуры и химического состава сварного соединения, возможно, связана с недостаточно длительным термическим воздействием при сварке, для повышения однородности состава и структуры полученные образцы подвергали гомогенизирующему отжигу в вакууме в течение 2 ч при температуре 1200 °С. После отжига в стыке сварного соединения происходит выравнивание химического состава прослойки и основного металла (рис. 4, в и табл. 1).

Сварка с применением прослоек Ni/Ti. С помощью металлографических исследований установлено, что нанослойная прослойка Ni/Ti значительно активизирует диффузионные процессы в зоне соединения. В процессе сварки на месте исходной прослойки формируется переходная зона переменной толщины (около 30 мкм), неоднородная по структуре и составу, состоящая из двух фаз (рис. 5, а, б). По данным локального химического анализа (табл. 2) темно-серая фазовая составляющая содержит следующие элементы, ат. %: до 0,7 Ni; 59,2 Ti; 37,4 Al; 1,8 Nb; 0,9 Mn. Светлая фазовая составляющая имеет в своем составе элементы, ат. %: 16,9 Ni; 36,0 Ti; 43,0 Al; 1,8 Nb; 2,3 Mn. В процессе диффузионной сварки ниобий так же, как и марганец, проникает в переходную зону по всей ее толщине (табл. 2). Никель в основном сосредоточен в светлой фазовой составляющей, которая представляет собой комплексный интерметаллид (Ti, Ni)Al. Микротвердость темно-серых диффузионных участков составляет HV 4500...5500 МПа, а центральной области, состоящей преимущественно из комплексного интерметаллида, — HV 8000...10000 МПа, что значительно выше микротвердости ос-

Таблица 1. Показатели зоны соединения сплава γ -TiAl, полученного с применением нанослойной прослойки Ti/Al

Способ обработки	Исследуемые точки*	Химический состав, ат. %				HV , МПа
		Al	Ti	Mn	Nb	
Сварка	1	45,58	50,97	1,44	2,01	5000
	2	49,26	50,07	0,67	—	4000
	3	43,05	54,18	0,99	0,78	4500
Сварка + отжиг	1	44,57	52,03	1,36	2,04	3800
	2	46,69	51,39	1,02	0,90	3500
	3	43,18	53,85	0,84	2,13	3900

* Здесь и в табл. 2, 3 см. рис. 4, б, в.

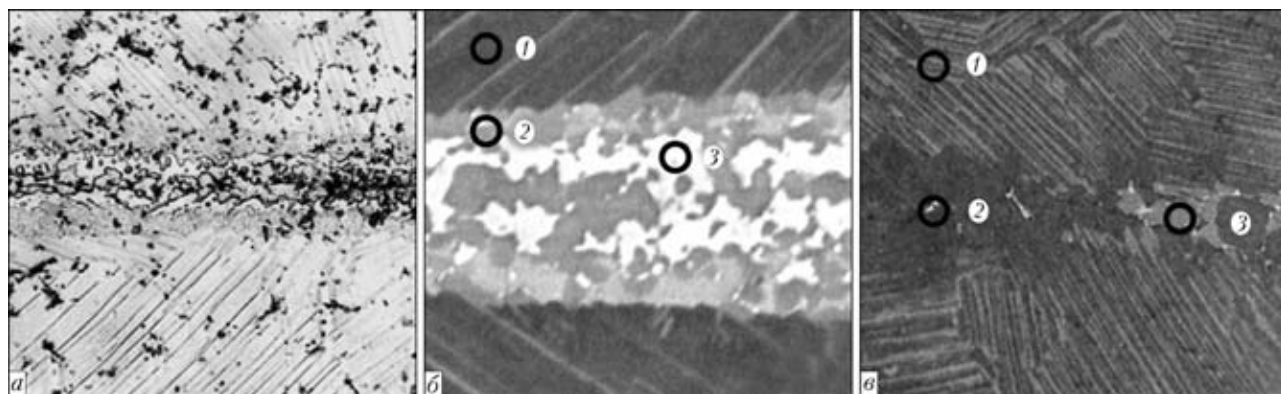


Рис. 5. Микроструктуры зоны соединения при сварке с использованием нанослойной прослойки Ni/Ti, полученные методами оптической микроскопии (а, $\times 400$), РЭМ (б, $\times 1000$) и РЭМ после сварки и гомогенизирующего отжига при 1200 °С в течение 2 ч (в, $\times 200$)

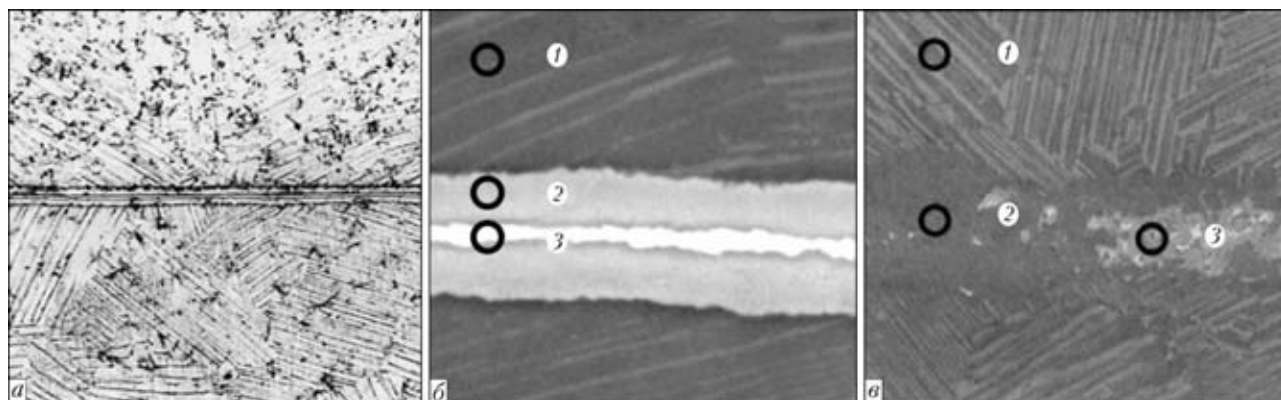


Рис. 6. Микроструктуры зоны соединения при сварке с использованием нанослойной прослойки Ni/Al, полученные методами оптической микроскопии (а, $\times 200$), РЭМ (б, $\times 1000$) и РЭМ после сварки и гомогенизирующего отжига при 1200 °С в течение 2 ч (в, $\times 200$)

Т а б л и ц а 2. Показатели зоны соединения сплава γ -TiAl, полученного с применением нанослойной прослойки Ni/Ti

Способ обработки	Исследуемые точки	Химический состав, ат. %					HV, МПа
		Al	Ti	Mn	Ni	Nb	
Сварка	1	44,1	52,4	1,2	0	2,3	3900
	2	37,4	59,2	0,9	0,7	1,8	5500
	3	43,0	36,0	2,3	16,9	1,8	9000
Сварка + отжиг	1	44,8	51,8	1,4	—	2,0	4200
	2	45,8	50,3	0,9	0,9	2,0	4400
	3	41,3	54,5	1,2	0,9	2,1	5300

Т а б л и ц а 3. Показатели зоны соединения сплава γ -TiAl, полученного с применением нанослойной прослойки Ni/Al

Способ обработки	Исследуемые точки	Химический состав, ат. %					HV, МПа
		Al	Ti	Mn	Ni	Nb	
Сварка	1	44,5	51,5	1,20	0,5	2,30	4100
	2	41,6	34,8	1,10	21,0	21,0	11400
	3	44,7	9,70	0,25	45,2	0,15	7900
Сварка + отжиг	1	43,0	53,3	1,30	0,2	2,20	4200
	2	48,5	48,2	0,90	0,4	2,00	4000
	3	43,2	46,5	2,10	6,6	1,60	10300

нового металла (HV 3500...3900 МПа). Заметного изменения структуры в областях основного металла, примыкающих к переходной зоне, не происходит, при этом lamellar структура сохраняется (рис. 5, б). После отжига в стыке имеет место выравнивание в распределении марганца и ниобия, которые входят в состав сплава и прослойки. Содержание никеля в стыке уменьшается до 0,9 ат. % (рис. 5, в и табл. 2).

Сварка с применением прослоек Ni/Al. Металлографические исследования соединений, полученных через нанослойную прослойку Ni/Al, показали, что в зоне соединения формируется переходная зона толщиной около 20 мкм, неоднородная по структуре и составу (рис. 6, а, б). В ее центральной части образуется слой интерметаллида на основе NiAl толщиной 3...4 мкм. Центральная область переходной зоны (рис. 6, б и табл. 3) содержит следующие элементы, ат. %: 45,2 Ni; 44,7 Al; 9,7 Ti; 0,25 Mn; 0,15 Nb. Следует отметить, что ниобий практически не проникает в центральную часть переходной

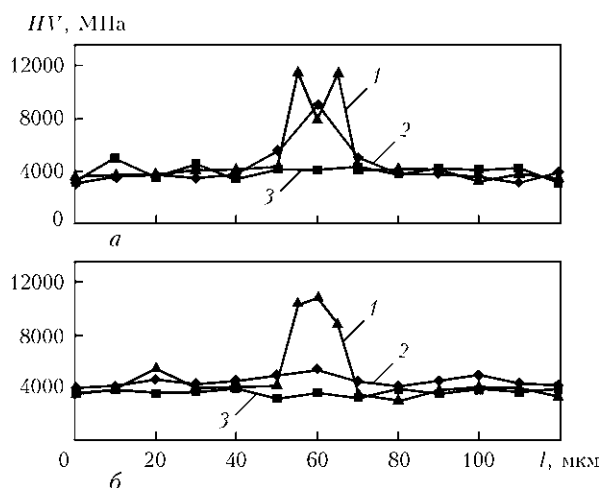


Рис. 7. Распределение микротвердости в зоне соединения после сварки с использованием нанослойных прослоек Ni/Al (1), Ni/Ti (2) и Ti/Al (3) (а), после сварки и гомогенизирующего отжига при 1200 °С в течение 2 ч (б) (l — расстояние между уколами индентора)

зоны. Ее периферийная область содержит следующие элементы, ат. %: 21 Ni; 41,6 Al; 34,8 Ti; 1,1 Mn; 1,4 Nb. Она представляет собой комплексный интерметаллид (Ti, Ni)Al, легированный ниобием и марганцем. Микротвердость периферийной области переходной зоны составляет HV 9000...11400 МПа.

Исследован также характер изменения микротвердости в зоне соединения γ -TiAl, полученного с применением нанослойных прослоек Ni/Ti, Ni/Al и Ti/Al. Характер изменения микротвердости в сварных соединениях, полученных с применением прослоек Ni/Ti и Ni/Al, свидетельствует о том, что в зоне соединения присутствуют участки материала с высокой микротвердостью, значительно превышающей микротвердость основного металла. При использовании нанослойных прослоек Ti/Al, близких по составу к основному металлу, микротвердость в зоне соединения практически не изменяется.

После отжига микротвердость сварных соединений, полученных с применением прослоек Ti/Al и Ni/Ti, близка по значению к микротвердости основного металла (HV 4000...5000 МПа). В случае применения прослоек Ni/Al отжиг не влияет на микротвердость (HV 10000...11000 МПа) сварных соединений.

Influence of nanolayered Ti/Al, Ni/Ti and Ni/Al interlayers on the structure of welds of γ -TiAl-base alloys made by vacuum diffusion bonding was studied. It is shown that when using nanolayered interlayers of a composition differing from that of the welded alloy, additional annealing is required for lowering the degree of chemical inhomogeneity in the weld zone.

Выводы

1. Применение промежуточных нанослойных прослоек Al/Ti при диффузионной сварке в вакууме интерметаллического сплава Ti–48 ат. % Al–2 ат. % Nb–2 ат. % Mn позволяет получить соединения с равномерным распределением в стыке легирующих элементов, входящих в состав сплава.

2. При применении нанослойных прослоек Ni/Al дополнительный отжиг не устраняет неоднородность химического состава, структуры и не влияет на микротвердость стыка сварных соединений.

3. Дополнительный отжиг сварных соединений, полученных с применением промежуточных нанослойных прослоек Ni/Ti, позволяет получить сварные соединения по химическому составу, близкие к основному металлу.

Авторы выражают искреннюю благодарность за участие в проведение данного исследования члену-корреспонденту НАН Украины А. И. Ищенко и кандидату технических наук В. К. Сабокарю.

1. Solid-state diffusion bonding of γ -TiAl alloys using Ti/Al thin films as interlayers / L. I. Duarte, A. S. Ramos, M. F. Vieira et al. // *Intermetallics*. — 2006. — № 14. — P. 1151–1156.
2. Nanometric multilayers: A new approach for joining TiAl / A. S. Ramos, M. T. Vieira, L. I. Duarte et al. // *Ibid.* — P. 1157–1162.
3. Получение неразъемных соединений сплавов на основе γ -TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме / А. И. Устинов, Ю. В. Фальченко, А. Я. Ищенко и др. // *Автомат. сварка*. — 2009. — № 1. — С. 17–21.
4. Устинов А. И., Олиховская Л. А., Полищук С. С. Метастабильные наноструктурные состояния в покрытиях систем Ni–Al, полученных осаждением из паровой фазы // *Металлофиз. и новейшие технологии*. — 2006. — № 6. — С. 32–37.
5. Твердофазные реакции при нагреве многослойных фольг Al/Ti, полученных методом электронно-лучевого осаждения / А. И. Устинов, Л. А. Олиховская, Т. В. Мельниченко и др. // *Современ. электротехнология*. — 2008. — № 2. — С. 21–28.
6. Романьков С. Е., Волкова Т. В., Мелихов В. Д. Фазово-структурные превращения сплава Ti–48 % Al–2 % Nb при искусственном старении // *Физ. металлов и металловедение*. — 2002. — 93, № 4. — С. 50–61.
7. Дослідження дифузійних процесів у зварних з'єднаннях алюмініду титану (TiAl) / Г. К. Харченко, В. Ф. Мазанко, А. І. Устін та ін. // *Вісн. Черніг. держ. технолог. ун-ту. Сер. Техн. науки*. — 2009. — № 37. — С. 117–119.

Поступила в редакцию 08.07.2010



МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТАЛОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА АМг6, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Т. М. ЛАБУР, д-р техн. наук, В. А. ШОНИН, Т. Г. ТАРАНОВА,
В. А. КОСТИН, В. С. МАШИН, кандидаты техн. наук, И. Н. КЛОЧКОВ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследования структуры поверхности разрушения после циклических испытаний с асимметрией цикла нагружения $R_\sigma = 0,4$ и $R_\sigma = -1$ образцов сварных соединений сплава АМг6, полученных плавящимся электродом. Выявлены особенности морфологии в различных участках излома и установлен механизм развития усталостной трещины. Отмечено, что разрушение сварных соединений на микроуровне носит смешанный и многоочаговый характер. Выполнение высокочастотной проковки в узкой зоне поверхности перехода шва сплава АМг6 к основному металлу с использованием стальных бойков обеспечивает формирование более плавной геометрии переходной зоны от шва к основному металлу и снижение средних значений коэффициента концентрации напряжений.

Ключевые слова: дуговая сварка, алюминиевый сплав, сварка плавящимся электродом, сварные соединения, испытания на усталость, морфология поверхности разрушения

Применение традиционных материалов и разработка новых требует знаний об изменении физических и структурных характеристик в условиях циклической нагрузки, поскольку они отражают уровень сопротивления материала развитию макротрещин в заданном структурном состоянии и режимах эксплуатации. Периодичность нагружения усиливает локализацию пластической деформации в материале, изменяет его напряженное состояние и вызывает структурную перестройку в микрообъемах, что является ответной реакцией на внешние воздействия [1–6]. Истощение способности материала к дальнейшей пластической деформации приводит к его разрушению.

В сварных соединениях различают структурные зоны, в которых под действием термического цикла сварки образуются сложные многофазные структуры. Различия гетерогенных зерен основного металла и образованных при сварке кристаллитов шва вызывают появление градиента концентрации напряжений в сварном соединении. Наряду с увеличением ширины межзеренного пространства в зоне нагрева растет количество эвтектических фаз, образующихся вследствие развития химической неоднородности по основным легирующим элементам и примесям из-за сегрегации их вдоль границ зерен [2]. В результате изменяются размеры, форма и конфигурация расположения выделений фаз, коагуляция включений интерметаллидных фаз, приводящих к образованию в зоне соединения участков с более грубой структурой, что оказывает влияние на локализацию

пластических деформаций в металле ЗТВ, приводя к реализации различных микромеханизмов разрушения, сопровождающих процессы зарождения и распространения трещин [3].

Целью данной работы является установление методом фрактографического анализа морфологических и структурных особенностей микрорельефа поверхности усталостного разрушения сварных соединений высокопрочного алюминиевого сплава АМг6 толщиной 12 мм, полученных плавящимся электродом. Сварку образцов осуществляли в смеси аргона и гелия (50 % + 50 %) импульсной дугой на режиме $I_{св} = 220$ А, $U_d = 23$ В, $v_{св} = 30$ м/ч с использованием источника питания ТРС-450 («Fronius», Австрия). Из стыков были вырезаны образцы сварных соединений поперек шва с технологическим усилением и без него.

После сварки некоторые соединения сплава подвергали механической проковке в узкой зоне поверхности перехода шва к основному металлу путем использования однорядной группы стальных бойков диаметром 5 мм, приводимых в направленное движение малогабаритным портативным ультразвуковым генератором (мощностью 0,3 кВт) и ручным инструментом с пьезокерамическим преобразователем ультразвуковых колебаний в механические [7]. Скорость перемещения бойков вдоль шва составляла 5 мм/с.

Испытания на усталость выполняли в условиях переменной нагрузки вдоль оси образца с частотой 5...6 Гц по стандартной методике на машине МТС-318.25 с максимальной осевой нагрузкой 25 т. Ошибка измерения прилагаемого усилия не превышала 1 %.

Состояние металла после сварки и выполнения высокочастотной механической проковки повер-



хности зоны сплавления шва с основным металлом изучали методом фрактографического анализа. Изменение формы и размеров отдельных фрагментов рельефа изломов сварных соединений исследовали на растровом электронном микроскопе JSM-840 с системой микроанализатора Link-860/500 (при ускоряющем напряжении 15, 25 и 30 кВ).

Визуальный анализ поверхности разрушения образцов сварных соединений сплава АМг6 после испытаний при циклической нагрузке с коэффициентом асимметрии $R_\sigma = 0$ показал, что усталостная трещина зарождается на границе сплавления шва с основным металлом и распространяется в направлении ЗТВ с дальнейшим переходом в основной металл, образуя магистральную трещину (рис. 1). Излом содержит три характерные рельефные зоны: чисто усталостное разрушение, усталостное разрушение с шероховатой поверхностью в результате пластической деформации, зону долома, образование которой происходило по механизму вязкого разрушения. Наличие различной топографии рельефных участков на изломах исследуемых образцов указывает на разную степень пластической деформации, которая сопровождает процессы зарождения и распространения магистральной усталостной трещины во время испытания. Цветовая окраска участков излома, где усталостная трещина зарождается и распространяется, блестящая, а зона долома имеет матовый цвет. На ее рельефе имеется несколько глубоких трещин, которые уходят вглубь образца и ориентированы вдоль оси приложения циклической нагрузки. Их протяженность на поверхности излома составляет 10...50 мкм, что можно

объяснить недостаточным качеством проработки сплава в процессе изготовления полуфабриката.

Топография участка, где сформировался очаг зарождения усталостной трещины, обусловлена характерными особенностями структуры металла шва на сплаве АМг6 и условиями циклического испытания (рис. 1, а–з). Уровень локальных микронапряжений, которые остались на границе кристаллитов металла шва после фазовых превращений в ходе сварочного цикла, оказывает влияние на процесс зарождения микротрещин. Изменение энергии активации в металле и концентрация пластических сдвигов в отдельных, наиболее напряженных кристаллитах шва при достижении критического значения размаха напряжения, сопровождается их локализацией, формированием полос скольжения, смещением одной части кристалла относительно другой вдоль одинаково ориентированных кристаллографических поверхностей [4, 5]. Это не только вызывает появление источника усталостной трещины, но и определяет характер ее дальнейшего распространения.

В плоскости излома трещина представляет собой плоскую поверхность в виде веера, развивающегося в радиальном направлении относительно оксидной пленки, расположенной в шве вблизи зоны сплавления. Это указывает на то, что пленка является очагом зарождения усталостной трещины. На поверхности излома присутствуют плоские участки межзеренного разрушения. Наблюдаются также признаки хрупкого зарождения трещины со ступеньками сброса (рис. 1, б), которые появляются при встрече вершины микротрещины с винтовыми дислокациями, пересекающими плоскость скола [4, 6]. Это могут быть дислокации,

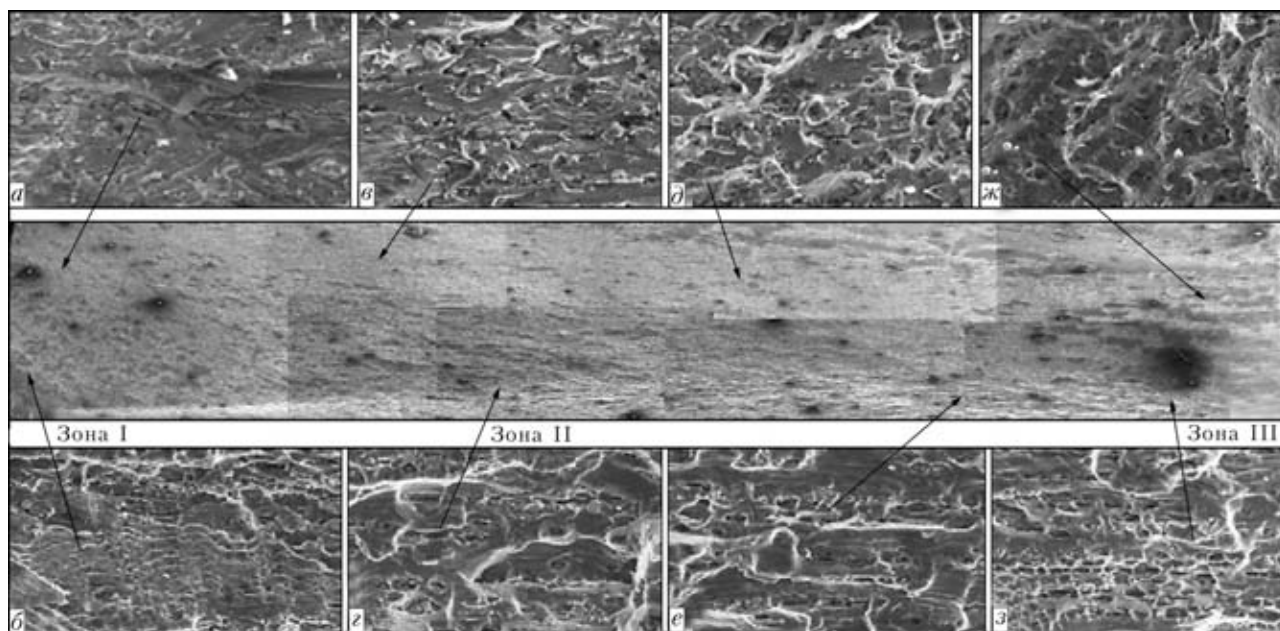


Рис. 1. Панорама излома ($\times 13$) и фрактограммы его отдельных фрагментов ($\times 500$) сварных соединений сплава АМг6, полученных плавящимся электродом и испытанных при циклической нагрузке с коэффициентом асимметрии $R_\sigma = 0$: а–з — см. в тексте

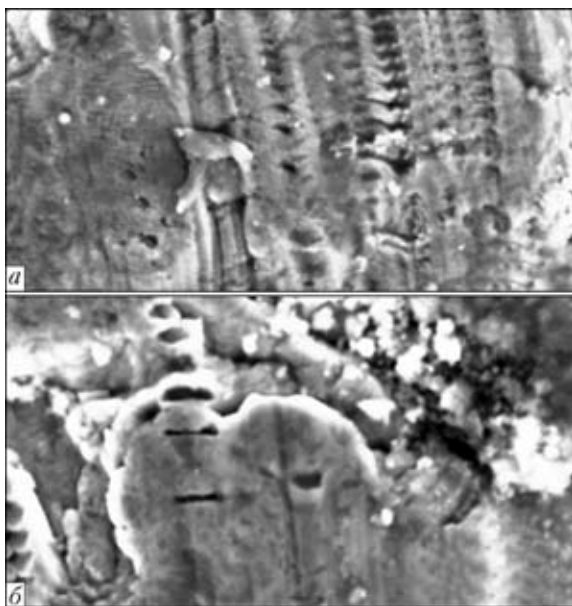


Рис. 2. Фрактограммы изломов ($\times 1000$) с характерным расположением специфических отметин «траковых следов»: а, б — см. в тексте

существующие в сплаве или генерированные вершиной усталостной трещины. Следов действия вязкого микромеханизма, реализация которого происходит в результате локализации пластической деформации в условиях знакопеременной нагрузки, недостаточно. Значительное количество деформированных кристаллитов шва на поверхности излома исследуемого образца в состоянии после сварки свидетельствует о том, что в ходе распространения трещины развитие полос скольжения происходит интенсивно.

В период стабильного роста магистральная трещина развивается межкристаллитно вдоль границ зерен, которые декорированы интерметаллидными фазами. Их коагуляция во время сварочного нагрева, а также увеличение ширины межзеренного пространства, объема эвтектических фаз, образовавшихся в результате сегрегации легирующих элементов и примесей, вызывают ослабление металла в приграничных областях и интенсивное зарождение микротрещин по механизму скола. Морфологические элементы рельефа, которые при этом формируются, можно сравнить по величине с матрицей (твердым раствором), областями расположения интерметаллидных фаз, элементами фасеточной структуры. По мере ее распространения ширина продольных микротрещин не изменяется, оставаясь равной 1,5...2 мкм. Увеличение длины происходит путем объединения отдельных микротрещин, а траектория при этом приобретает зигзагообразную форму (см. рис. 1, в, г).

За пределами усталостной трещины расположена зона действия механизма смешанного разрушения, в которой, помимо плоских участков рельефа, наблюдаются признаки осуществления пластической деформации при распространении

магистральной трещины по механизму отрыва (рис. 2). Переход в зону смешанного разрушения происходит в результате возрастания количества деформированных зерен. Ветвистость микротрещин, наблюдающаяся на изломе, указывает на то, что расположение фазовых частиц крупных размеров на границе между кристаллитами препятствует поступательному продвижению магистральной трещины. Это приводит к ее торможению, повышению дополнительной локальной деформации в микрообъеме металла и, как следствие, изменению направления ее распространения. Все эти процессы сопровождаются не только изменением структуры рельефа вблизи трещины, но и развитием усталостных бороздок, похожих на полосы фасеточных структур (см. рис. 1, д–е), появление которых связано с повышением плотности дислокаций [8]. Имеются также участки рельефа, где трещина развивается через кристаллит, а именно, транскристаллитно. Рельефная выпуклость усталостных бороздок свидетельствует о направлении и характере распространения магистральной трещины.

На поверхности данного участка излома можно также увидеть специфические отметины, которые носят название «траковых следов» (рис. 2, а). Их относят к признакам усталостных изломов, образующихся при разрушении алюминия и его сплавов [8]. Отметины характеризуются исключительно четким расположением рисунка и только на гладких участках рельефа. Между собой они образуют дорожки, совпадающие с направлением распространения магистральной трещины. Количество отметин на разных участках излома не совпадает, а расстояние между ними уменьшается по мере увеличения длины рядов (рис. 2, б). В литературе отсутствует четкое обоснование причин появления «траковых следов» на рельефе усталостных изломов. Их связывают с проявлением вторичного эффекта влияния включений, фазовых выделений или твердых нерастворимых структурных составляющих, которые выступают над поверхностью трещины во время ее перемещения, а также результатом взаимодействия локальных касательных и нормальных переменных напряжений [9–11].

К особенностям структуры рельефа зоны долома излома следует отнести наличие значительного количества ямок параболической формы, возникающих при сдвиговом механизме разрушения (см. рис. 1, е–з). Они образуются из микропор в результате развития пластической деформации и пластической декогезии в условиях циклической нагрузки [9]. Такие процессы обычно протекают вдоль границ между включениями и матрицей в случаях, когда силы сцепления между ними недостаточны, и вызывают увеличение локальной концентрации напряжения, приводящей к зарождению микротрещин. На это указывает наличие

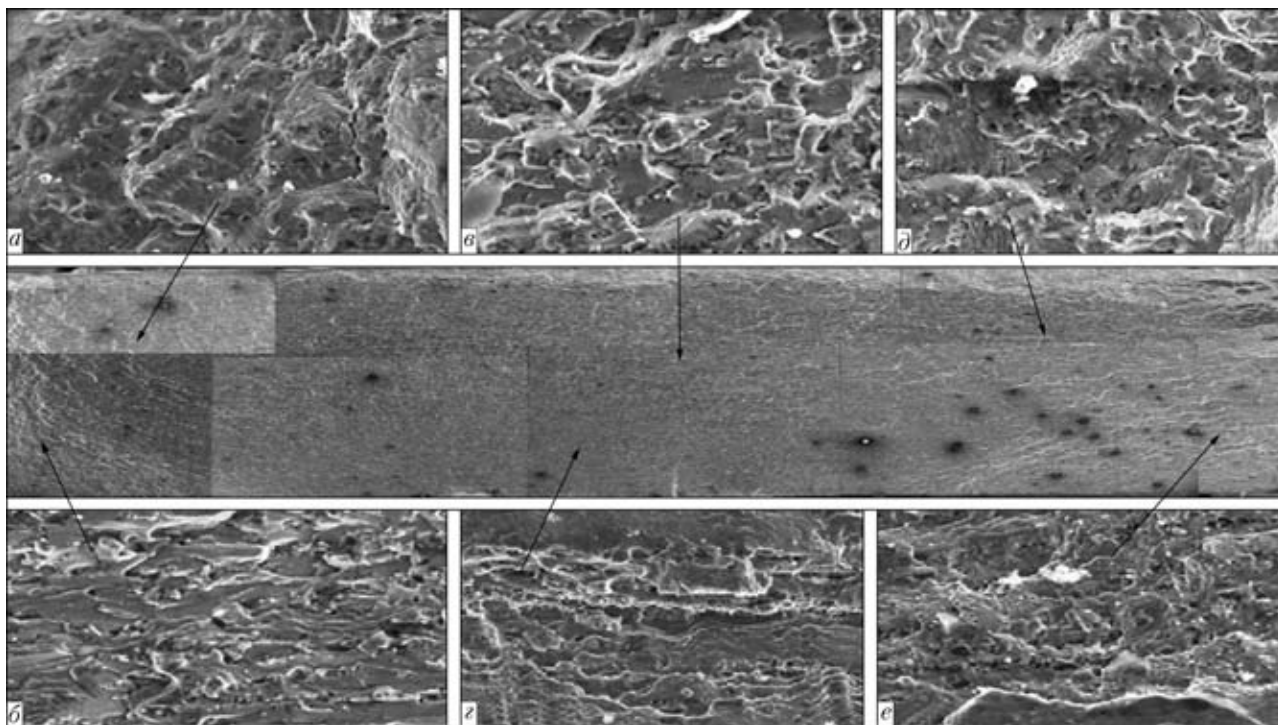


Рис. 3. Панорама излома ($\times 13$) и фрактограммы его отдельных фрагментов ($\times 500$) сварных образцов сплава АМг6, полученных плавящимся электродом и испытанных при циклической нагрузке с коэффициентом асимметрии $R_\sigma = 0,4$: а–е — см. в тексте

фрагментов разрушенных включений или выделений фаз на дне ямок. Вдоль границ зерен наблюдаются микротрещины. Изменение ориентации ямок и увеличение количества микротрещин на рельефе участка долома по сравнению с общей панорамой излома исследуемого образца свидетельствуют об отличии локальных условий пластического деформирования на этапе завершения процесса разрушения.

Обобщив полученную информацию, можно отметить следующие характерные особенности морфологии структуры на изломе сварного соединения сплава АМг6, а именно: очаг зарождения усталостной трещины находится на поверхности вблизи зоны сплавления шва с основным металлом; инициатором образования усталостной трещины является оксидная пленка; наличие трех рельефных зон на изломе свидетельствует о смешанном и многоочаговом характере разрушения образцов в условиях циклической нагрузки.

Изменение коэффициента асимметрии при циклических испытаниях от $R_\sigma = 0$ до более сложных условий ($R_\sigma = -1$) вызывает усиление локализации пластической деформации и, как следствие, изменение характера рельефа изломов исследуемых образцов сварных соединений (рис. 3). Усталостная трещина зарождается за пределами шва в металле ЗТВ и распространяется в направлении основного металла, образуя магистральную трещину. Ее развитие происходит в результате слияния отдельных микротрещин, возникающих вдоль площадок скольжения или на пересечении плоскостей скольжения двух систем. Ма-

гистральная трещина развивается интеркристаллитно вдоль границ зерен, вызывая хрупкое межкристаллитное разрушение со следами небольших пластических деформаций. Такие изломы образуются в условиях снижения сил когезии между структурными составляющими, расположенными на границах между зернами. Их уровень в этом случае должен быть меньше, чем когезия в плоскости скола или плоскости скольжения [1–4]. Наибольшая степень снижения сцепления между зернами отмечается на образцах при циклическом испытании с коэффициентом асимметрии $R_\sigma = -1$, о чем свидетельствует уменьшение в три раза количества циклов до разрушения (490120 циклов). Отмеченное явление может быть следствием хрупкой природы интерметаллидных фаз или наличием остаточного напряжения в результате сегрегации легирующих элементов и примесей в условиях сварки.

Повышение частоты нагружения при $R_\sigma = 0,4$ сопровождается увеличением степени разориентации бороздок относительно направления движения макротрещины и появлением мелких вторичных бороздок, следов скольжения, ступенек (см. рис. 3, а–в). При этом отмечается уменьшение шага усталостных бороздок и увеличение количества вторичных микротрещин, которые зарождаются на усталостных бороздках и распространяются перпендикулярно поверхности разрушения вглубь материала. Неодновременность реализации движения отдельных микротрещин при испытании вызывает объединение ступенек и приводит к изменению механизма распространения

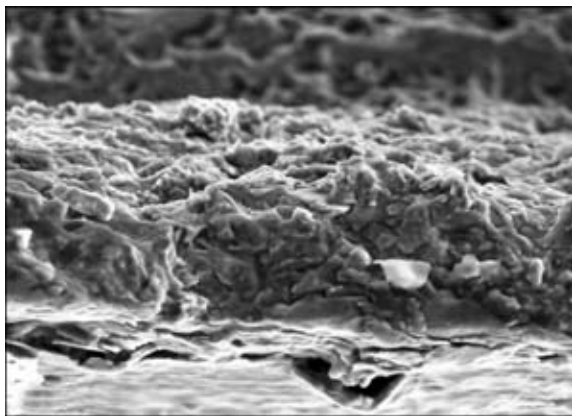


Рис. 4. Фрагмент поверхности ($\times 500$) разрушения сварных соединений сплава АМг6 вблизи поверхности зоны перехода шва к основному металлу после проведения испытания на усталость при $R_{\sigma} = -1$

усталостной трещины от хрупкого к смешанному типу (см. рис. 3, $z-e$). При этом на изломе возрастает количество пластических мостиков, а при формировании гребешков фасеток появляются фрагменты пластических сдвигов. Все вместе усиливает разнообразие морфологии рельефа по ширине и протяженности усталостных бороздок и полос фасеточных структур. Физической основой подобного процесса является увеличение уровня локальной пластической деформации металла вследствие структурной перестройки, например, пересечения трещины скола тела зерна или разрушения (расслоения) блоков одного кристаллографического порядка [1–3].

Зона долома в таком образце содержит на рельефе большое количество ямок параболической

формы, образовавшихся в результате процессов отрыва и сдвига (см. рис. 3). При этом повышение уровня локальной пластической деформации в микрообъеме изменяет форму и направление ориентации ямок, увеличивает количество микротрещин по сравнению с общей картиной рельефа зоны долома. Местом появления первичных микротрещин выступают границы матрицы с нерастворимыми интерметаллидными включениями или фазовыми выделениями, что указывает на снижение между ними сил декогезии в условиях сварочного нагрева вследствие сегрегации элементов легирования и примесей. Результаты исследования хорошо согласуются с данными работ [1–5]. В них отмечается, что высокая частота нагружения при циклических испытаниях с коэффициентом асимметрии $R_{\sigma} = 0,4$ вызывает быстрое изменение напряженного состояния в металле и приводит как к образованию на изломах бороздчатого рельефа, так и разрушению сколом по структурным составляющим и межфазным границам, что способствует появлению вторичных усталостных трещин.

Высокочастотная проковка поверхности в узкой зоне сплавления шва с основным металлом сплава АМг6 обеспечивает формирование плавного геометрического перехода шва в основной металл и снижение средних значений коэффициента концентрации напряжений. Положительный эффект проковки проявляется также в создании благоприятной структуры, обеспечивающей увеличение сопротивления микропластической деформации поверхностного слоя и образования

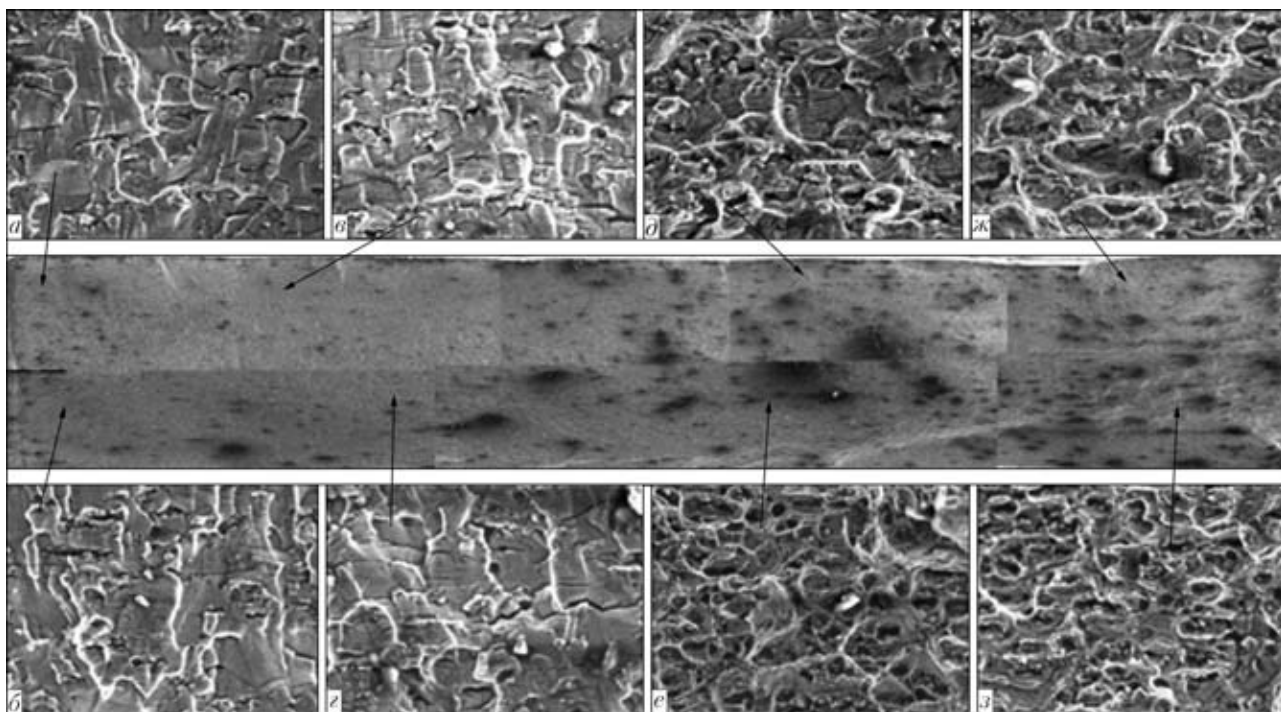


Рис. 5. Панорама излома ($\times 13$) и фактограммы его отдельных фрагментов ($\times 500$) сварных соединений сплава АМг6, полученных плавящимся электродом, обработанных механической проковкой и испытанных при циклической нагрузке с коэффициентом асимметрии $R_{\sigma} = -1$: $a-z$ — см. в тексте

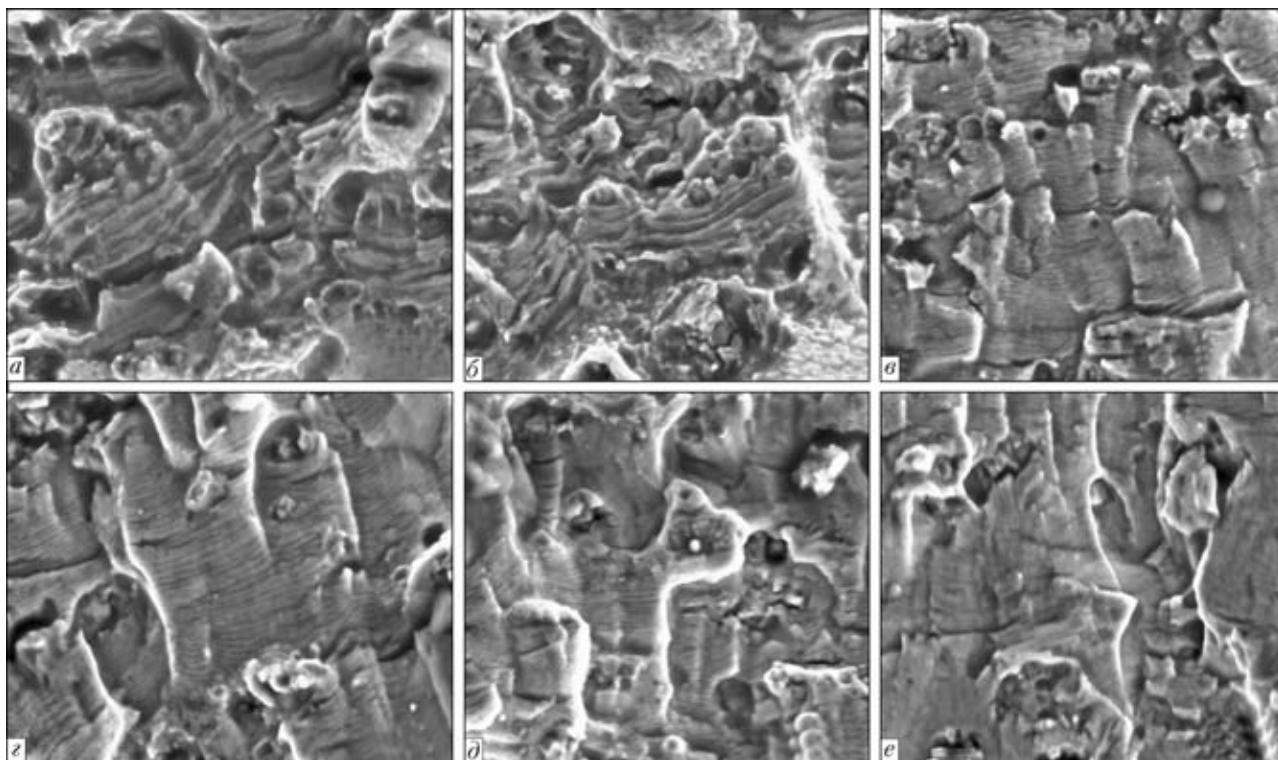


Рис. 6. Примеры участков ($\times 1000$) резкого перехода рельефа от вязкого характера образования бороздок до хрупкого их расслоения: а–е — см. в тексте

высоких остаточных сжимающих напряжений [12]. Как показали фрактографические исследования поверхности разрушения образцов сварных соединений после циклических испытаний в малоцикловой области с коэффициентом асимметрии $R_\sigma = 0,4$, эффект упрочнения металла от выполнения проковки незначительный (см. рис. 4). Количество циклов до разрушения при этом составляет 17000. В приповерхностном слое зоны сплавления на изломе вдоль границ зерен располагаются участки квазискола, содержащие на фоне мелких и небольших ямок отдельные микротрещины. Кроме того, в приповерхностных слоях возможно формирование резкого перехода от вязких бороздок к хрупкому расслоению (см. рис. 5). При увеличении 1000 деталей рельефа видно, что линия, которая отделяет бороздки от других структурных составляющих, является трещиной (рис. 6, в–д). Она образуется в результате одновременного расслоения металла по нескольким кристаллографическим плоскостям, что может быть обусловлено уменьшением их прочности под действием деформации, вызывающей сжимающие напряжения. Следует отметить, что расслоение не является очагом зарождения усталостной трещины. Следовательно, упрочненный проковкой слой вовлечен в процесс усталостного разрушения, а его очаг смещен под деформированным слоем. Развитие трещины происходит на участке излома, характеризующегося пониженным сопротивлением разрушению.

Выводы

1. Установлен интеркристаллитный механизм развития усталостной трещины при циклических испытаниях с асимметрией цикла нагружения $R_\sigma = 0$ сварных соединений сплава АМг6, полученных плавящимся электродом. Наличие на поверхности излома трех рельефных зон свидетельствует о том, что разрушение сварных соединений на микроуровне носит смешанный и многоочаговый характер. Локализация пластической деформации в сварном соединении и, как следствие, зарождение трещины происходят в результате изменения размеров, формы и характера расположения выделений фаз, а также коагуляции включений интерметаллидных фаз, протекающих при сварочном нагреве, что снижает общее сопротивление металла распространению усталостной трещины.

2. Изменение коэффициента асимметрии при циклических испытаниях от $R_\sigma = 0$ до более сложных условий ($R_\sigma = -1$) вызывает усиление локализации пластической деформации, сокращение шага усталостных бороздок и увеличение количества вторичных микротрещин, которые берут начало на усталостных бороздках и распространяются перпендикулярно поверхности разрушения вглубь металла. На стадии распространения трещины усталостные бороздки характеризуются периодичностью шага с малым изменением ориентировки при переходе от кристаллита к кристаллиту.



3. Высокочастотная проковка в узкой зоне поверхности перехода шва сплава АМГб к основному металлу с использованием стальных бойков обеспечивает формирование более плавной геометрии переходной зоны от шва к основному металлу и снижение средних значений коэффициента концентрации напряжений. На рельефе упрочненного слоя наблюдаются участки квазисколла, содержащие на фоне мелких и небольших ямок отдельные микротрещины вдоль границ зерен. В приповерхностных слоях зоны сплавления возможно образование большого количества плоских участков и микротрещин, а также формирование резкого перехода от вязких бороздок к хрупкому расслоению. При этом усталостная трещина развивается под прокованным слоем металла.

1. *Владимиров В. И.* Физическая природа разрушения металлов. — М.: Металлургия, 1984. — 280 с.
2. *Ботвина Л. Р.* Кинетика разрушения конструкционных материалов. — М.: Наука, 1989. — 230 с.
3. *Иванова В. С., Ботвина Л. Р., Кудряшов В. Г.* Прочность и пластичность. Разрушение под действием кратковременных нагрузок. Вязкое и хрупкое разрушение. — М.:

Results of examination of structure of the fracture surface on samples of the metal-electrode welded joints of alloy AMG6 after cyclic tests with loading cycle asymmetry $R_\sigma = 0.4$ and $R_\sigma = -1$ are given. Peculiarities of morphology in different fracture regions have been revealed, and mechanism of propagation of the fatigue crack has been established. It is noted that fracture of the welded joints at a microlevel is of a mixed and multicentric character. High-frequency peening in a narrow AMG6 alloy weld to base metal transition zone by using steel strikers provides formation of a smoother geometry of the weld to base metal transition zone and decrease in values of the stress concentration factor.

ВИНИТИ, 1971. — С. 54–102. — (Итоги науки и техники. Сер. Металловедение и термическая обработка).

4. *Коцаньда С.* Усталостное разрушение металлов / Пер. с пол. — М.: Металлургия, 1976. — 455 с.
5. *Яковлева Т. Ю.* Локальная пластическая деформация и усталость металлов. — Киев: Наук. думка, 2003. — 236 с.
6. *Херцберг Р. В.* Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1989. — 576 с.
7. *Лобанов Л. М., Кир'ян В. И., Книш В. В.* Підвищення ресурсу зварних металокопункцій високочастотною механічною проковкою // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2006. — №1. — С. 56–61.
8. *Гордеева Т. А., Жегина И. П.* Анализ изломов при оценке надежности материалов. — М.: Машиностроение, 1978. — 199 с.
9. *Фрактография* и вязкость разрушения алюминиевых и титановых сплавов / В. С. Иванова, В. Г. Кудряшов, Б. А. Копелиович, Ю. К. Штовба // Технология легких сплавов. — 1974. — № 3. — С. 65–70.
10. *Фрактография* и атлас фрактограмм: Справочник / Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1982. — 489 с.
11. *Фрактография* — средство диагностики разрушенных деталей / Под ред. М. А. Балтер. — М.: Машиностроение, 1987. — 160 с.
12. *Совершенствование сварных металлических конструкций* / Под ред. М. М. Жербина. — Киев: Наук. думка, 1992. — 273 с.

Поступила в редакцию 01.10.2010

НОВАЯ КНИГА

Неразрушающий контроль в Украине

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики готовит к изданию справочник «Неразрушающий контроль в Украине». В нем будет представлена информация о предприятиях и организациях Украины, занимающихся исследованиями и разработками в области неразрушающего контроля, изготовлением и продажей материалов, приборов и оборудования, оказанием услуг в области технического диагностирования. Это издание будет способствовать обмену информацией, ускорению решения многих задач по неразрушающему контролю и технической диагностике.

Книга будет включать следующие разделы:

- Неразрушающий контроль в институтах НАН Украины
- Неразрушающий контроль в университетах
- Изготовители и поставщики средств неразрушающего контроля
- Производственные лаборатории и предприятия
- Обучение и сертификация персонала
- Испытательные лаборатории и сертификация продукции
- Стандартизация и метрология в неразрушающем контроле
- Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики
- Итоги профессиональных конкурсов УО НКД
- Конференции и выставки
- Книги, журналы, интернет

Объем издания — ориентировочно до 300 с., формат 70×100/16. Тираж 1000 экз.

Предлагаем Вам разместить в книге информационные и рекламные материалы о предприятиях, разработках, услугах и пр. Вы также можете заказать необходимое количество экземпляров.

Тел.: (044) 287-26-66; тел./факс: (044) 289-21-66; e-mail: ndt@paton.kiev.ua



УДК. 621.791.18 УДК: 621.791(075.8)

ОСОБЕННОСТИ МЕЖЗЕРЕННОГО МАССОПЕРЕНОСА ГАЛЛИЯ В АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ ПРИ ТВЕРДОФАЗНОЙ АКТИВАЦИИ СОЕДИНЯЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ю. А. ХОХЛОВА, В. Е. ФЕДОРЧУК, М. А. ХОХЛОВ, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности формирования разнородного диффузионного соединения алюминий–сталь при твердофазной активации соединяемых поверхностей галлием. Показано влияние продуктов взаимодействия галлия с алюминием на локальное изменение механических свойств в зоне неразъемного соединения.

Ключевые слова: диффузионная сварка, алюминий, алюминиевые сплавы, реактивное диффузионное соединение, межзеренная диффузия, галлий, низкотемпературная активация диффузии, индентирование, индентор Берковича

При создании неразъемных сталеалюминиевых блоков радиотехнического назначения иногда требуется снизить температуру технологических процессов до 140 °С. Одним из вариантов соединения стали с алюминием в твердой фазе является пайка с приложением давления [1]. Для предотвращения образования хрупких интерметаллидных соединений на поверхности раздела соединяемых материалов используют соответствующие промежуточные вставки из третьего металла, которые являются своеобразным диффузионным барьером между свариваемыми материалами [2]. Активация адгезионных процессов соединяемых поверхностей осуществляется нанесением слоя расплавленного галлия с плотным прижатием и последующим нагревом всего узла. Такая технология соединения должна обеспечивать формирование прочного соединения без расплавления деталей и химическую очистку соединяемых поверхностей от оксидной пленки.

Высокая физико-химическая активность галлия делает данную технологическую задачу достаточно сложным процессом, зависящим от ряда как положительных, так и отрицательных факторов. Галлий хорошо смачивает большинство металлов, поэтому их легко «склеивать». Температурный интервал жидкого состояния галлия составляет от 30...2204 °С [3]. Металлические «клеи» на основе галлия придают шву тепло- и электропроводность, а также высокую жесткость. Вследствие соединения деталей в узлы без оплавления основного металла резко снижается степень его коробления и окисления. Прочность при равномерном отрыве соединений, полученных с помощью галлиевых «клеев», составляет 26...30 МПа при температуре 20 °С. С повышением температуры диф-

фузия галлия резко возрастает, а с ее понижением «клей» твердеет и при схватывании способствует соединению деталей, даже если они не смачиваются клеем [4].

На диаграмме равновесного состояния (рис. 1) [5] видно, что галлий и алюминий образуют простую эвтектическую систему в точке, где содержание галлия равно 99,2 мас. % при температуре 29,7741 °С. Растворимость галлия в твердом алюминии при эвтектической температуре составляет примерно 15...20 %, при этом растворимость алюминия в галлии незначительная [6]. Исключительной особенностью галлия является способность его расплавов к переохлаждению: при снижении температуры на 10...30° ниже точки плавления он остается в жидком состоянии. Причина такой аномалии состоит в особенностях строения молекул и связей между ними в разных агрегатных состояниях.

Соединение материалов с помощью расплавленного галлия является трехстадийным процессом: образование физического контакта (смачивание соединяемых поверхностей расплавленным галлием); активация контактных поверхностей (удаление оксидной пленки); объемное развитие

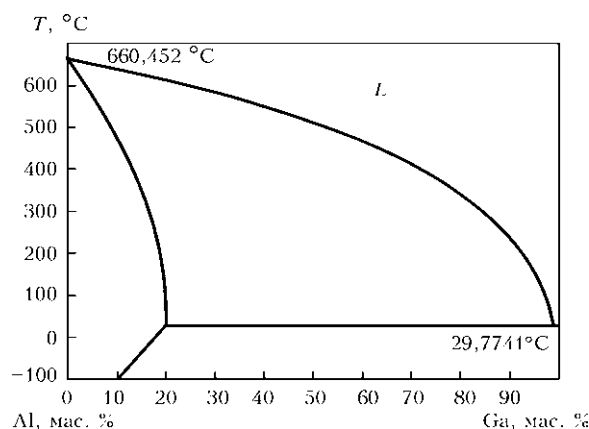


Рис.1. Диаграмма равновесного состояния алюминий–галлий

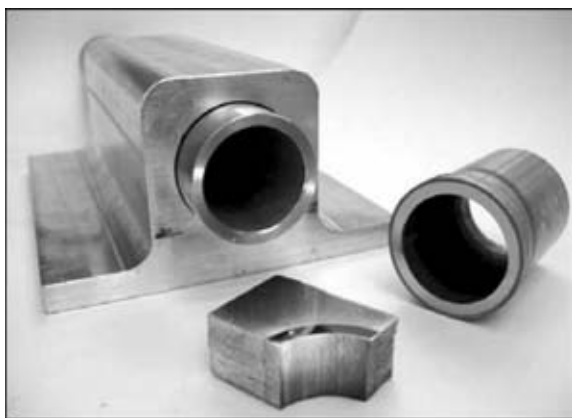


Рис. 2. Внешний вид деталей, подвергнутых диффузионному соединению

взаимодействия между материалами (прижатие их поверхностей и начало диффузии).

Механизм диффузии галлия в алюминий в основном связан с соотношением атомных радиусов диффузанта и компонентов растворителя: приближение размера атома галлия к размеру атома алюминия способствует диффузии галлия по вакансиям алюминия [7]. Скорость продвижения атомов галлия по границам зерен алюминия при температуре 27 °С примерно такая же, как и диффузии галлия в жидком алюминии ($D = 1 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$). Энергия поверхности раздела невелика и составляет около 0,06...0,30 Н/м. В связи с этим в присутствии диффузанта в жидком состоянии при высокой температуре создаются условия для зернограничного фазового перехода смачивания.

На начальном этапе, когда степень диффузии незначительная, происходит формирование гомогенного твердого раствора вследствие диффузии по границам зерен. Далее формируется интерметаллидное соединение, имеющее несколько сниженные механические свойства [8]. Склонность к значительному понижению прочности обусловлена наличием эффекта Ребиндера [9, 10].

Блок изделия (рис. 2) конструктивно представляет собой соединение труб из нержавеющей стали 10X18H9Т диаметром 30 мм с фланцем из алюминиевого сплава 6063 системы легирования Al–Mg–Si. Для обеспечения разнородного соеди-

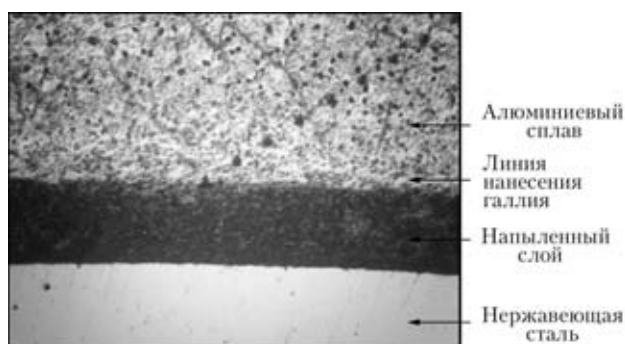


Рис. 3. Микроструктура ($\times 300$) зоны соединения с отпечатками индентора Берковича

нения алюминий–сталь на внешнюю поверхность трубы газодинамическим способом был нанесен слой технического алюминия АД1 (99,3 мас. % Al) толщиной 300 мкм. Активацию адгезионных процессов соединяемых поверхностей осуществляли путем нанесения слоя расплавленного галлия шириной 10...20 мкм с плотным прижатием и последующим нагревом всего узла до 140 °С в течение 2 ч.

Исследование глубины межзеренного массопереноса галлия в процессе его диффузии в алюминий проводили через 1 ч и спустя 60 дней. Образцы хранили при температуре 30 °С.

Фрактографические исследования микроструктуры, определение количественного элементного состава и построение карт распределения элементов выполняли методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и микрорентгеноспектрального анализа на базе аналитического комплекса, состоящего из сканирующего электронного микроскопа JSM-35CF (фирмы «JEOL», Япония) и рентгеновского спектрометра с дисперсией по энергии рентгеновских квантов модели INCA Energy-350 (фирмы «Oxford Instruments», Великобритания).

Для микромеханических испытаний применяли наноиндентор «Микрон-гамма», предназначенный для определения механических свойств методами непрерывного вдавливания трехгранного алмазного индентора Берковича, сканирования индентором, а также металлографии и топографии [11].

Исследование структуры образцов показало, что в результате диффузии в напыленном слое и на стороне алюминиевого сплава сформировались обширные области с измененной (укрупненной) структурой (рис. 3). Диффузия галлия в сталь была незначительной. Карта распределения элементов (рис. 4) свидетельствуют о массопереносе галлия в сторону алюминиевого сплава на глубину до 3 мм. Диффузия галлия в алюминиевый сплав происходит по межзеренной сетке с образованием четко выделенных граничных цепочек. При нагреве жидкий галлий полностью смачивал границы зерен, вдоль которых он сегрегировал, что дало ему возможность быстро продвигаться по межзеренному пространству на обширные дистанции в объеме материала. Качественным показателем степени протекания зернограничной диффузии в каждой конкретной границе является ширина приграничных полос, где содержание галлия достигает 85 мас. % (рис. 5, а). Галлий формировал «островки» в наиболее термодинамически выгодных местах — в углах зерен образовались скопления эвтектической массы галлия высокой (до 97 мас. %) концентрации (Spectrum 2 и 4, рис. 5, б).

На рис. 6 видны различия в отпечатках индентора при постоянной минимальной нагрузке

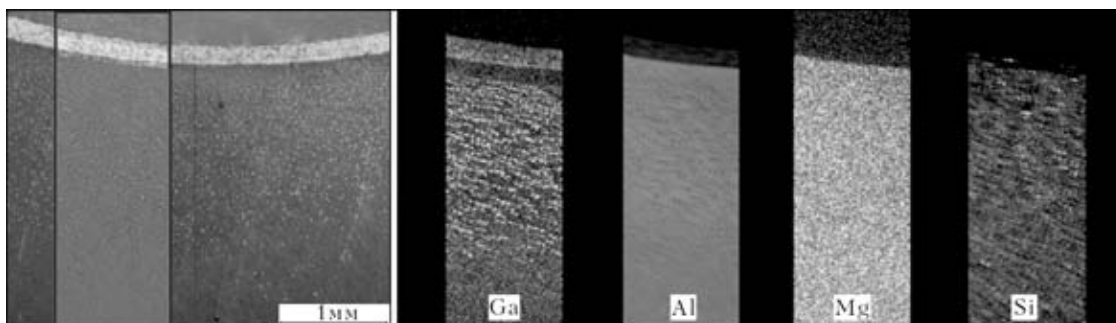


Рис. 4. Карта распределения элементов в диффузионном соединении, полученная СЭМ

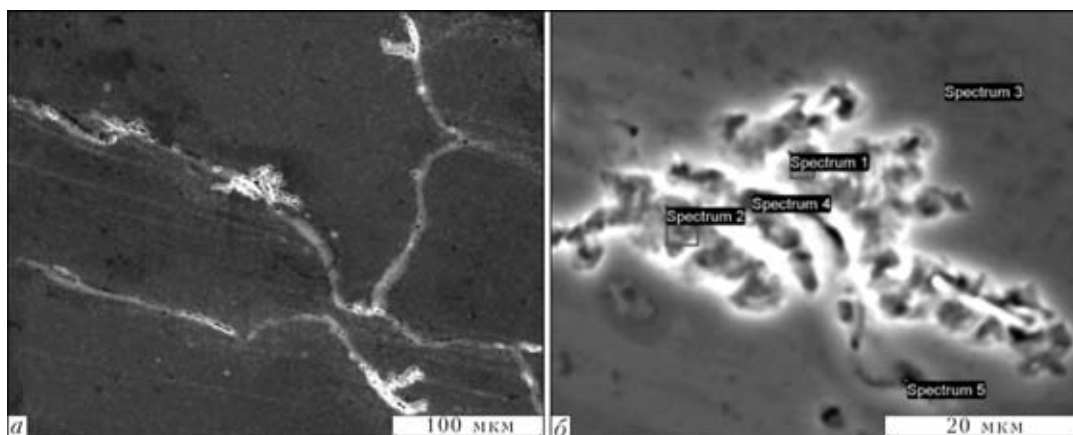


Рис. 5. Картина межзеренных скоплений эвтектической массы галлия в алюминиевом сплаве, полученная СЭМ: а, б — см. в тексте

при индентировании алюминиевого сплава на начальном этапе диффузии, которое было произведено при сверхмалом (0,010...0,001 Н) нагружении индентора по причине размягчения материала и невозможностью индентирования при стандартном для алюминия нагружении (0,2 Н) [12]. Крупные отпечатки с расслоением материала характерны для межзеренной граничной области, заполненной эвтектической массой галлия.

Скачкообразное изменение микротвердости и модуля упругости (рис. 7) характеризует наличие метастабильных фаз галлия с магнием и цинком [13–17]. Сравнение базовых механических свойств соединяемых материалов до воздействия галлия и свойств материалов в соединении после диффузии показывает наличие общего разупрочнения на уровне 10 %. При повторном нагреве образцов изменение механических свойств не зафиксировано, что свидетельствует о формировании твердого раствора Al_5Ga_2 .

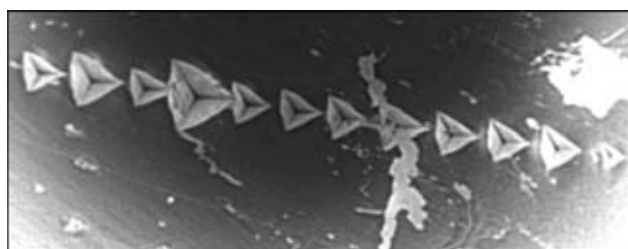


Рис. 6. Отпечатки ($\times 600$) индентора Берковича в структурных зонах алюминиевого сплава

Из изложенного выше следует, что в зоне формирования неразъемного соединения происходят физико-химические процессы взаимодействия между основным металлом (алюминием), компонентами алюминиевого сплава (магнием и цинком) и галлием. Галлий как активатор соединяемых поверхностей обеспечил устранение оксидного слоя на поверхности (раскисление). Его диффузия проходила не только межзеренно с интенсивным ростом размеров зерен, но и объемно, со сдвигом старых границ зерен алюминия и формированием новых.

Особенностью массопереноса галлия в алюминии является формирование многостадийного превращения метастабильной фазы с галлием. В результате в зазоре и прилегающем объеме соединяемых деталей образовался твердый раствор Al_5Ga_2 .

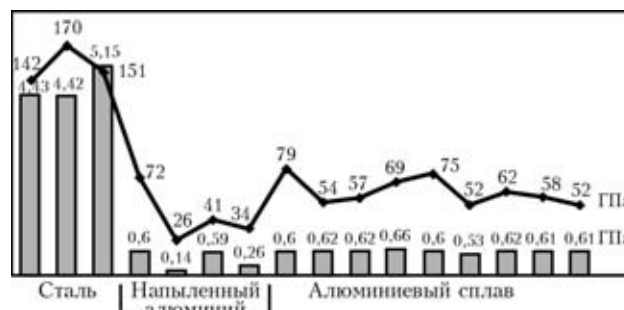


Рис. 7. Диаграммы распределения микротвердости по Мейеру (столбики) и модуля упругости Юнга (кривая)



1. Габ И. И. Пайка в твердой фазе с приложением давления // Неорганическое материаловедение: Энциклопед. изд. / Под ред. Г. Г. Гнесина, В. В. Скорохода. — Киев: Наук. думка, 2008. — Т. 2, кн. 2. — С. 15–23.
2. Рябов В. Р., Ищенко А. Я., Муравейник А. Н. Современные способы сварки сталеалюминиевых труб // Автомат. сварка. — 1996. — № 2. — С. 32–42.
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ga>.
4. Тихомирова О. И., Пикунов М. В. Влияние формы и размера частиц второго компонента на свойства галлиевых припоев // Порошк. металлургия. — 1969. — № 12 (84). — С. 51–56.
5. http://www.crct.polymtl.ca/FACT/phase_diagram.php?file=Al-Ga.jpg&dir=SGTE.
6. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1979. — С. 73–75.
7. Холяк В. В. Формування фазового складу, структури та властивостей квазікристалічних сплавів системи Al—Cu—Fe при реакційній дифузії галію: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — К., 2006. — 30 с.
8. Ливанов В. А. Действие галлия на алюминий и его сплавы // Технология легких сплавов. — 1982. — № 5. — С. 30–32.
9. http://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Ребиндера.
10. Лихтман В. И., Щукин Е. Д., Ребиндер П. А. Физико-химическая механика металлов // Адсорбционные явления в процессах деформации и разрушения металлов. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — С. 141–183.
11. Ищенко А. Я., Хохлова Ю. А. Оценка механических свойств микроструктурных объектов сварных соединений // Автомат. сварка. — 2009. — № 1. — С. 44–47.
12. Хохлова Ю. А., Хохлов М. А. Наномасштабный эффект в диффузионных соединениях с галлием // Сб. тез. междунар. конф. «Проблемы сварки, родственные процессы и технологии», Николаев, 14–17 окт. 2009 г. — Николаев: НУК, 2009. — С. 111.
13. Лариков Л. Н., Франчук В. И., Максименко Е. А. Субструктурное упрочнение в алюминии и его сплавах при взаимодействии с галлием // Металлофиз. — 1991. — 13, № 10. — С. 3–10.
14. Лариков Л. Н., Максименко Е. А., Франчук В. И. Структурные изменения в алюминии и его сплавах при охрупчивании жидким галлием // Там же. — 1990. — 12, № 1. — С. 115.
15. Франчук В. И., Лариков Л. Н. Изменение ориентации кристаллитов в приповерхностных слоях поликристаллического алюминия при диффузионном взаимодействии с галлием // Изв. РАН. Металлы. — 1992. — № 6. — С. 105–110.
16. Исследование охрупчивания алюминия и сплава АМг6 при взаимодействии с жидким галлием методом акустической эмиссии / Л. Н. Лариков, Г. И. Прокопенко, В. И. Франчук, И. А. Якубцов // Физико-хим. механика материалов. — 1990. — № 3. — С. 5–9.
17. Индуцированная диффузией миграция границ зерен в системе Al—Ga / Л. Н. Лариков, В. И. Франчук, В. В. Тихонович, Е. А. Максименко // Металлофиз. — 1991. — 13, № 8. — С. 56–62.

Peculiarities of formation of a dissimilar aluminium-steel diffusion joint in solid-state activation of the mating surfaces by gallium are considered. The impact on a local change in mechanical properties within the zone of the permanent joint by the gallium-aluminium interaction products is shown.

Поступила в редакцию 14.04.2010,
в окончательном варианте 14.01.2011

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Компания Алусил-МВуТ (Москва), являющаяся организатором таких крупных международных форумов, как «Алюминий в упаковке», «Алюминий в строительстве», «Соединение алюминиевых конструкций», «Алюминий-21/Рециклинг», «Алюминий-21/Покрывания» и др., объявила

Календарь конференций на 2011 г.

- Вторая международная конференция и выставка «Алюминий-21/Отделка и покрытия», 31 мая–2 июня, г. Санкт-Петербург, Россия.
- Первая международная конференция и выставка «Алюминий-21/Плоский прокат», 11–13 октября, г. Санкт-Петербург, Россия.

Календарь конференций на 2012 г.

- Третья международная конференция и выставка «Магний-Новые горизонты», 27–29 февраля, г. Тель-Авив, Израиль.
- Первая международная конференция и выставка «Алюминий-21/Прессование», 5–7 июня, г. Санкт-Петербург, Россия.
- Вторая международная конференция и выставка «Алюминий-21/Сварка и Пайка», 27–29 ноября, г. Москва, Россия.

Подробную информацию смотрите на сайте компании: <http://www.alusil.ru>



УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗДЕФЕКТНЫХ ШВОВ ПРИ СВАРКЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В УЗКИЙ ЗАЗОР МАГНИТОУПРАВЛЯЕМОЙ ДУГОЙ

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

Экспериментально изучены условия получения бездефектных швов сваркой в узкий зазор вольфрамовым электродом магнитоуправляемой дугой на низколегированных титановых сплавах. Установлены закономерности отклонения сварочной дуги при различных параметрах процесса сварки.

Ключевые слова: титановые сплавы, сварка ТИГ, вольфрамовый электрод, магнитное управление дугой, отклонение дуги, металл шва

Сварка в узкий зазор (СУЗ) вольфрамовым электродом является производительным и экономичным способом соединения титана толщиной более 16 мм. Она имеет определенные технологические преимущества по сравнению со сваркой с V- или U-образной разделкой кромок, а именно, сокращение ширины шва и ЗТВ, снижение объема наплавляемого металла, что особенно важно при сварке титана. Кроме того, СУЗ имеет и организационные преимущества — уменьшение трудоемкости при подготовке кромок свариваемых деталей и существенное повышение производительности труда [1]. Поскольку большая часть тепловой энергии свободно горящей дуги расходуется на повторное проплавление металла шва предыдущего прохода, условием успешной реализации процесса является обеспечение надежного расплавления боковых стенок разделки. Для этого необходимо, чтобы тепло, вводимое в сварное соединение, перераспределялось, что достигается путем механического перемещения вольфрамового электрода и сварочной дуги [2] или воздействием внешнего управляющего магнитного поля на дугу [3].

Схема процесса СУЗ титана с внешним управляющим магнитным полем представлена на рис. 1. Сварку выполняли на постоянном токе прямой полярности вольфрамовым электродом, который был опущен в разделку, при этом защитное сопло находилось над свариваемыми кромками. Магнитное поле в зоне дуги создает электромагнит с сердечником, при сварке он выполняет функции магнитопровода и располагается в узкой разделке. При протекании тока через катушку электромагнита в зоне горения дуги возникает магнитное поле, силовые линии которого сориентированы

преимущественно вдоль направления сварки (рис. 1). Такое магнитное поле является поперечным по отношению к дуге. В результате взаимодействия магнитного поля с током дуги возникает сила Лоренца F_a , которая отклоняет дугу в направлении действия этой силы. Поочередное отклонение сварочной дуги к боковым стенкам разделки кромок осуществляется сменой полярности тока, протекающего через катушку электромагнита.

Экспериментальное изучение характера формирования сварного шва при СУЗ позволило установить влияние таких параметров управляющего магнитного поля, как частота реверсирования и значение магнитной индукции на форму шва [4]. Однако качество сварного соединения, полученного СУЗ вольфрамовым электродом с магнитоуправляемой дугой, зависит не только от параметров управляющего магнитного поля, но и

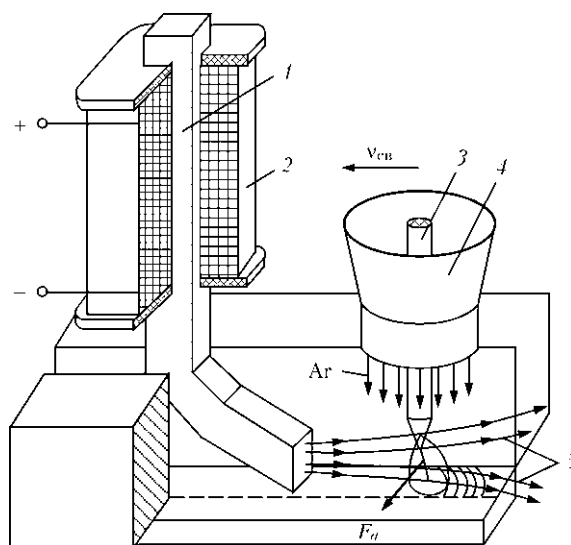


Рис. 1. Схема процесса СУЗ с управляющим магнитным полем: 1 — сердечник электромагнита; 2 — катушка электромагнита; 3 — вольфрамовый электрод; 4 — защитное сопло; 5 — силовые линии управляющего магнитного поля

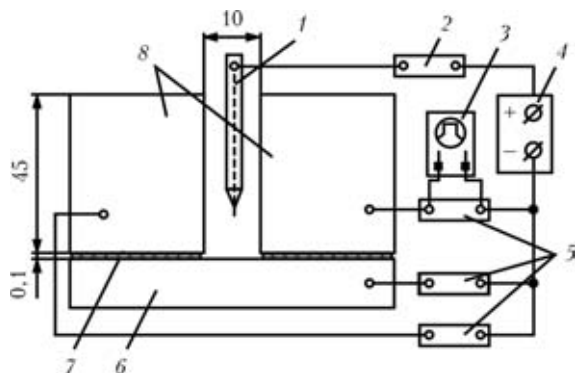


Рис. 2. Схема установки для измерения тока, протекающего через боковые стенки разделки при СУЗ с управляющим магнитным полем: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — шунт для измерения сварочного тока; 3 — осциллограф; 4 — источник питания; 5 — шунты для измерения тока, протекающего через боковые и нижнюю стенки; 6 — нижняя стенка разделки; 7 — изолятор; 8 — боковые стенки

от сварочного тока $I_{\text{св}}$, скорости сварки $v_{\text{св}}$, напряжения на дуге $U_{\text{д}}$, формы рабочей части вольфрамового электрода. Поэтому для обеспечения условий качественного формирования сварного соединения необходимо экспериментальным способом изучить закономерности отклонения сварочной дуги при изменении режима сварки и параметров магнитного поля.

Целью настоящей работы было исследование условий формирования бездефектных швов в случае сварки титана при изменяющихся режиме сварки, параметрах магнитного поля, различной форме рабочей части вольфрамового электрода.

Для оценки характера влияния режима сварки на отклонение дуги и выбора его оптимальных пара-

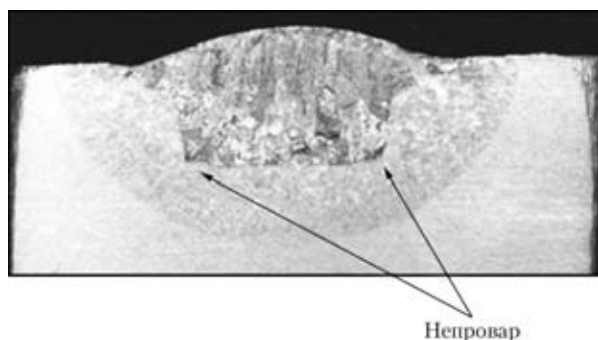


Рис. 3. Макрошлиф наплавки с непроваром в углах разделки (материал — титановый сплав ПТЗВ, присадочная проволока ВТ1-00)

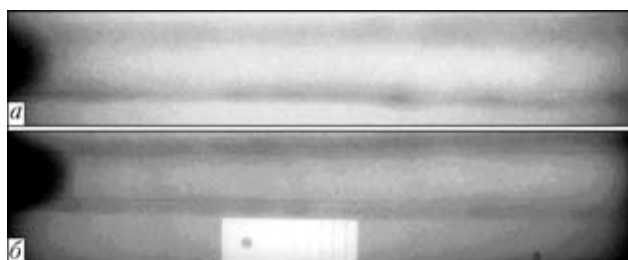


Рис. 4. Рентгеновский снимок швов с непроварами в углах разделки: а, б — см. в тексте

метров применена методика измерения тока, протекающего через боковые стенки разделки по способу «секционированного анода» [5]. Схема установки для измерения тока, протекающего через боковые стенки разделки при СУЗ с управляющим магнитным полем, представлена на рис. 2. Степень отклонения сварочной дуги оценивали по значению тока, протекающего через боковую стенку разделки, с помощью параметра X :

$$X = \frac{I_6}{I_{\text{св}}},$$

где I_6 — ток, протекающий через боковую стенку разделки.

В работе были использованы вольфрамовые электроды, имеющие форму рабочей части в виде конуса или плоскую с шириной 2,5 мм, которые расположены при сварке широкой стороной поперек оси шва.

Для установления необходимого отклонения сварочной дуги проведены исследования макроструктуры сварных швов, выполненных СУЗ, которые позволили установить, что существует высокая вероятность образования непроваров в месте пересечения вертикальной стенки разделки с поверхностью шва предыдущего слоя (рис. 3). Непровары возникают с одной стороны (рис. 4, а) либо по обеим сторонам разделки (рис. 4, б) и могут быть сплошными или прерывистыми.

Анализ температурных условий сварки позволил установить, что трудность обеспечения гарантированного провара в месте пересечения стенки разделки с поверхностью шва предыдущего прохода обусловлена усиленным теплоотводом в процессе сварки на данном участке основного металла. Определено, что для достижения гарантированного расплавления боковой стенки разделки в месте пересечения ее с поверхностью предыдущего шва необходимо сварочную дугу отклонить на такой угол, когда условная середина анодного пятна O совпадает с точкой пересечения боковой и нижней стенок разделки (рис. 5). При

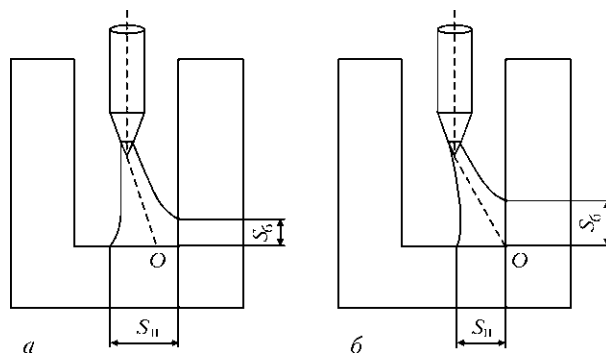


Рис. 5. Схема расположения центра анодного пятна при недостаточном (а) и оптимальном (б) отклонении дуги в разделке: $S_{\text{н}}$, $S_{\text{б}}$ — расстояние от центра до края анодного пятна соответственно на нижней и боковой стенках)

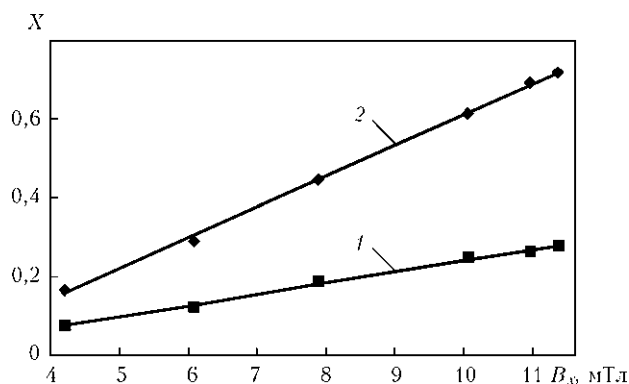


Рис. 6. Зависимость доли тока в боковой стенке разделки от магнитной индукции B_x при применении вольфрамовых электродов с конической (1) и плоскозаточенной (2) рабочей частью ($I_{св} = 400$ А)

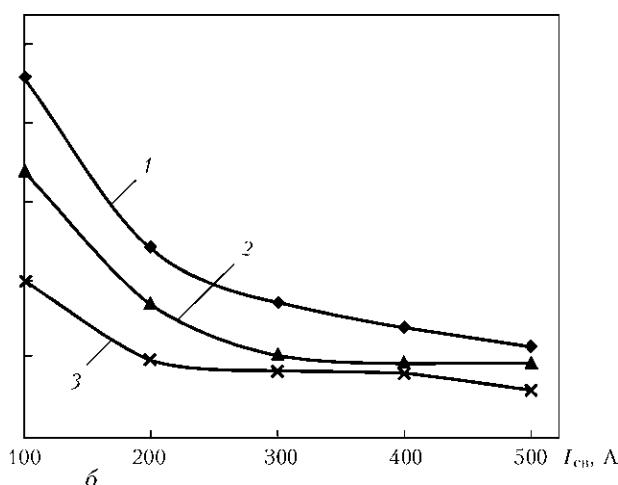
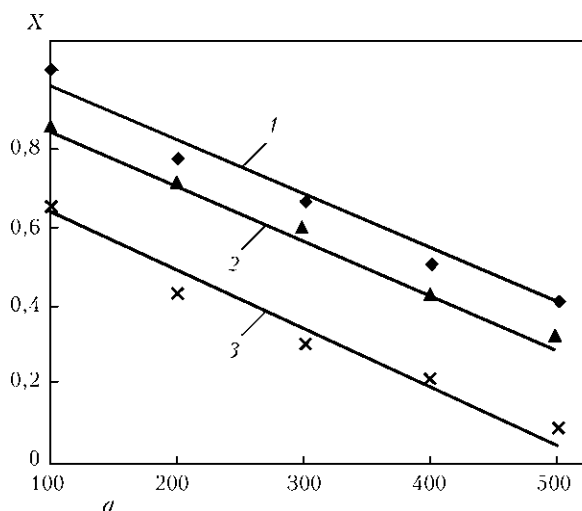


Рис. 7. Зависимость доли тока, протекающего через боковую стенку, от сварочного тока при использовании электрода с плоскозаточенной (а) и конической (б) рабочей частью: 1 — $B_x = 11,4$; 2 — $10,1$; 3 — $6,1$ мТл

СУЗ в случае равенства S_n и S_0 значения тока, протекающего через боковые и нижнюю стенки разделки, равны, т. е. доля тока, протекающего через боковые стенки, будет составлять 50 % общего сварочного тока.

Измерения значений тока, протекающего через боковые стенки разделки, позволили установить, что их значения прямо пропорциональны значе-

ния доли тока в боковых стенках снижается (рис. 7), т. е. смещение анодного пятна уменьшается.

Увеличение длины дугового промежутка приводит к росту значения тока, протекающего через боковые стенки, т. е. отклонение сварочной дуги увеличивается (рис. 8).

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что для формирования бездефектных швов при СУЗ низколегированных титановых сплавов с управляющим магнитным полем необходимо создать в зоне горения дуги магнитное поле с индукцией не менее 8 мТл при сварочном токе 400 А и длине дугового промежутка 4 мм. Результаты исследований макроструктуры сварных швов, выполненных на низколегированных титановых сплавах при этих параметрах режима сварки, свидетельствовали об отсутствии в металле шва непроваров и несплавлений.

Выводы

1. Экспериментально изучены закономерности отклонения сварочной дуги при СУЗ вольфрамовым электродом магнитоуправляемой дугой при изме-

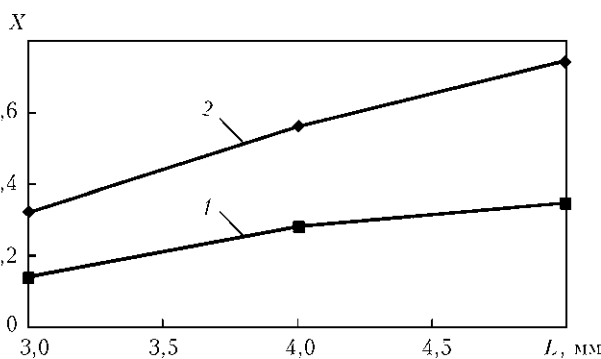


Рис. 8. Зависимость доли тока в боковой стенке разделки от длины дугового промежутка L при использовании электрода с конической (1) и плоскозаточенной (2) рабочей частью при $B_x = 11,5$ мТл; $I_{св} = 400$ А



нении режима сварки и параметров магнитного поля. Оптимизированы условия выполнения швов без дефектов.

2. Определено, что для СУЗ вольфрамовым электродом с магнитоуправляемой дугой требуется применение вольфрамовых электродов с плоской специальной формой рабочей части шириной 2,5 мм.

3. Установлено, что отклонение сварочной дуги от центральной плоскости разделки прямо пропорционально значению поперечной составляющей индукции магнитного поля B_x и длине дугового промежутка и обратно пропорционально значению сварочного тока.

1. *Malin V.* Monograph on narrow-gap welding technology. — New York, 1987. — 83 p. — (Welding Research Council Bulletin).

2. *Кацуёси Хори, Мицуаки Ханэда.* Дуговая сварка в узкий зазор // Журн. Япон. свароч. об-ва. — 1999. — № 3. — С. 41–62.
3. *Paton B. E., Zamkov V. N., Prilutsky V. P.* Narrow-groove welding proves its worth on thick titanium // Welding J. — 1996. — № 4. — P. 37–41.
4. *Белоус В. Ю., Ахонин С. В.* Влияние параметров управляющего магнитного поля на формирование сварных швов титановых сплавов при сварке в узкий зазор // Автомат. сварка. — 2007. — № 4. — С. 3–6.
5. *Связь интегрального значения эффективной мощности осесимметричного источника тепла на сегменте с функцией радиального распределения плотности теплового потока / П. А. Тополянский, Б. О. Христофис, С. А. Ермаков, Н. А. Соснин* // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Материалы 6-й Междунар. практ. конф.-выставки, Санкт-Петербург, 13–16 апр. 2004 г. — С.-Пб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. — С. 3–9.

Conditions for providing defect-free welds on low titanium alloys by using narrow-gap TIG welding with the magnetically controlled arc have been experimentally studied. Mechanisms of deviation of the welding arc at different parameters of the welding process have been established.

Поступила в редакцию 20.09.2010

НОВЫЕ КНИГИ

ТИТАН: технологии, оборудование, производство: Сб. ст. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2011. — 250 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм.

В сборнике представлены статьи, опубликованные в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» за период 2005–2010 гг., по электрометаллургии и сварке титана и его сплавов. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области производства и сварки титана и его сплавов. Сборник предназначен для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и инженеров, занимающихся проблемами производства, обработки и потребления титановых сплавов.

Контактная сварка и другие виды сварки давлением: Сб. ст. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2011. — 150 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм.

Сборник объединяет статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2005–2010 гг., по проблемам контактной стыковой сварки оплавлением и другим способам сварки давлением. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области сварки давлением. Сборник предназначен для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и инженеров, занимающихся проблемами сварки давлением сталей, алюминиевых и титановых сплавов, интерметаллидов и других материалов.

Заказы на книги просьба направлять в редакцию журнала:

тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-54-84, e-mail: journal@paton.kiev.ua.

Книги реализуются в печатном виде (доставка заказной бандеролью)

и в электронном виде в *.pdf формате

(отправка по электронной почте с закрытием оплаты по акту выполненных работ).



МОНИТОРИНГ КОРРОЗИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

С. А. ОСАДЧУК, О. В. КОТЛЯР, инженеры, Л. И. НЫРКОВА, канд. хим. наук, С. Г. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен анализ особенностей процессов коррозии углеродистой стали и ее сварных соединений в охлаждающих жидкостях типа ТОСОЛ, используемых в системах охлаждения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). Предложен способ контроля мгновенной скорости коррозии металла труб и сварных соединений в системе охлаждения на АГНКС на основе метода поляризационного сопротивления. Разработаны датчики для оценки скорости коррозии углеродистой стали и ее сварных соединений в охлаждающей жидкости.

Ключевые слова: углеродистые стали, сварные соединения, автомобильные газонаполнительные компрессорные станции, охлаждающие жидкости, скорость коррозии, метод массометрии, метод поляризационного сопротивления, мониторинг коррозии

Цель настоящей работы состояла в исследовании возможности непрерывного контроля за кинетикой изменения скорости коррозии углеродистой стали и ее сварных соединений в исследуемых охлаждающих жидкостях (ОЖ) с помощью метода поляризационного сопротивления.

Как показывает практика, ОЖ становятся коррозионно-активными после одного-двух лет эксплуатации вследствие окисления этиленгликоля, выработки присадок и загрязнения самих ОЖ оксидами железа. В связи с этим ОЖ в системе охлаждения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) нуждаются в периодической замене или корректировке. Момент времени, когда ОЖ становятся коррозионно-активными по отношению к металлу трубы и ее сварным соединениям, можно установить с помощью датчиков. Сварные соединения в системах охлаждения АГНКС подвержены наибольшему коррозионному износу. Поэтому анализ особенностей процессов коррозии проводили на сварных соединениях из углеродистой стали в ОЖ типа ТОСОЛ, используемой в системах охлаждения АГНКС. Изучали влияние состава ОЖ на кинетику коррозии углеродистой стали при комнатной температуре. Исследование электрохимических характеристик образцов ОЖ проводили в лабораторных условиях при комнатной температуре. В работе использовали методы массометрии, поляризационного сопротивления, поляризационных кривых.

В результате проведенных исследований установлено, что мгновенную скорость коррозии ме-

талла труб и их сварных соединений в системе охлаждения на АГНКС можно контролировать в течение длительного времени с помощью метода поляризационного сопротивления. Разработанный метод позволяет определить мгновенную скорость коррозии металла труб и их сварных соединений в системе охлаждения на АГНКС.

В настоящее время физико-химические и защитные свойства ОЖ, применяемых на АГНКС, контролируют на соответствие требованиям ГОСТ 28084–89 [1] по следующим показателям: внешний вид, плотность, температура начала кристаллизации, водородный показатель pH, щелочность, коррозионное воздействие на металлы, в том числе на сталь. Оценка коррозионного воздействия на металлы, предусмотренная ГОСТ 28084–89, проводится по методу массометрии, который является трудоемким и длительным — испытания длятся в течение 336 ч (14 сут). Кроме того, скорости коррозии, определяемые методом массометрии, представляют собой интегральную характеристику, усредненную во времени.

Для исследования выбрали следующие ОЖ: ТОСОЛ (раствор этиленгликоля $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ с присадками в воде), этиленгликоль ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, молярная масса 62,07), пропиленгликоль ($\text{CH}_3\text{CHONCH}_2\text{OH}$, молярная масса 76,09), а также стандартные среды (3 % раствор NaCl и дистиллированная вода H_2O).

Физико-химические и коррозионные свойства ОЖ оценивали на соответствие требованиям ГОСТ 28084–89. Результаты испытаний физико-химических и защитных свойств исследуемых ОЖ и стандартных сред приведены в таблице.

Измерение скоростей коррозии углеродистой стали методом поляризационного сопротивления проводили с помощью системы коррозионного мониторинга СКМТ (ТУ В 33.2-01181535-014:2005) в ОЖ, стандартном растворе 3 % хлорида натрия и дистиллированной воде при ком-



Физико-химические и защитные свойства ОЖ

Признак (параметр, свойство)	Норма по ГОСТ 28084–89		Испытуемые среды				
	ОЖ-К	ОЖ-40	ТОСОЛ	Этиленгликоль		Пропиленгликоль	
				концентри- рованный	при разбав- лении водой 1:1	концентриро- ванный	при разбав- лении водой 1:1
Внешний вид	Прозрачная однородная жидкость без механических примесей						
Плотность, г/см ³	1,100...1,150	1,065...1,085	1,056	1,114	1,075	1,036	1,036
Температура начала кристалли- зации, °С, не выше	–35 при разб. 1:1	–40	–40	–13	–38	–60	–36
Водородный показатель (рН)	7,5...11,0	7,5...11,0	8,7	5,1	5,1	7,2	7,2
Щелочность, см ³ , не менее	10	10	9,196	0,05	—	0,05	—
Коррозионное воздействие на сталь, г/(м ² ·год), не более	0,0041	0,0041	0,0008	0,00128	0,0056	0,00163	0,0048
Электропроводность, См/м	—	—	0,2272	8,364·10 ^{–5}	0,0845	3,182·10 ^{–5}	0,073

натной температуре. Скорость коррозии вычисляли по формуле

$$i_k = \frac{2B}{S} \frac{\Delta I}{\Delta E},$$

где B — постоянная среды, мм/(год·Ом·см²); ΔI — ток, измеренный системой коррозионного мониторинга типа СКМТ, А; S — площадь поверхности образца, см²; ΔE — смещение потенциала на 10 мВ.

По данным работы [2] электрохимические процессы в ОЖ протекают в условиях пассивационного или диффузионного контроля. Уточнена постоянная B для ОЖ и водных нейтральных сред.

ОЖ типа ТОСОЛ содержат этиленгликоль, воду и присадки, замедляющие процесс коррозии. Для того чтобы определить, какая стадия контролирует процесс коррозии стали в ОЖ, были сняты анодные поляризационные кривые в ОЖ и в 3 % растворе NaCl (рис. 1). Из их анализа следует, что потенциал коррозии углеродистой стали в ОЖ смещается в область более положительных значений по сравнению с 3 % раствором NaCl. Ход кривых свидетельствует о пассивации поверхнос-

ти стали в ОЖ в результате торможения анодных процессов, т. е. увеличение наклонов анодных поляризационных кривых в пропиленгликоле и этиленгликоле по сравнению с 3 % раствором NaCl

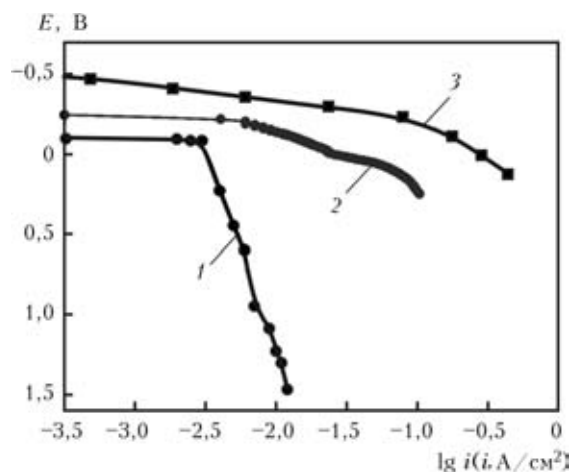


Рис. 1. Анодные поляризационные кривые углеродистой стали в различных средах: 1 — этиленгликоль при разбавлении водой 1:1; 2 — пропиленгликоль при разбавлении водой 1:1; 3 — 3 % раствор NaCl

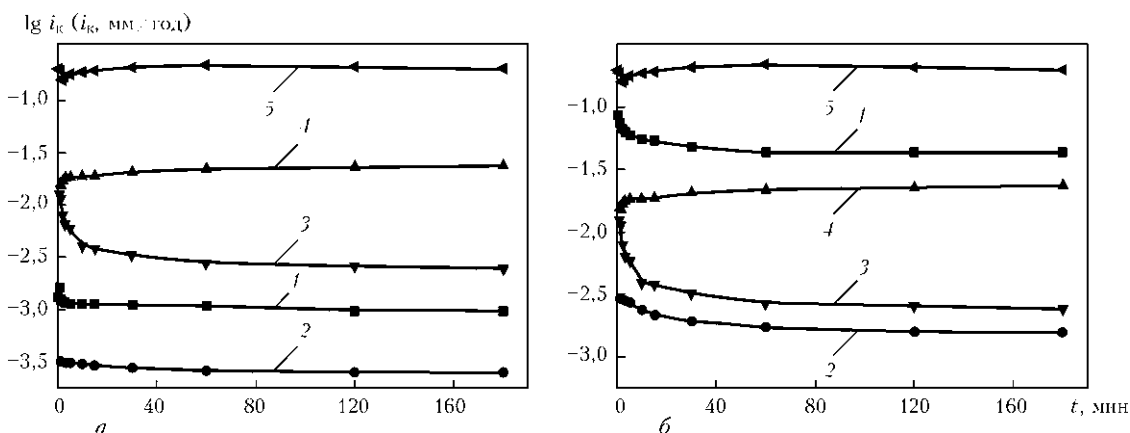


Рис. 2. Кинетика коррозии углеродистой стали в концентрированных (а) и разбавленных ОЖ (б): 1 — этиленгликоль (1:1); 2 — пропиленгликоль (1:1); 3 — ТОСОЛ; 4 — H₂O; 5 — 3 % раствор NaCl

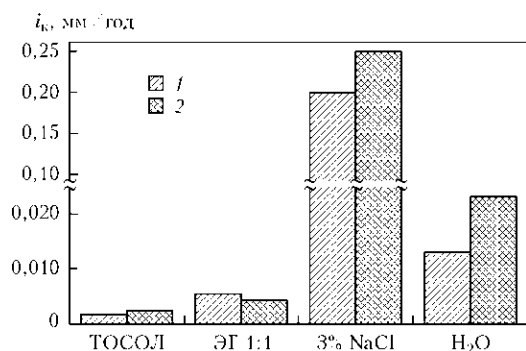


Рис. 3. Диаграммы скоростей коррозии углеродистой стали в разных средах, полученных методом массометрии (1) и поляризационного сопротивления (2)

указывает на затруднение протекания анодной реакции на металлической поверхности.

Кинетика коррозии углеродистой стали в концентрированных и разбавленных ОЖ, исследованная с помощью метода поляризационного сопротивления, представлена на рис. 2. Оказалось, что среди концентрированных ОЖ наиболее агрессивным к углеродистой стали является ТОСОЛ, а

наименее — пропиленгликоль. Этиленгликоль занимает промежуточное положение. Результаты измерения скорости коррозии в разбавленных ОЖ хорошо коррелируют с поляризационными кривыми, приведенными на рис. 1.

Соотношения скоростей коррозии углеродистой стали, полученные методом поляризационного сопротивления и методом массометрии, в разных средах приведены на рис. 3. Установлено, что скорости коррозии, определенные методом поляризационного сопротивления и массометрии, в различных средах удовлетворительно совпадают.

Таким образом, применение метода поляризационного сопротивления для непрерывного контроля за кинетикой изменения скорости коррозии углеродистых сталей и их сварных соединений вполне допустимо.

1. ГОСТ 28084–89. Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия. — Введ. 01.07.90.
2. Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. — К.: Академперіодика, 2007. — 332 с.

Features of corrosion processes in carbon steel and its welded joints in cooling liquids of TOSOL type used in cooling systems of car gas-filling compressor units were analyzed. Influence of cooling liquid composition on the kinetics of carbon steel corrosion at room temperature was studied. A technique is proposed for monitoring the instant rate of corrosion of the metal of pipes and welded joints, based on the method of polarization resistance. Sensors have been developed for assessment of corrosion rate of carbon steel and its welded joints in cooling liquids.

Поступила в редакцию 26.10.2010

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!



НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ-2011 (1-я УКРАИНСКО-НЕМЕЦКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ)

13–14 апреля 2011

Украина, г. Киев, НТУУ «КПИ»
Совместный факультет
машиностроения

Контакты: тел./факс: +38 (044) 406 83 01; тел.: +38 (044) 454 95 36; E-mail: gmf@kpi.ua
Подробная информация на сайте: www.gfm.kpi.ua



СОВЕРШЕНСТВО СВАРКИ — КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД (V Всеукраинская научная конференция молодых ученых, аспирантов, студентов)

19–21 мая 2011

Украина, г. Киев, НТУУ «КПИ»
Сварочный факультет

Контакты: E-mail: ntsa@wd.ntu-kpi.kiev.ua; web-сайт: www.weld.kpi.ua



РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ НАПЛАВКИ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ПЕРЕНОСОМ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

Б. И. НОСОВСКИЙ, канд. техн. наук, **Е. В. ЛАВРОВА**, асп. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Разработаны метод и оборудование для исследования процесса плавления ленточного электрода дугой, схема выбора параметра наплавки с принудительным переносом электродного металла.

Ключевые слова: наплавка, источник питания, принудительный механический перенос, ленточный электрод, наплавленный слой, качество

Для получения в первом наплавленном слое требуемого химического состава применяют наплавку ленточным электродом, который распределяет тепловую энергию на большую ширину по сравнению с проволоочным. В результате глубина проплавления и разбавление наплавленного металла основным уменьшаются. Однако с уменьшением глубины проплавления снижается способность дуги разрушать препятствия на ее пути в виде брызг, оксидов, вследствие чего образуются местные несплавления [1].

Характер плавления электрода может быть различным. Электрод может оплавляться каплей последовательно слой за слоем (рис. 1, а) или хаотично (рис. 1, б). Передача тепловой энергии в этом случае происходит неравномерно, что способствует увеличению вероятности образования несплавлений. Характер перемещения дуги и капли жидкого металла может влиять на качество сварного соединения. Стабилизировать процесс плавления электрода можно путем принудительного переноса электродного металла.

Изучены различные способы принудительного переноса электродного металла. В работах [2–5] установлено, что принудительный перенос электродного металла при сварке проволоочным электродом снижает потери электродного металла на разбрызгивание, улучшает условия возбуждения дугового процесса, стабилизирует ток и напряжение.

Однако существующие способы принудительного переноса имеют отношение только к сварке (наплавке) проволоочным электродом. Сведения о влиянии принудительного переноса на качество валика, наплавленного ленточным электродом под флюсом, отсутствуют. Поэтому представляется целесообразным разработать механизм преобразования поперечных колебаний в продольные

торца ленточного электрода и исследовать влияние параметров колебаний на процесс плавления электрода и качество наплавленного металла.

Целью настоящей работы является разработка методики и оборудования для определения характера перемещения дуги по торцу ленточного электрода при наплавке под флюсом ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла.

Спроектировано приспособление принудительного механического переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом (рис. 2). При автоматической наплавке механизм преобразования располагается близко к дуге, что уменьшает массу ленточного электрода, совершающего возвратно-поступательные движения. Это позволило упростить механизм преобразования поперечных колебаний в продольные. Принцип работы представленного механизма заключается в следующем: вал 7 вращается приводом. Благодаря возвратно-поступательному движению средней части вала-эксцентрика

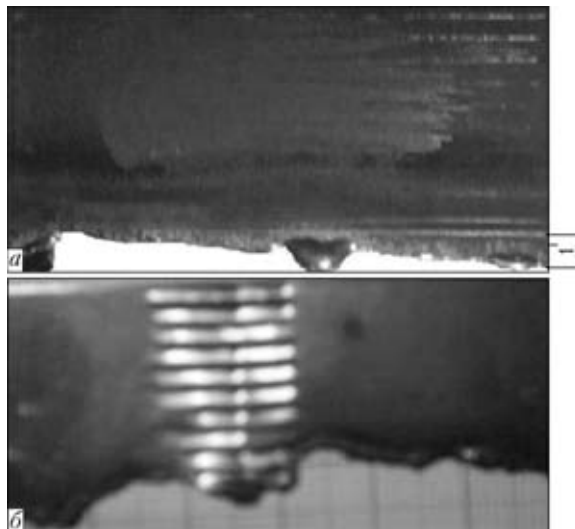


Рис. 1. Внешний вид торца ленточного электрода, оплавленного каплей последовательно слой за слоем (а) и хаотично (б)

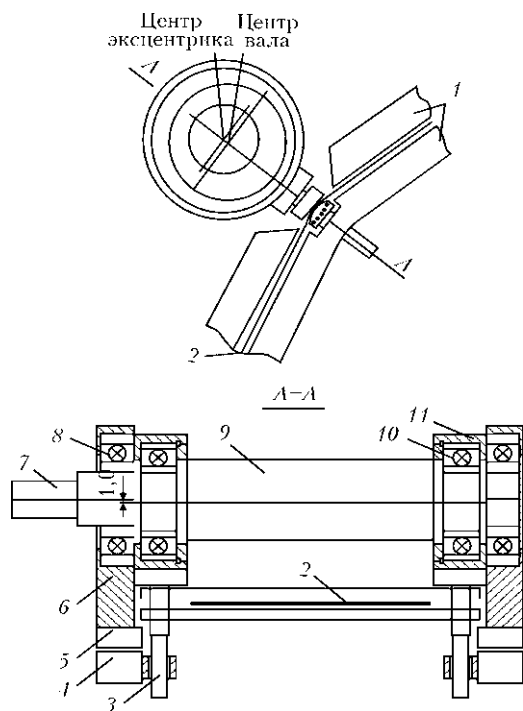


Рис. 2. Схема преобразования колебаний торца ленточного электрода из поперечных в продольные: 1 — изогнутое основание; 2 — ленточный электрод; 3 — направляющий болт; 4, 5 — корпуса пластин; 6, 11 — корпуса подшипников; 7 — вал; 8 — подшипник на валу; 9 — средняя часть вала-эксцентрика; 10 — подшипник на эксцентрике

9 и пластин, установленных с зазором, по которому движется ленточный электрод, происходят его поперечные перемещения, преобразующиеся в продольные колебания его торца.

Предлагаемый механизм можно использовать для лент сплошного сечения, порошковые электроды не допускают многократных изгибов и вибраций, так как это приводит к неконтролируемому просыпанию шихты.

Для выяснения степени влияния принудительного переноса на распределение энергии по ширине ленточного электрода необходимо знать характер перемещения дуги по его торцу.

Известны следующие методы исследований характера перемещения дуги по торцу ленточного электрода: скоростная киносъемка и измерение распределения линий тока по ширине ленточного электрода [1]. Наиболее доступным является последний. Разработана приставка, с помощью которой имитировалось место горения дуги на торце ленточного электрода (контакты).

Известно [1], что с помощью контактов, расположенных по ширине ленточного электрода, можно определить положение дуги. Для контроля падения напряжения от тока с колебаниями торца ленточного электрода и без разработаны датчики (рис. 3). Сконструировано приспособление, в котором по ширине ленточного электрода 100 мм расположены девять пар контактов (рис. 3).

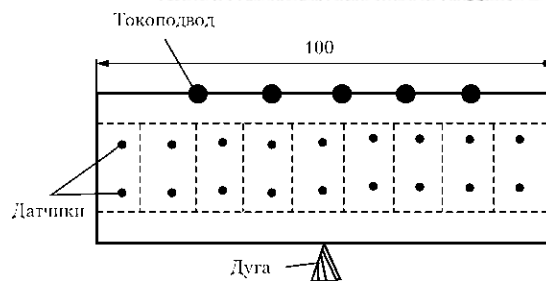


Рис. 3. Схема расположения скользящих контактов (датчиков) на вылете ленточного электрода

Для отработки методики проведения экспериментальных исследований использовали ленточные электроды толщиной 0,3 и 0,5 мм из стальных наплавочных лент 08А и 10Х18Н10Т.

Положение дуги имитировали контактом, прижатым к торцу ленточного электрода. Конструкцией приспособления предусмотрена возможность включения пяти скользящих токоподводов (любого одного или их сочетания).

Перемещение дуги по торцу ленточного электрода имитировали изменением места контакта.

Внешний вид приспособления для преобразования поперечных колебаний в продольные и расположение датчиков распределения тока по ширине ленточного электрода представлены на рис. 4.

Использовали источник питания с плавной регулировкой напряжения. Он представляет собой трехфазный автотрансформатор, понижающий разделительный трансформатор, к выходу которого подключен трехфазный мостовой выпрямитель, обеспечивающий минимальные пульсации выпрямленного напряжения. Ток измеряли с помощью амперметра 2 с шунтом, датчики 3 попарно переключались с помощью переключателя 5. Падение напряжения на каждом датчике измеряли с помощью милливольтметра 6.

Для надежной работы АЦП необходимо выбрать место заземления. Для этого заземляли токоподводы или средний контакт нижнего ряда датчиков. Результаты измерений представлены на



Рис. 4. Внешний вид приспособления для преобразования поперечных колебаний в продольные и расположение датчиков распределения тока по ширине ленточного электрода: 1 — эксцентриковый механизм; 2 — амперметр; 3 — датчики съема тока; 4 — контакты, имитирующие дугу; 5 — переключатель; 6 — милливольтметр

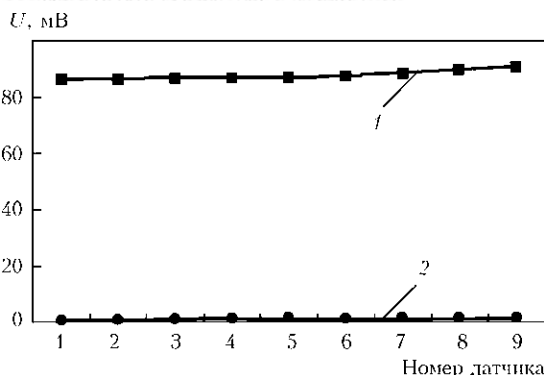


Рис. 5. Зависимость падения напряжения от места заземления: 1 — токоподвод; 2 — средний контакт нижнего ряда датчиков

рис. 5. При заземлении среднего контакта нижнего ряда датчиков влияние на падение напряжения незначительно. Поэтому в дальнейшем проводили измерения с заземленным нижним контактом среднего датчика.

Для обработки методики измерений изменяли положение дуги (контакта) и место токоподвода. Результаты измерений представлены на рис. 6–10. Как видно из рис. 6, максимум распределения падения напряжения по ширине ленточного электрода при включении всех токоподводов и положении дуги с правого края электрода расположен над контактом, имитирующим положение дуги.

На рис. 7 представлены результаты измерений для ленты толщиной 0,5 мм. При использовании стали 10X18H10T полезный сигнал значительно выше в сравнении с наплавочным материалом Св-08А. Из рис. 8 видно, что положение, а также количество подключенных токоподводов не оказывает существенного влияния на характер распределения тока. Результаты эксперимента, представленные на рис. 9, свидетельствуют о том, что перемещение дуги по торцу ленточного электрода соответствует перемещению максимума тока. Видно, что при использовании ленточного электрода из 10X18H10T и 08А характер кривых одинаков, но падение напряжения при использовании 08А значительно ниже, так как удельное сопротивление стали 10X18H10T больше, чем стали 08А.

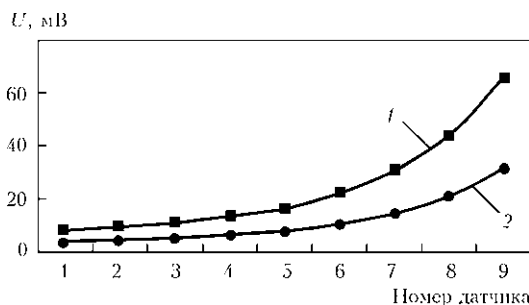


Рис. 6. Зависимость падения напряжения по ширине ленточного электрода толщиной 0,2 мм из стали 10X18H10T для различных значений тока: 1 — 40; 2 — 20 А

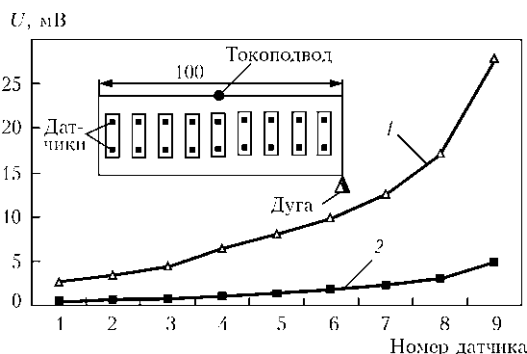


Рис. 7. Зависимость падения напряжения для тока 40 А по ширине ленточного электрода толщиной 0,5 мм для разных материалов: 1 — 10X18H10T; 2 — 08А

Для определения влияния тока шунта или одновременно существующих двух дуг исследованы изменения падения напряжения при двух контактах, подключенных по центру и с правого края электрода. Как видно из рис. 10, при существовании двух дуг (контактов) на кривой появляется два максимума. Значение полезного сигнала при использовании материала 10X18H10T больше, чем при использовании стали 08А.

Для измерения параметров используется АЦП (Е14-140) (рис. 11), который имеет 16 дифференциальных входов или 32 с общей землей. У нас имеется 9 дифференциальных датчиков, поэтому использовали схему подключения дифференциальных входов.

Кроме датчиков распределения падения напряжения по ширине ленточного электрода значение тока дуги можно записать, используя для этого шунт на 1000 А, 75 мВ. Для измерения нап-

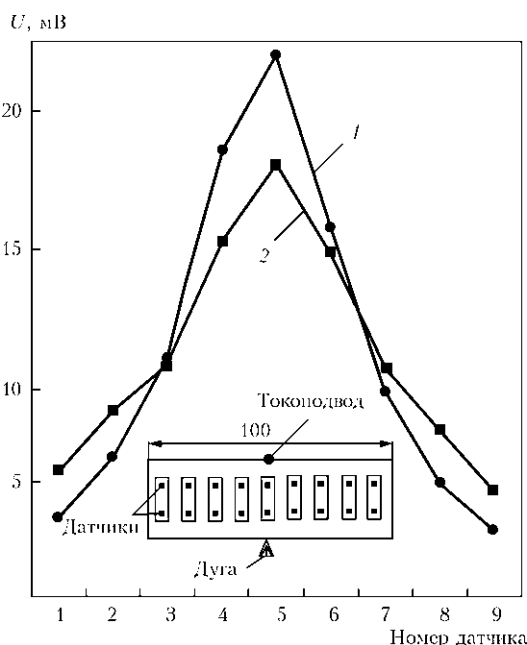


Рис. 8. Зависимость падения напряжения для тока 40 А по ширине ленточного электрода толщиной 0,5 мм из стали 10X18H10T для различных положений токоподвода: 1 — подключен центральный токоподвод; 2 — подключены все пять токоподводов

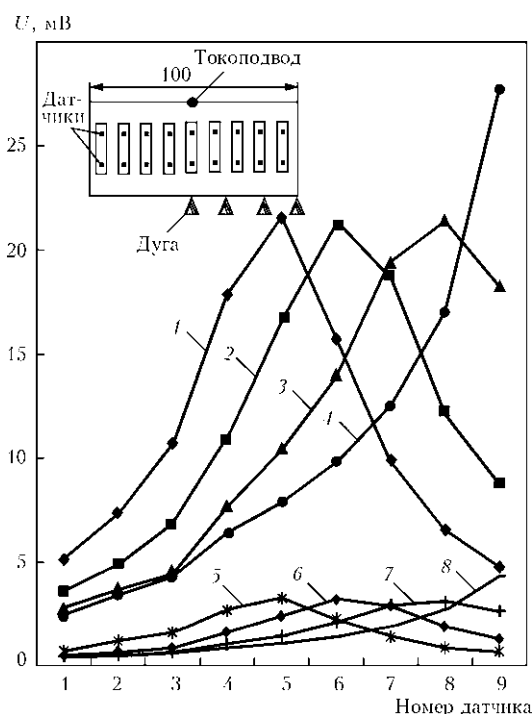


Рис. 9. Распределение падения напряжения для тока 40 А по ширине ленточного электрода толщиной 0,5 мм для различных положений токоподвода: 1–4 — 10X18H10T; 5–8 — Sv-08A

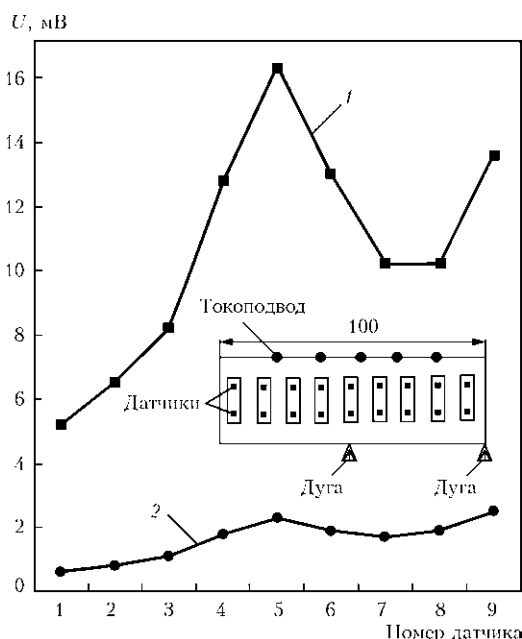


Рис. 10. Распределение падения напряжения по ширине ленточного электрода для двух дуг: 1 — 10X18H10T; 2 — 08A

ряжения используется делитель напряжения, параметры которого учитываются. Падение напряжения на вылете электрода и шунте близки, а напряжение дуги значительно больше, что учитывается при программировании устройства на ПК.

A procedure and equipment for investigation of the process of strip electrode melting by an arc and schematic of selection of surfacing parameter with forced transfer of electrode metal have been developed.



Рис. 11. Устройство для съема данных

Выводы

1. Разработана методика для измерения распределения линий тока по ширине ленточного электрода, позволившая определить характер перемещения дуги по торцу ленточного электрода при наплавке под флюсом ленточным электродом с принудительным механическим переносом электродного металла.

2. Представлено распределение падения напряжения по ширине ленточного электрода.

3. Определено влияние материала и тока на значение полезного сигнала, что необходимо учитывать при обработке результатов измерений.

4. Установлено, что заземление токоподвода или подвижных контактов существенно влияет на значение полезного сигнала. Для повышения чувствительности и точности измерений следует заземлять средний контакт в нижнем ряду датчиков.

5. При существовании двух дуг одновременно на распределении падения напряжения появляется два максимума.

6. Подтверждено, что положение максимума падения напряжения совпадает с положением дуги на торце ленточного электрода. Следовательно, используя разработанные приспособления и АЦП, можно зафиксировать движение дуги по торцу ленточного электрода.

1. Гулаков С. В., Матвиенко В. Н., Носовский Б. И. Наплавка под флюсом ленточным электродом. — Мариуполь: ПГТУ, 2006. — 136 с.
2. Лебедев В. А. Особенности конструирования механизмов импульсной подачи электродной проволоки в сварочном оборудовании // Автомат. сварка. — 2003. — № 3. — С. 48–52.
3. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (Обзор) // Там же. — 2010. — № 10. — С. 45–53.
4. Вороний Н. Н., Бенидзе З. Д. Особенности процесса сварки в CO_2 с импульсной подачей электродной проволоки // Там же. — 1989. — № 2. — С. 23.
5. Пат. 24440, 7 В 23 К 9/12, С2 Украина. Спосіб дугового зварювання електродами, що плавиться / М. Б. Носовський.

Поступила в редакцию 20.10.2010



УПРАВЛЕНИЕ ЗАЖИГАНИЕМ ДУГИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПРОЦЕССА

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук, **А. А. МОСКАЛЕНКО**, **В. Г. ТЮКАЛОВ**, инженеры,
В. Ф. СЕМИКИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описано управление процессом зажигания электрической дуги при наведении шлаковой ванны для ЭШС. Приведен алгоритм контактного зажигания дуги с первого касания проволочным электродом свариваемого изделия. Решающими условиями надежного зажигания дуги является заостренный торец электрода, подача напряжения источника питания на неподвижный электрод после его замыкания на изделие. Для перехода к установившемуся процессу включение подачи электрода должно выполняться с задержкой после зажигания дуги. Приведены экспериментальные данные процесса зажигания дуги.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, зажигание сварочной дуги, наведение шлаковой ванны, управление зажиганием

Для начала электрошлакового процесса необходима шлаковая ванна расплавленного флюса, для получения которой (наведения) существует несколько способов. При электрошлаковой сварке (ЭШС) электродами большого сечения шлак предварительно расплавляют во вспомогательном тигле и затем заливают в пространство между свариваемыми кромками [1] либо используют электропроводный флюс в твердом состоянии [2]. При сварке проволочными электродами шлаковую ванну в большинстве случаев наводят с помощью дуги. Возбуждение дуги может проводиться бесконтактным способом с помощью высоковольтных высокочастотных генераторов [3, 4], но чаще всего осуществляется контактными способами. Для облегчения возбуждения дуги в зону сварки засыпают слой металлического порошка или стружки толщиной 10...12 мм, а затем слой флюса толщиной 3...5 мм [5]. Наибольшее распространение, как и для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов или под слоем флюса, получил способ, основанный на разрыве под напряжением контакта между электродом и свариваемым изделием [6, 7].

Теоретическим аспектам контактного зажигания дуги посвящен ряд работ, например [8–11]. На их основе процесс контактного зажигания дуги можно представить следующим образом. При соприкосновении конца электрода со свариваемым металлом через электрод начинает проходить ток короткого замыкания (КЗ) сварочной цепи. В результате прохождения тока в электроде выделяется тепло, нагревающее его. Наибольшее количество тепла выделяется в зонах повышенного сопротивления: в контактах электрод–деталь и электрод–токоподводящий наконечник.

Если контактные сопротивления относительно невелики, то благодаря интенсивному теплоотводу в зонах контактов электрод нагревается вплоть до температуры плавления ближе к середине его вылета. После этого диаметр образовавшейся жидкой перемычки начинает уменьшаться под действием сил поверхностного натяжения и электромагнитных сил, вызванных протекающим током. Металл перемычки перегревается до испарения и взрывается. Значительная часть электрода, потерявшего устойчивость вследствие сильного нагрева, уносится взрывом из зоны сварки. Из-за образовавшегося большого межэлектродного промежутка дуга не зажигается. В результате подачи электрода вновь возникает КЗ дугового промежутка, но уже с новым распределением температуры по длине электрода. При повторном и последующих касаниях электрода свариваемого изделия начальная температура конца электрода будет все выше вследствие нагрева при предыдущем касании. После нескольких КЗ расплавление электрода и взрыв перемычки произойдет вблизи контакта электрод–деталь. Поскольку образовавшийся ионизированный промежуток достаточно мал, загорается электрическая дуга [8]. КЗ для такого процесса возбуждения дуги характеризуются значительной длительностью (рис. 1). В экспериментах использовали электродную проволоку диаметром 3 мм (скорость подачи 42 м/ч) и флюс АН-8.

При большом контактном сопротивлении электрод–деталь наиболее нагретой оказывается зона контакта электрода с изделием. Именно в этой области происходит расплавление электрода и взрыв жидкой перемычки. В образовавшемся после взрыва перемычки промежутке (электрод–деталь), заполненном ионизированным газом, зажигается дуга, т. е. процесс возбуждения дуги про-

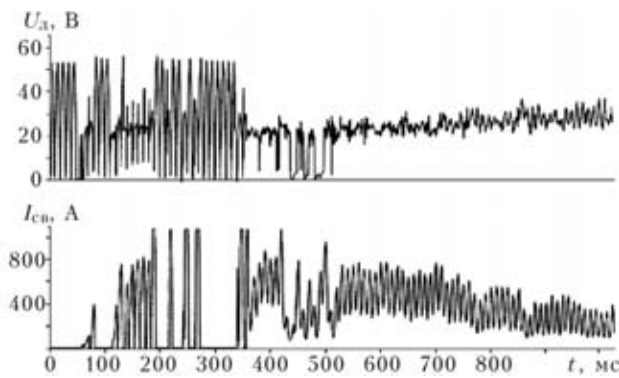


Рис. 1. Процесс возбуждения дуги при относительно большом сопротивлении контакта электрод–деталь

исходит после первого касания электрода с изделием.

Таким образом, решающим условием надежного зажигания электрода с первого касания является повышенное сопротивление электрической цепи в области конец электрода–свариваемое изделие и минимальное сопротивление контакта электрод–токоподводящий наконечник.

Для повышения контактного сопротивления электрод–деталь тем или иным способом уменьшают площадь поперечного сечения проводника тока в области контакта. Это могут быть упомянутые выше металлическая стружка или порошок, приваренная к электроду металлическая пластина с меньшей, чем у электрода площадью поперечного сечения [7], вибрации конца электрода в направлении, перпендикулярном его оси [12, 13], либо заострение конца электрода. Последнее обеспечивается в свою очередь либо уменьшением размера оставшейся на конце электрода капли, используя специальные алгоритмы окончания процесса сварки, либо просто откусыванием конца электрода кусачками, лучше всего под острым углом к оси. Как показывает опыт, последний способ самый простой и эффективный.

Результаты компьютерного моделирования нагрева заостренного и тупого торца электрода при КЗ приведены в работе [11]. Характер нагрева для этих двух случаев кардинально различается. Для заостренного электрода максимум температуры располагается в области, очень близкой к торцу. В то же время остальная часть электрода остается при комнатной температуре. В электроде с плоским торцом область, нагретая до температуры плавления, занимает гораздо более протяженную область и расположена на значительном расстоянии от торца электрода.

Для максимального использования преимуществ заостренного электрода необходимо, чтобы его форма оставалась по возможности неизменной в течение всего времени нагрева. Для этого начальную скорость подачи электрода до зажигания дуги устанавливают ниже рабочей [6]. В противном случае при нагреве заостренного торца элект-

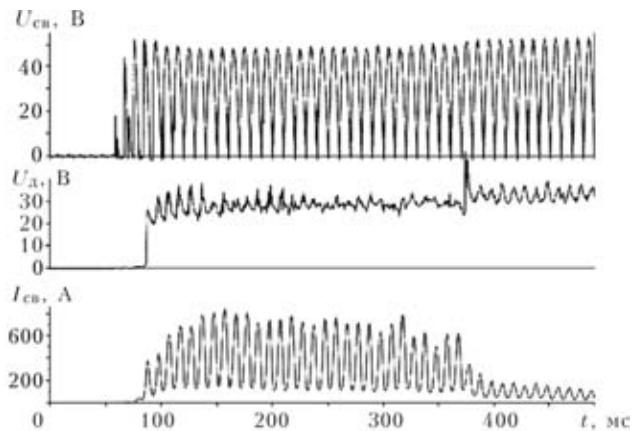


Рис. 2. Зажигание электрической дуги при нулевой скорости подачи электрода с заостренным концом ($U_{св}$ — напряжение сварочного источника)

рода во время КЗ до температуры пластичности площадь контакта электрода с изделием увеличивается вследствие подачи электрода и тепловыделение в этой зоне уменьшается. Наилучший результат достигается при полной остановке подачи электрода на время возбуждения дуги, как это сделано в работе [14]. Процесс зажигания дуги под флюсом при нулевой скорости подачи электрода приведен на рис. 2. После касания свариваемого изделия электродом с заостренным концом привод подачи останавливают, засыпается флюс и включается сварочный источник питания. Как видно из рис. 2, процесс возбуждения дуги происходит очень мягко — ток КЗ менее 300 А, а длительность менее трех полупериодов напряжения питающей сети. Плавление электрода электрической дугой и сброс образовавшейся капли приводит к росту дугового промежутка до предельного значения горения дуги при данном напряжении источника питания и результирующему обрыву дуги. Для параметров процесса, приведенном на рис. 2, обрыв дуги происходит при длине дуги 5 мм. Этот процесс длится 350...600 мс. Следовательно, для установления стабильного дугового процесса через 150...250 мс можно включать подачу электрода. В дальнейшем устойчивость горения дуги зависит уже только от параметров источника питания, скорости подачи электрода, защитной среды и т. п.

Для автоматизации приведенного выше алгоритма зажигания дуги были разработаны датчик замыкания электрода на изделие и контроллер управления двигателем подачи электрода и включения сварочного источника питания. Датчиком КЗ служит низковольтный автономный источник напряжения с высоким внутренним сопротивлением, подключенный к электроду параллельно сварочному источнику питания.

Работа системы зажигания дуги происходит следующим образом. По команде ПУСК включается зондирующее напряжение датчика КЗ и

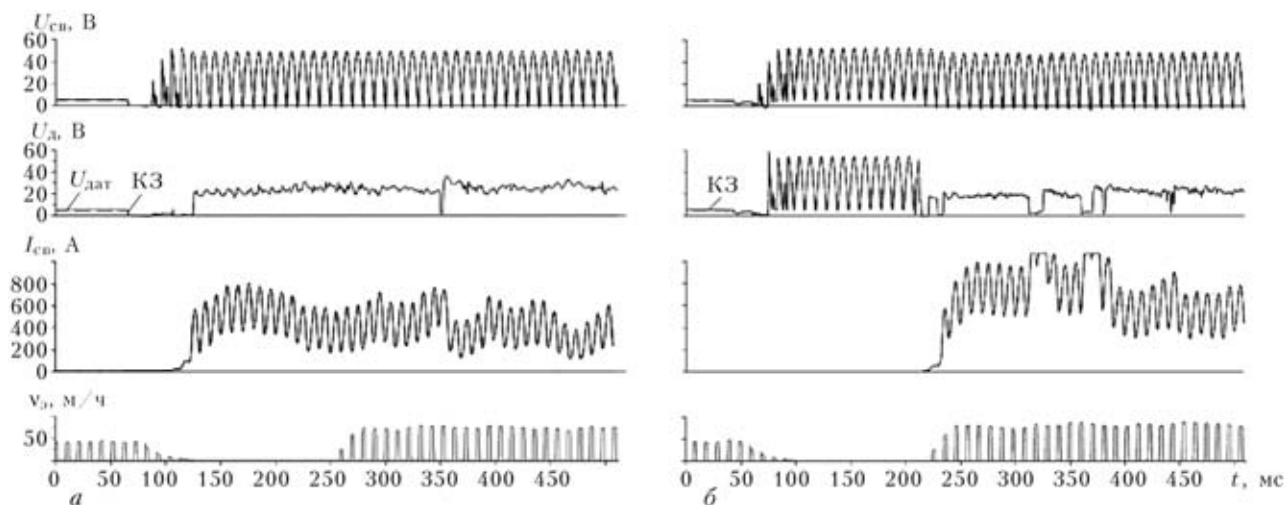


Рис. 3. Автоматическое управление зажиганием сварочной дуги под флюсом с помощью датчика касания электрода свариваемого изделия: *а* — идеальный процесс зажигания; *б* — задержка зажигания дуги из-за пленки флюса между торцом электрода и поверхностью свариваемого изделия

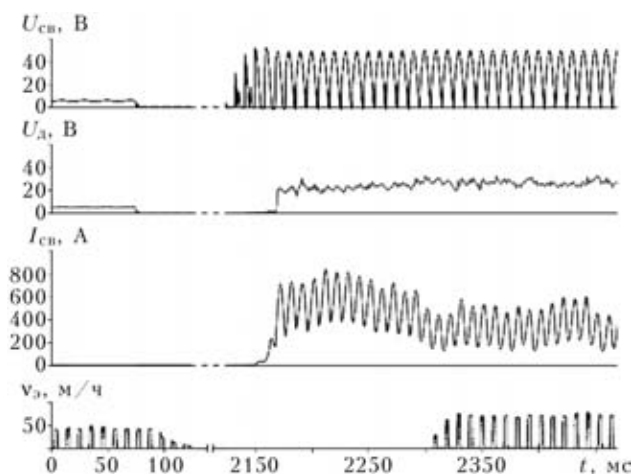


Рис. 4. Автоматическое управление зажиганием дуги с засыпкой флюса после остановки подачи электрода по команде датчика касания

двигатель подачи электрода на малой скорости. При КЗ электрода на изделие резко уменьшается напряжение на электроде (рис. 3, *а*). По этому сигналу двигатель останавливается, включается сварочный источник питания и с выдержкой времени около 200 мс снова включается двигатель подачи электрода, но уже на рабочей скорости.

К сожалению, при предварительно засыпанном в зоне сварки флюсе зажигание дуги происходит не всегда так гладко, как это представлено на рис. 3, *а*. Иногда между торцом электрода и поверхностью свариваемого изделия образуется тончайшая пленка флюса, которая, благодаря своей низкой электропроводности, ухудшает сигнал датчика КЗ и условия возбуждения дуги (рис. 3, *б*). Здесь датчик сработал исправно, но дуга зажглась не сразу после включения сварочного источника, а с заметным запаздыванием. В принципе возможна ситуация, когда из-за высокого сопротивления пленки флюса датчик может не сработать и двигатель не отключится, либо дуга не зажжется

вследствие слишком малого тока КЗ (это в основном касается только ЭШС вертикальных швов). При сварке под флюсом в процессе относительного перемещения сварочной головки и свариваемого изделия вероятность такого развития событий значительно снижается.

Ненадежное стартовое КЗ устраняется, когда засыпка флюса проводится после срабатывания датчика КЗ (рис. 4). Отличие от процессов, приведенных на рис. 3, заключается в значительном повышении надежности работы датчика КЗ, так как на его показания не влияет пленка флюса на поверхности свариваемого изделия. Характерной особенностью процесса является то, что ток возбуждения дуги оказывается даже меньше сварочного. Это является прямым следствием заострения торца электрода. Кроме того, имеет место некоторое повышение тока относительно его установившегося значения сразу после возбуждения дуги. По-видимому, это вызвано относительно низким сопротивлением еще холодного вылета электрода и пониженным падением напряжения на дуге вследствие ее небольшой длины.

Таким образом, зажигание электрической дуги с первого касания проволоочным электродом свариваемого изделия для наведения шлаковой ванны при ЭШС происходит при выполнении следующих условий:

- заостренный конец электрода;
- надежный контакт электрода с токоподводящим наконечником;
- прекращение подачи электрода после его замыкания на свариваемое изделие;
- засыпка флюса после замыкания электрода на изделие;
- включение только после этого источника питания;
- включение подачи электрода для перехода к установившемуся процессу горения дуги с задер-

жкой 100...200 мс после включения сварочного источника.

Для автоматизации выполнения приведенного алгоритма разработан датчик КЗ и контроллер управления двигателем подачи электрода и сварочным источником.

1. *Новый способ электрошлаковой сварки* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, А. Н. Сафонников и др. // Свароч. пр-во. — 1972. — № 7. — С. 16–17.
2. *Электрошлаковая сварка и наплавка* / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
3. *Kavcic A. Vzig obluka pri varjenju pod praskom* // Varilna tehn. — 1987. — № 3. — S. 61–62.
4. *Striz D., Kucek L. Zapal'ovanie obluka pri zvarani pod tavivom* // Zvaranie. — 1989. — № 3. — S. 92–93.
5. *Суцук-Слюсаренко И. И., Лычко И. И.* Техника выполнения электрошлаковой сварки. — Киев: Наук. думка, 1974. — 96 с.
6. *Зажигание дуги при сварке плавящимся электродом (Обзор)* / В. А. Ленивкин, Г. Г. Кленов, Х. Н. Сагиров, Н. Г. Дюргеров // Автомат. сварка. — 1986. — № 2. — С. 30–34.
7. *Морозкин И. С.* Управление зажиганием сварочной дуги при механизированных видах сварки. — Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2003. — 174 с.
8. *Установление (возбуждение) процесса дуговой сварки плавящимся электродом* / В. А. Ленивкин, Х. Н. Сагиров, Р. Я. Докторский и др. // Свароч. пр-во. — 1982. — № 8. — С. 9–11.
9. *Ersoy U., Hu S. J., Kannatey E.* Observation of arc start instability and spatter generation in GMAW // Welding J. — 2008. — № 2. — P. 51–56.
10. *Zhu P., Rados M., Simpson S. W.* Theoretical prediction of the start-up phase in GMA welding // Ibid. — 1977. — № 7. — P. 269–274.
11. *Arc initiation in gas metal arc welding* / D. Farson, C. Courrardy, J. Talkington et al. // Ibid. — 1998. — № 8. — P. 315–321.
12. *А. с. 408729 СССР, МКИ В 23 К 9/6.* Устройство для автоматического возбуждения дуги при электрической сварке плавящимся электродом / Б. Е. Патон, А. И. Червотко, Г. П. Иванов и др. — № 1006751/25-27; заявл. 11.10.71; опубл. 1973, Бюл. № 48.
13. *Червотко А. И., Иванов Г. П., Порхун Б. В.* Новый способ возбуждения дуги при сварке под флюсом // Автомат. сварка. — 1973. — № 4. — С. 44–45.
14. *Dilthey U., Eichhorn F., Groten G., Matzner H.* Low-spatter ignition of the mig-welding arc. — [1990]. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1181–90).

Control of the electric arc ignition process for inducing the slag pool for ESW is described. Algorithm of contact ignition of the arc from the first touch of a workpiece by wire electrode is given. The sharpened electrode tip and feeding of voltage from the power source to the fixed electrode short-circuited to the workpiece are decisive conditions for reliable ignition of the arc. To transfer to the steady-state process, the electrode feed should be switched on with a lag after the arc ignition. Experimental data on the arc ignition process are given.

Поступила в редакцию 30.11.2010

III МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

МЕТАЛЛООБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТ ПЛАСТМАССА

29 марта–1 апреля 2011

г. Киев, Украина

Организатор: ООО «Международный выставочный центр»

Тел.: +38044 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58

e-mail: lilia@iec-expo.com.ua

www.tech-expo.com.ua



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЗКИ И СВАРКИ EXPO 2011 (CWE'11)

6–8 мая 2011

г. Бомбей, Индия

Контакты: Kind Regards

Тел.: +9122 2839-8000; факс: +9122 2839-0502

www.cweonline.in



ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СПЛАВЛЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ

И. О. СКАЧКОВ, канд. техн. наук, Е. П. ЧВЕРТКО, магистр (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Разработана методика мониторинга процесса контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением. Установлено, что применение нейронных сетей для оценки стабильности процесса сварки является принципиально возможным.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, непрерывное оплавление, стабильность процесса, дефекты соединений, отклонения параметров процесса, мониторинг качества, нейронные сети

При контактной стыковой сварке давлением разрушающий контроль качества сварных соединений не всегда позволяет достоверно выявлять дефекты. Учитывая, что свойства соединений напрямую зависят от параметров режима сварки, стабильность последних часто определяют по наличию отклонений их от задаваемых значений.

Обычно при сварке непрерывным оплавлением удовлетворительное качество соединений достигается при обеспечении оптимальных распределений температуры в приконтактной зоне на всей площади поперечного сечения перед осадкой, а также величины и скорости осадки. Поскольку в ряде случаев прямые измерения указанных характеристик весьма затруднены или невозможны, измеряют другие параметры, влияющие на нагрев деталей: сварочное напряжение, скорость подачи деталей и пр. Стабильные значения указанных показателей обеспечивают оптимальный нагрев деталей и, как следствие, качество стыков. При этом допустимыми считаются отклонения напряжения холостого хода не более чем на 10 % заданного значения, для скорости подачи детали — до 20 %, отклонения значения вылетов деталей не должны превышать 5 % [1]. Такой подход позволяет фиксировать отклонения каждого из указанных параметров отдельно, но не дает представления об их суммарном влиянии на стабильность процесса.

Информацию, необходимую для оценки качества сварного соединения, можно получить по результатам анализа основных физических параметров процесса сварки, в частности, электрических [1–3]. При контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением процесс образования жидких перемычек, их нагрев, разрушение и образование новых может быть описан вероятностными методами. Его ход определяется мгновенными значениями параметров режима (как электрических, так и механических), а также случайными воз-

мущениями разного рода, в том числе и технологическими, связанными с подготовкой деталей под сварку и их установкой в зажимах машины. Влияние возмущений на протекание процесса наиболее часто характеризуется отклонением основных параметров режима от заданных значений, т. е. изменение напряжения в процессе оплавления носит вероятностный характер, а само вторичное напряжение является одним из наиболее чувствительных к возмущениям параметром режима сварки.

Поскольку предпосылки, определяющие снижение показателей качества соединений, могут возникать на всех стадиях процесса сварки, одним из вариантов оценки качества может быть анализ осциллограмм напряжения и их разделение на группы, соответствующие отклонениям основных параметров. Таким образом, задача мониторинга качества сводится к задаче классификации.

Разработана методика мониторинга процесса сварки непрерывным оплавлением для выявления отклонений сварочного напряжения в реальном времени. Эксперименты по контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением стержневой арматуры класса А400С диаметром 14 мм проводили на машине МСО-606 с жестким электромеханическим приводом оплавления без обратных связей. Регистрацию напряжения во вторичном контуре машины выполняли с помощью аналого-цифрового преобразователя Е-140 (L-Card, Россия).

Оценивали оптимальный режим и три случая отклонения параметров процесса, снижающих качественные характеристики стыка, которые наиболее часто возникают при сварке: снижение скорости подачи детали v ; снижение напряжения холостого хода машины $U_{x,x}$; изменение установочной длины деталей l .

Отклонения параметров процесса создавали путем введения возмущений, больших допустимых из условий обеспечения качества. В результате экспериментов получены соединения (рис. 1), которые отличаются зоной нагрева и наличием в стыке дефектов, в частности, несплошностей. Из осциллограмм напряжения сварки на различных режимах (рис. 2) видно, что достаточно информативным сигналом, отображающим ход

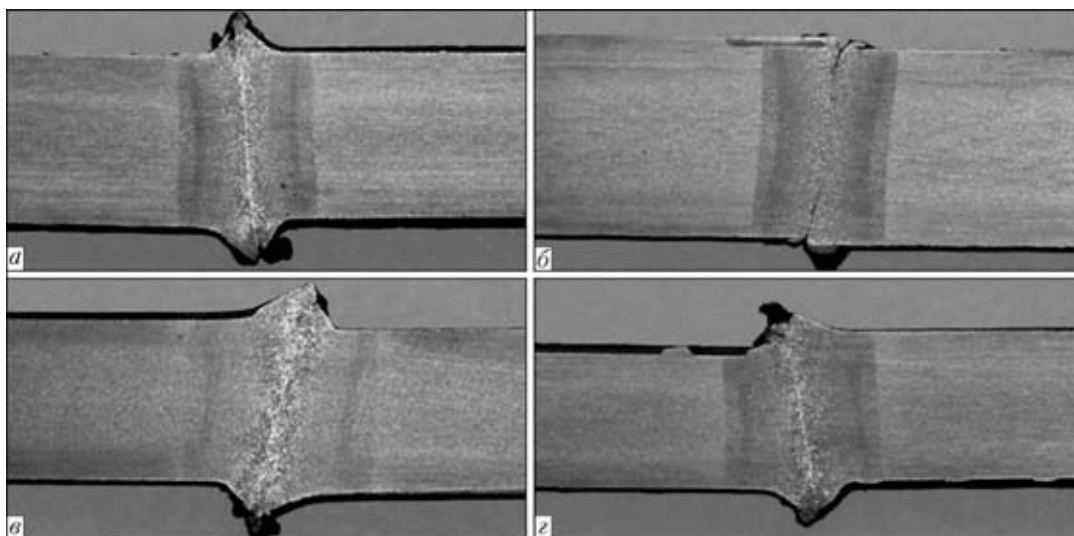


Рис. 1. Макрошлифы стыков, полученных на различных режимах сварки: здесь и далее на рис. 2 и 3 *a* — оптимальный; *б, в* — соответственно пониженные скорость и напряжение; *г* — увеличенный вылет

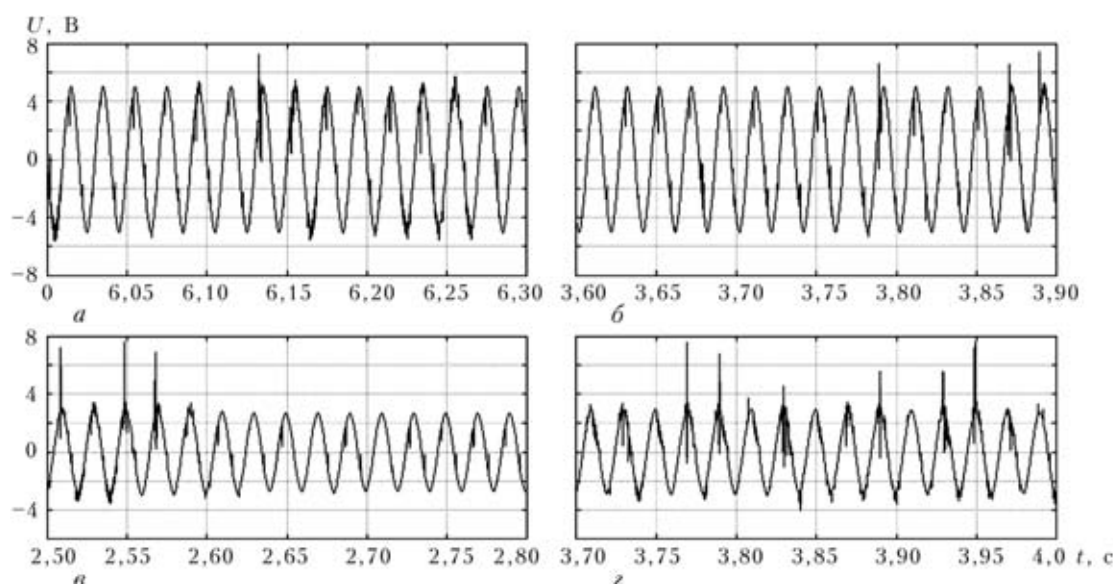


Рис. 2. Типичные осциллограммы напряжения на различных режимах сварки (*a–г*)

взрывно-искрового процесса, является высокочастотная составляющая, которую выделили с помощью цифрового фильтра.

После первичной обработки данных массивы разделили на блоки, равные десяти периодам напряжения промышленной сети, исходя из допустимой длительности отклонений в ходе процесса оплавления [1]. Для каждого блока данных оп-

ределено математическое ожидание модуля случайной величины, отражающее интенсивность оплавления на данном этапе осциллограммы. В результате получены массивы данных, отражающие интенсивность оплавления (рис. 3).

Даже для стыков, сваренных на режимах с одинаковыми параметрами, массивы данных отличаются, хотя для каждой группы стыков можно оп-

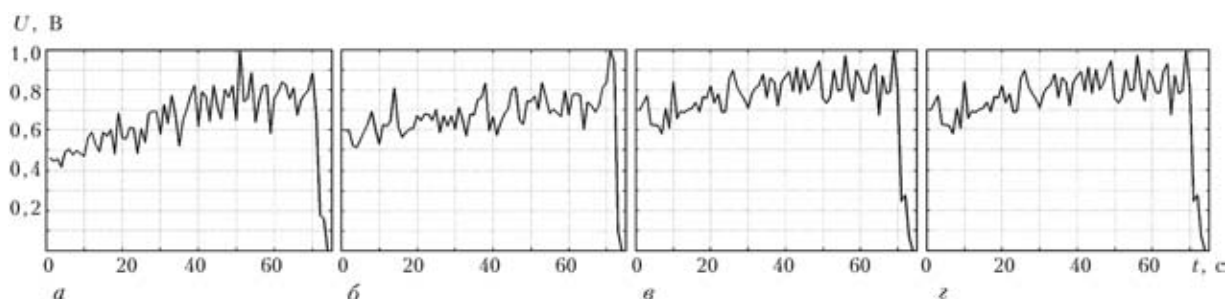


Рис. 3. Типичные массивы данных (*a–г*), отражающих интенсивность оплавления для групп стыков

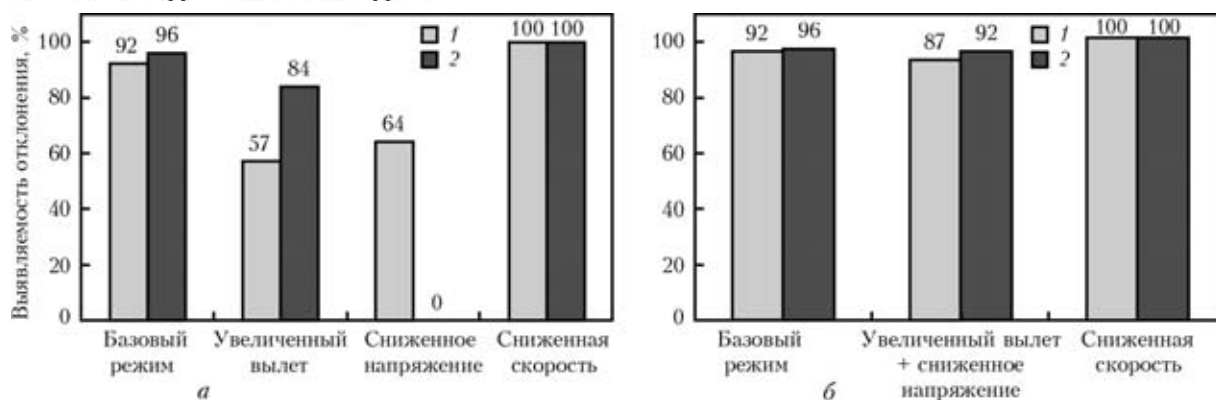


Рис. 4. Результаты работы сетей PNN (1) и LVQ (2) первичные (а) и после повторного обучения (б)

ределить пределы изменения значений параметров. Поэтому возникает задача автоматической классификации массивов.

Указанная задача может быть успешно решена с помощью нейронных сетей классификации и кластеризации данных. Для классификации применили вероятностную нейронную сеть Probabilistic Neural Networks (PNN), которая относится к радиально-базисным сетям, и Learning Vector Quantization (LVQ) — сеть разделения учебных векторов. Обе сети относят к самоорганизационным [4]. Классификацию осуществляли по признаку наличия отклонения по одному из параметров режима (v , U_{xx} , I). Таким образом, данные разделялись на четыре класса.

Для обучения сетей использовали данные, полученные во время экспериментов. Для обоих типов сетей применили одну обучающую последовательность, включающую по 15 массивов данных каждой группы режимов. Сеть PNN имела 4 нейрона, LVQ — 4 нейрона во втором слое. Работоспособность сетей проверили на множествах значений, которые не использовали при обучении сетей.

Относительная ошибка при идентификации массивов данных для стыков, сваренных на оптимальном режиме, не превышает 8 % (рис. 4, а). Массивы данных, относящиеся к группе режимов со сниженной скоростью, определили безошибочно. При идентификации массивов данных, относящихся к режимам со сниженным напряжением и увеличенным вылетом, ошибка превышала 16 %. Это связано с тем, что оба отк-

лонения приводят к появлению похожих изменений хода процесса (например, см. рис. 3).

Провели повторное обучение сети, для которого две группы стыков объединили. Новая сеть PNN имела 3 нейрона, сеть LVQ — 3 нейрона во втором слое. Параметры обучения сети остались прежними. Ошибка выявления возмущений в этом случае не превышает 8 % для сети LVQ и 13 % для сети PNN (рис. 4, б).

Полученные результаты показали, что применение искусственных нейронных сетей для оценки стабильности процесса при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением является принципиально возможным.

Выводы

1. Анализ высокочастотной составляющей сварочного напряжения контактной машины позволяет эффективно реализовать 100%-й мониторинг процесса контактной стыковой сварки оплавлением.

2. Для автоматического мониторинга на основе анализа интенсивности оплавления целесообразно использовать нейронные сети классификации и кластеризации.

1. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
2. On-line quality monitoring in short-circuit metal arc welding / S. Adolfsson, A. Bahrami, G. Bolmsjo, N. Claesson // Welding Res. — 1999. — № 2. — P. 59–72.
3. Shannon G. August 8, 2007. Gaining control of resistance welding: http://www.thefabricator.com/ArcWelding/ArcWelding_Article.cfm?ID=1689.
4. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети: Matlab 6. — М.: Диалог-МИФИ, 2002. — 489 с.

A procedure for monitoring the process of continuous flash-butt has been developed. It is established that application of neural networks for assessment of the stability of the welding process is possible in principle.

Поступила в редакцию 03.07.2009

ВЫБОР ФОРМЫ РАЗДЕЛКИ КРОМОК ПРИ РЕМОНТЕ СКВОЗНЫХ ТРЕЩИН МНОГОСЛОЙНОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКОЙ

С. М. КОЗУЛИН, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты расчета формы разделки кромок и глубины провара при ремонте сквозных трещин в изделиях большой толщины многослойной электрошлаковой сваркой.

Ключевые слова: многослойная электрошлаковая сварка, углеродистые стали, бандаж цементной печи, сквозная трещина, ремонт, форма разделки кромок, ширина зазора, глубина провара, плавящийся мундштук, шаг отверстий

Применение электрошлаковой сварки (ЭШС) при исправлении трещин в крупногабаритных, толстостенных дорогостоящих деталях машин и агрегатов позволяет существенно сокращать сроки выполнения ремонтных работ, продлевать ресурс их эксплуатации, экономить средства и материалы [1, 2]. Для ремонта разрушившихся деталей непосредственно на месте их эксплуатации и особенно в монтажных условиях применяют способ многослойной электрошлаковой сварки (МЭШС), который позволяет использовать несложное мобильное малогабаритное оборудование и сварочные источники питания малой мощности [3].

Трещину разделяют под сварку отдельными участками (колодцами) путем сверления отверстий диаметром 65...75 мм с шагом 80...90 мм [4]. Однако при ремонте сквозных трещин, имеющих значительные ответвления, форму разделки кромок и шаг завариваемых слоев необходимо определять в зависимости от конфигурации и размеров дефектов [5, 6]. Например, при ремонте сквозных трещин в бандажах вращающихся обжиговых печей отклонения трещины от плоскости поперечного сечения могут достигать 60...110 мм, а от радиальной плоскости — 40...100 мм (рис. 1). При этом размеры разрушившихся сечений составляют (355...500)×(900...1350) мм. Качественная разделка таких дефектов путем сверления сквозных отверстий [5] практически невыполнима, поскольку не позволяет полностью удалить дефектную область металла. Поэтому дефектный участок с трещиной удаляют механическим способом или газокислородной резкой за счет двух сквозных параллельных разрезов изделия. Расстояние между плоскостями реза выбирают таким, чтобы охватить всю область залегания трещины. Затем в образовавшийся зазор на определенном

расстоянии устанавливают стальные пластины, с помощью которых образуют отверстия прямоугольной формы [6].

Оптимальная форма разделки кромок при МЭШС должна обеспечивать устойчивое протекание процесса, максимальную производительность ремонта, требуемую глубину и ширину провара основного металла в завариваемом отверстии; гарантированное сплавление слоев многослойного шва; достижение максимального эффекта автотермообработки каждого слоя теплом, выделяющимся при наложении последующего слоя.

Расчет геометрических параметров разделки проводили на основании данных, полученных экспериментальным путем. ЭШС образцов толщиной

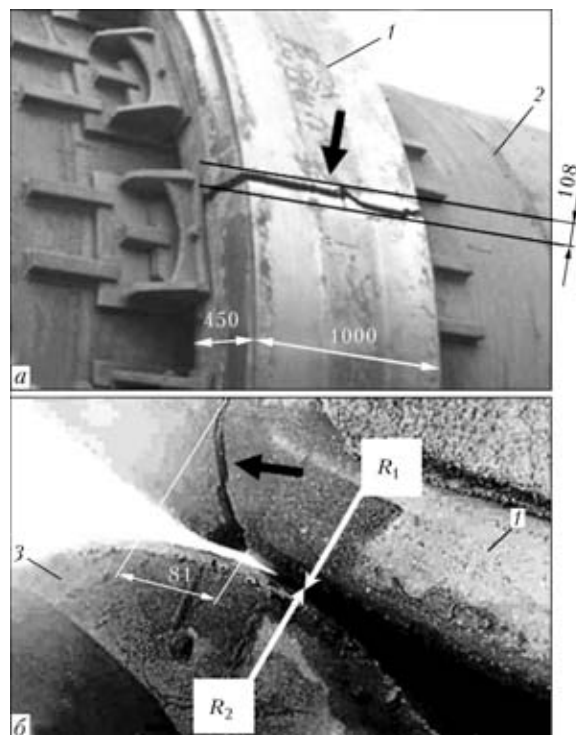


Рис. 1. Сквозные трещины в бандажах вращающихся цементных печей диаметром 5 м: а — отклонение трещины от плоскости поперечного сечения бандажа; б — отклонение от радиальной плоскости: 1 — бандаж; 2 — корпус печи; 3 — опорный ролик; R_1 — радиус поверхности катания бандажа ($R_1 = 3050$ мм); R_2 — радиус опорного ролика ($R_2 = 450$ мм)

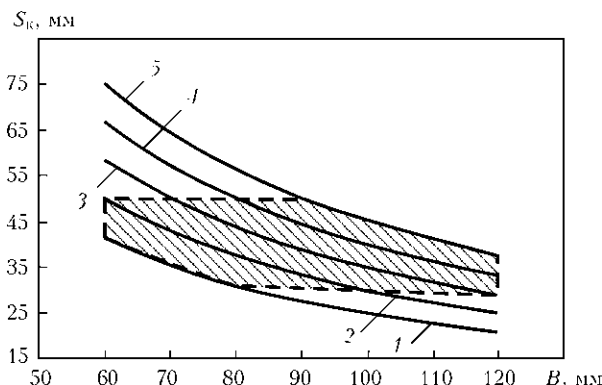


Рис. 2. Область оптимальных соотношений ширины зазора B и ширины колодца S_k для выполнения МЭШС двухэлектродным плавящимся мундштуком; 1 — $F_n = 2500$; 2 — 3000; 3 — 3500; 4 — 4000; 5 — 4500 мм²

300...620 мм из сталей 35Л и 34Л-ЭШ выполняли с использованием аппаратов А-645, А-1304, АПП 113М и источника питания переменного тока ТШС-3000-3. Применяли электродные проволоки диаметром 3 мм марок Св-08ГА, Св-10Г2 и флюс АН-8М. Отверстия, образованные установкой пластин из металлопроката, заваривали последовательно двухэлектродным плавящимся мундштуком на удельной погонной энергии $q_{св} = 70...175$ кДж/см². Поперечные макрошлифы изготавливали из темплетов, вырезанных из заваренных образцов в плоскостях, перпендикулярных многослойному сварному шву.

Опыт ремонтных работ показал, что наиболее часто ширина разделки кромок под заварку сквозных трещин составляет 60...120 мм. Значительно большая, чем при традиционной ЭШС, ширина

разделки кромок (сварочный зазор) вызвана необходимостью полного удаления металла изделия, попавшего в зону ответвления трещины.

Ширину завариваемого отверстия (колодца) S_k , образуемого путем установки формирующих пластин-проставок (перемычек), определяли как функцию двух переменных из соотношения

$$S_k = \frac{F_n}{B},$$

где F_n — площадь наплавленного металла; B — ширина сварочного зазора.

Опытные данные, приведенные в работах [3, 4, 7–10], а также дополнительно проведенные эксперименты по заварке прямоугольных отверстий ЭШС плавящимся мундштуком показали, что удовлетворительное сплавление основного металла и металла формирующих пластин-проставок достигается при разделках, имеющих площадь поперечного сечения в диапазоне 2500...4500 мм². На рис. 2 приведен график оптимальных соотношений ширины зазора B и ширины колодца S_k при выполнении МЭШС двухэлектродным плавящимся мундштуком.

Изучение поперечных макрошлифов образцов с заваренными отверстиями МЭШС двухэлектродным плавящимся мундштуком показало, что при отношении ширины разделки кромок B к ширине завариваемого отверстия S_k в диапазоне 1,1...2,4 форма провара в поперечном сечении приближается к эллипсу. На основании этого наблюдения для расчета ожидаемой формы провара при выполнении шва МЭШС составлена схема (рис. 3), из которой видно, что для получения качественного сплавления присадочного металла с кромками основного металла необходимо оптимизировать следующие параметры: локальную ширину провара кромки основного металла в завариваемом отверстии S_0 ; расстояние между осями завариваемых отверстий (шаг) t ; ширину участка повторного проплавления кромки основного металла в месте установки формирующей пластины-проставки после наложения соседнего слоя l .

Параметр S_0 характеризует часть толщины стыка, заваренной за один проход при выполнении МЭШС.

Для расчета указанных выше параметров использовали классическое уравнение эллипса [11], позволяющее определить координаты точек $M(x, y)$ и $N(x, -y)$ хорды, параллельной одному из диаметров эллипса (рис. 3), откуда

$$y = \sqrt{\left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)b^2}, \quad (1)$$

где a, b — полуоси эллипса.

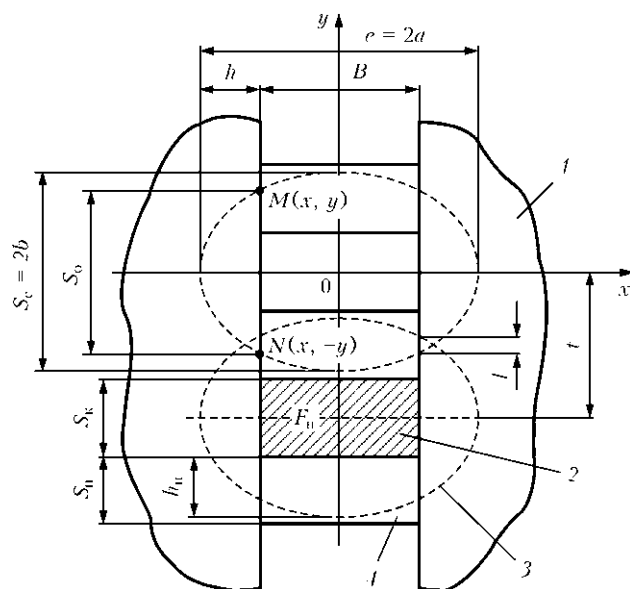


Рис. 3. Расчетная схема формы разделки кромок и провара при МЭШС: 1 — тело изделия, подлежащего ремонту; 2 — завариваемое отверстие; 3 — форма провара; 4 — перемычка (e — ширина слоя многослойного шва; S_n — толщина формирующей пластины-проставки; S_c — толщина слоя многослойного шва; остальные обозначения см. в тексте)

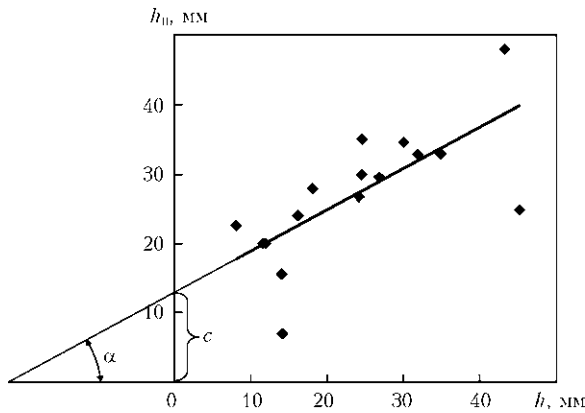


Рис. 4. Соотношение глубины провара основного металла h и металла формирующей пластины-проставки h_n при выполнении МЭШС плавящимся мундштуком

С помощью выражения (1) определяли минимально необходимую ширину провара кромки основного металла в завариваемом отверстии S_0 для заданной глубины провара основного металла h (рис. 3).

Выразив искомую величину как $S_0 = 2y$, а параметры x , a и b значениями, указанными на рис. 3, и проведя сокращения, получим

$$S_0 = 2 \sqrt{\left[1 - \frac{B^2}{B^2 + 4h(B+h)}\right] \left(\frac{S_k}{2} + h_n\right)^2}, \quad (2)$$

где h_n — глубина провара формирующей пластины-проставки.

Для уменьшения переменных параметров в формуле (2) на основании опытных данных построили график соотношения глубины провара основного металла и металла формирующей пластины-проставки (рис. 4). Аппроксимированную линию этого графика можно выразить линейной функцией [12]

$$y = mx + c, \quad (3)$$

где m — угловой коэффициент, равный $\tan \alpha$; $c = 13$ мм.

Подставив значения m и c , взятые из рис. 4, в уравнение (3) и заменив переменные значениями провара, получим выражение, характеризующее взаимосвязь глубины провара основного металла и металла формирующих пластин-проставок:

$$h_n = 0,577h + 13. \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (2), получим минимально необходимую локальную ширину провара кромки основного металла в завариваемом отверстии.

Шаг завариваемых отверстий t (см. рис. 3) должен обеспечивать га-

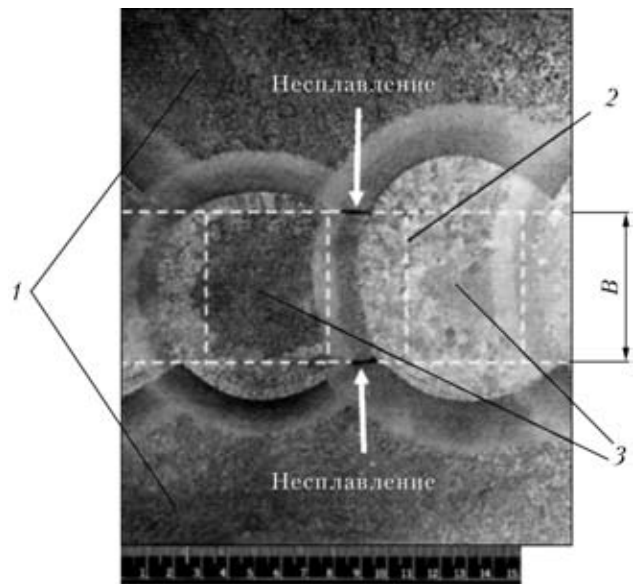


Рис. 5. Поперечный макрошлиф фрагмента многослойного электрошлакового шва с дефектами: 1 — свариваемые детали; 2 — формирующая пластина-проставка; 3 — слой шва

рантированное сплавление слоев многослойного шва (рис. 5). Для этого ширина участка повторного проплавления кромки основного металла l (см. рис. 3) теоретически должна иметь положительное значение (выше нуля). Для практических расчетов, учитывая возникающие в процессе сварки допустимые колебания параметров режима, это значение должно составлять не менее 5...8 мм.

Необходимое значение шага t определяли из схемы разделки кромок с ожидаемой формой провара (рис. 6), из которой следует, что искомое значение можно выразить через предполагаемую ширину провара кромки основного металла S_0 :

$$t = S_k + S_n = S_0.$$

Для гарантированного сплавления слоев многослойного шва должно соблюдаться неравенство $t < S_0$.

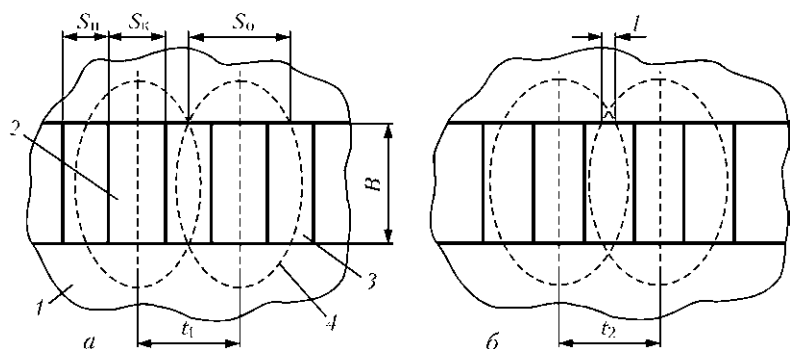


Рис. 6. Схема разделки кромок и ожидаемой формы провара при выполнении МЭШС плавящимся мундштуком: а — $l = 0$; б — $l > 0$; 1 — тело изделия, подлежащего ремонту; 2 — завариваемое отверстие; 3 — формирующая пластина-проставка; 4 — изотерма плавления; t_1 , t_2 — расстояния между осями завариваемых отверстий (шаг)



Результаты расчетных и экспериментальных значений формы разделки и глубины провара при МЭШС плавящимся мунштуком

B, мм	S _к , мм	h, мм	Номер слоя шва	Расчетные значения, мм				
				2a	2b	S _о	t	l
60	50	15	3	90	93,4	69,9	66,4	3,5
			4					
70	45	30	5	130	105,62	89,0	75,65	13,35
			3					

Окончание таблицы

Фактические значения, мм					
h	e (2a)	S _к (2b)	S _о	t	l
$\frac{15,0...17,5}{16,25}$	90	98	$\frac{76,0...77,0}{76,5}$	74	$\frac{3,4...4,2}{3,8}$
24					
$\frac{28...32}{30}$	127	112,0	91,0	73	$\frac{14,0...15,5}{14,75}$
$\frac{28,5...37,5}{33}$	140	109,0	$\frac{91,0...98,0}{94,5}$		

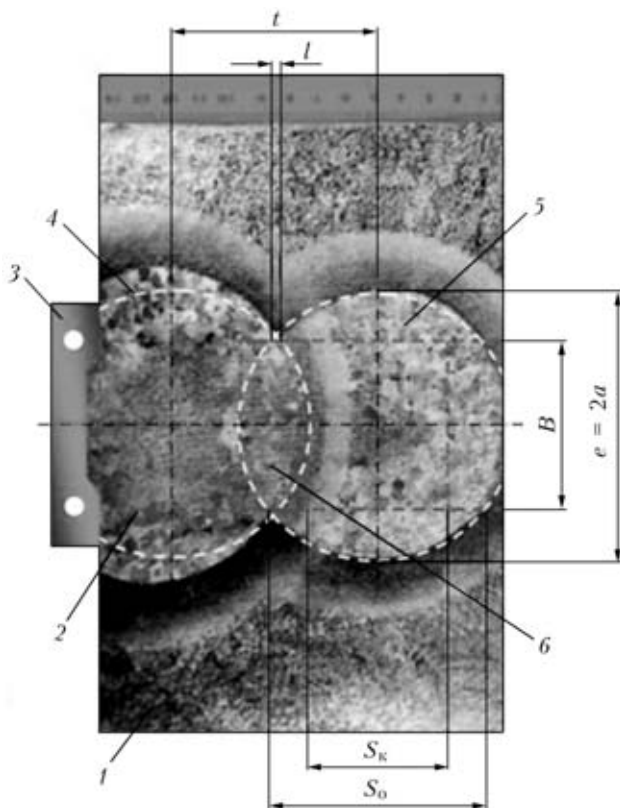


Рис. 7. Поперечный макрошлиф фрагмента многослойного электрошлакового шва: 1 — свариваемые детали образца; 2 — форма разделки кромок под МЭШС; 3 — формирующее водоохлаждаемое устройство; 4 — расчетная форма линии (зоны) сплавления; 5 — слой шва; 6 — формирующая пластина-проставка

Для того чтобы учесть указанное выше требуемое значение l , величину t можно выразить следующим образом:

$$t = kS_o, \quad (5)$$

где $k = 0,85...0,95$.

Подставив выражение (2) в (5), получим

$$t = 2k \sqrt{\left[1 - \frac{B^2}{B^2 + 4h(B+h)}\right] \left(\frac{S_k}{2} + 0,577h + 13\right)^2}. \quad (6)$$

Это выражение при выборе размеров и формы разделки кромок под МЭШС позволяет определять требуемый шаг завариваемых отверстий.

Экспериментальную проверку расчетных значений осуществляли путем проведения инструментальных замеров указанных выше параметров на сканированных фотографиях поперечных макрошлифов (рис. 7). Измерения проводили с помощью компьютерной программы «КОМПАС-3D V8».

Результаты расчетов и замеров геометрических параметров зоны проплавления сведены в таблицу.

Сравнительная оценка расчетных и фактических параметров формы и глубины провара свариваемых кромок показала следующее:

расчетные формы провара удовлетворительно совпадают с фактическими формами проплавления основного металла и формирующих пластин-проставок. Отклонение фактической линии сплавления от расчетной отмечается лишь в замыкающих (на краю стыка) слоях многослойного электрошлакового шва, что вызвано влиянием краевого эффекта [13];

фактические значения параметров зоны проплавления отличаются от расчетных не более чем на 10 %, что приемлемо для инженерных расчетов. При этом фактические значения глубины провара h , локальной ширины провара кромки основного металла S_o и ширины участка повторного проплавления кромок основного металла l несколько превышают значения этих параметров, полученных расчетным путем, что позволяет обеспечить гарантированное сплавление слоев многослойного шва для выбранной формы разделки кромок.

Таким образом, предложенная методика позволяет рассчитывать формы разделок кромок, при которых обеспечивается гарантированное сплавление слоев швов, выполненных МЭШС.

1. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
2. Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах / И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко, М. Г. Козулин, В. М. Семенов. — Киев: Наук. думка, 1989. — 112 с.
3. Сушук-Слюсаренко И. И. Электрошлаковая сварка и наплавка. — М.: ВИНТИ, 1977. — 81 с. — (Итоги науки и техники; Сер. Сварка. — Т. 9).

4. Суцук-Слюсаренко И. И., Вергела А. Г., Шевченко Н. Т. Электрошлаковая заварка трещин // Автомат. сварка. — 1969. — № 4. — С. 72–73.
 5. Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Методы восстановления бандажей вращающихся печей (Обзор) // Там же. — 2007. — № 10. — С. 40–48.
 6. Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию кристаллизационных трещин при ремонте бандажей обжиговых печей электрошлаковой сваркой // Там же. — 2010. — № 1. — С. 41–43.
 7. Irausch R., Huttenes K., Becken O. Instandsetzung eines gebrochenen Hammerbaeren mit Hilfe des Kanalschweißverfahrens // Reinstahl-Technik. — 1969. — № 3. — S. 124–133.
 8. Электрошлаковая сварка крестообразных соединений / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. М. Коваль, Л. С. Черкашина и др. — Киев, 1974. — [4] с. (Информ. письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; № 68/905).
 9. Суцук-Слюсаренко И. И., Лычко И. И. Техника выполнения электрошлаковой сварки. — Киев: Наук. думка, 1974. — 95 с.
 10. Фильченков Д. И., Мошников С. В., Козулин М. Г. Исправление дефектов литья с помощью электрошлаковой сварки // Свароч. пр-во. — 1977. — № 11. — С. 48–49.
 11. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике / Под ред. Г. Гроше и В. Циглера. — М.: Физматлит, 1980. — 976 с.
 12. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. — М.: Гостехтеориздат, 1957. — 412 с.
 13. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.
- The paper gives the results of calculation of the groove shape and penetration depth in repair of through-thickness cracks in thick products by multilayer electroslog welding.

Поступила в редакцию 02.11.2010

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

Технология восстановления деталей авиационной техники методом детонационного напыления

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана установка для детонационного напыления «Перун-С» и технология нанесения покрытий для защиты деталей от износа и коррозии, для восстановления деталей машин и оборудования в различных отраслях промышленности — авиа-, авто- и турбостроении, энергетике, нефтехимии и др.

Детонационное напыление обеспечивает получение покрытий с прочностью сцепления до 100...150 МПа при пористости менее 1 %. Одной из основных областей применения детонационного напыления является упрочнение новых и ремонт после износа различных деталей и узлов авиационной техники, в частности, упрочнение контактных поверхностей бандажных полок лопаток, лопаток компрессора, топливных форсунок и др.

Результатом применения детонационных покрытий, содержащих карбиды вольфрама и хрома, является повышение срока службы изделий в 7...12 раз. Накоплен опыт использования детонационных покрытий при восстановлении: корпуса II и III ступени газовой турбины авиационного двигателя, крышки III опоры двигателя вертолета, проставки КВД авиационного двигателя, соплового аппарата II ступени, турбины двигателя вертолета, антивибрационных полок лопаток АГТД. Одним из примеров служит восстановление изношенной поверхности монорельса закрылки ИЛ-76 после его эксплуатации с одновременным существенным повышением его износостойкости путем напыления покрытия из порошка механической смеси 35 % WC + 65 % Ni-Cr-B-Si (микротвердость слоя 10500 МПа).

Назначение и области применения: повышение износо-, жаро-, коррозионной стойкости, упрочнение или восстановление после износа различного типа деталей машин, таких как детали и узлы авиационной техники, судовая арматура, штоки гидроцилиндров, подающие ролики сварочных автоматов, узлы и деталей нефтеперекачивающих агрегатов, магнитозаписывающие устройства, торцевые кольца уплотнения горных машин и др.



Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 73
тел.: (38044) 289 21 71, 289 86 87; факс: (38044) 289 21 71



ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО УЗЛА ВРЕЗКИ ПАТРУБКОВ В СТЕНКУ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ

А. Ю. БАРВИНКО, Ю. П. БАРВИНКО, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрена работоспособность узла врезки патрубков для технологических трубопроводов и люков в нижний пояс стенки резервуаров большой вместимости для хранения нефти. Показано, что принятая в отраслевых нормах односторонняя разделка кромок отверстия для патрубков с последующей сваркой кольцевого шва с внутренней стороны стенки не может гарантировать требуемого полного проплавления. Предложено выполнять двустороннюю несимметричную разделку кромок, что существенно улучшает условия сварки и повышает качество формирования кольцевого шва.

Ключевые слова: дуговая сварка, резервуар для хранения нефти, стенка, узел врезки патрубков, односторонняя сварка, полное проплавление

По технологическим требованиям в нижнем поясе стенки вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти выполняется врезка различных патрубков для технологических трубопроводов и люков. Места врезок расположены в области стенки, которая подвергается воздействиям кольцевых и изгибающих напряжений краевого эффекта, вызванных жестким соединением стенки с днищем. С целью обеспечения необходимой работоспособности мест врезок патрубков по существующим технологическим нормам предусматривается усиление специальными накладками, при этом соединение стенки с патрубками (рис. 1, а) должно иметь полное проплавление [1, п. 3.10.1.6] и [2, п. 3.7.2.1].

Отверстия под патрубки вырезают на монтаже вручную кислородной резкой. Зазор между стенкой и патрубком в соответствии с технологическими нормами [1] должен составлять 0...3 мм. При толщине стенки резервуара 20 мм и более и односторонней сварке с указанным зазором неповоротного стыка выбрать и качественно зачистить корень такого шва абразивным кругом затруднено из-за наличия стенки патрубка и кривизны разделки. Глубина выборки корня шва с обратной стороны достигает 4...6 мм (рис. 1, б). При отсутствии действенного метода контроля и способов исправления имеющихся дефектов качество формирования шва зависит от квалификации сварщика.

Опыт эксплуатации резервуаров с конструкцией врезок патрубков, рекомендованной в [1], свидетельствует о том, что места врезок являются зонами повышенной концентрации напряжений,

и здесь может происходить зарождение и развитие трещин. На рис. 2 показано развитие трещины в кольцевом шве, выполненном на креплении уси-

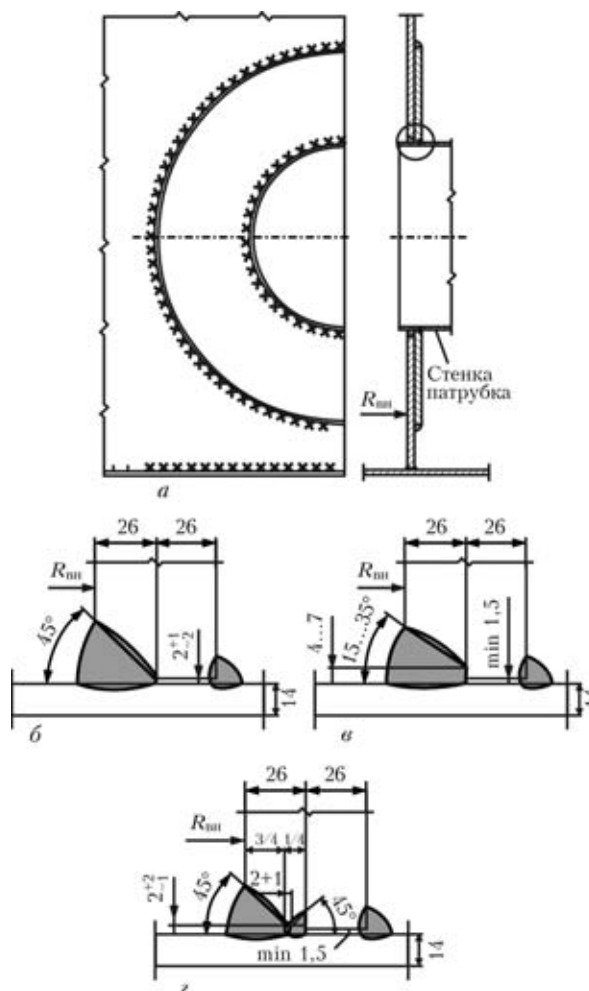


Рис. 1. Конструктивные решения узла (а, обведено кружком) соединения стенки резервуара РВС ПК вместимостью 50 тыс. м³ с обечайкой по нормам ПБ 03-605-03 (б), стандарту API 650 (в) и предлагаемое ИЭС им. Е. О. Патона (г) ($R_{вн}$ — внутренний радиус стенки)



Рис. 2. Развитие трещины в кольцевом шве, выполненном на усиливающей накладке овального люка, в резервуаре для хранения нефти из стали 09Г2С-12 вместимостью 20 тыс. м³ с толщиной стенки 16 мм

ливающей накладки к стенке толщиной 16 мм овального люка резервуара для хранения нефти из стали 09Г2С-12 РВС ПК вместимостью 20 тыс. м³. Зарождению и развитию трещины в значительной мере способствует наличие на вертикальной оси укрупнительного стыкового шва накладки. На рис. 3 представлен еще один случай разрушения кольцевого шва, выполненного при вваривании патрубка Ду 300 в стенку резервуара РВС ПК из стали типа С390 вместимостью 50 тыс. м³ с толщиной стенки 26 мм. При гидравлическом испытании через контрольное отверстие в накладке появилась течь воды. После полного спуска воды был выполнен цветной контроль кольцевого шва внутри емкости, который выявил наличие сквозных кольцевых и поперечных трещин преимущественно в нижней части шва (рис. 3). Помимо недостатков технологии сварки, существует еще ряд отрицательных факторов, которые приводят к зарождению и развитию трещин — это трудности получения полного проплавления стенки по ее толщине и особенно в корне шва.

Для улучшения условий получения шва требуемого качества в соответствии с существующими нормами [2] рекомендуется несколько иная разделка кромок отверстия стенки (см. рис. 1, в), при которой зазор между стенками резервуара и патрубком должен быть увеличен до 4...7 мм. В целях уменьшения объема наплавленного металла угол разделки выбирают равным 15...35°. Однако вваривание патрубков в стенку резервуара РВС ПК вместимостью 50 тыс. м³ показало, что увеличение зазора при уменьшении угла разделки не решает проблемы качественного проплавления кор-

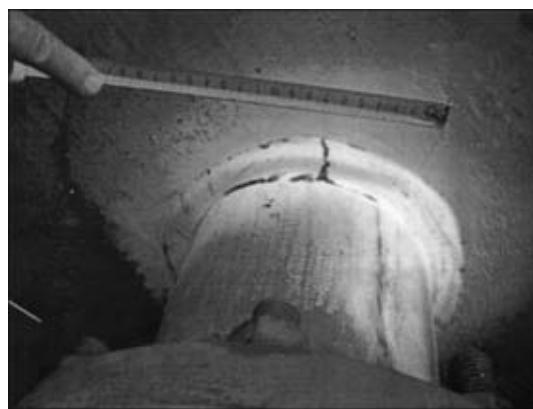


Рис. 3. Трещины в кольцевом шве при вваривании патрубка Ду 300 в первом поясе стенки резервуара для хранения нефти РВС ПК вместимостью 50 тыс. м³ с толщиной стенки 26 мм из стали типа С390

ня кольцевого шва. Так, при зазоре 5...7 мм существенно увеличивается объем наплавленного металла в корне шва, а торец корня шва снаружи имеет углубление на 3...8 мм, что не позволяет выполнить его качественную зачистку и последующую подварку. Вместе с тем на всех иллюстрациях к нормам [1, 2] нет прямых указаний о необходимости зачистки и подварки корня шва с последующим снятием усиления заподлицо со стенкой для плотной подгонки усиливающей накладки.

Анализ технических решений, предложенных в действующих нормах, по обеспечению полного проплавления стенки резервуара РВС ПК вместимостью 50 тыс. м³ при соединении ее со стенкой ввариваемых патрубков показал, что при толщине нижнего пояса более 20 мм стандартные решения не гарантируют получения кольцевого шва требуемого качества. Предлагается перейти на двустороннюю сварку кольцевого шва с разделкой кромок отверстия в стенке с двух сторон. В решении, представленном на рис. 1, з, сохранение угла скоса $\alpha = 45^\circ$ обеспечивает условия, достаточные для качественной проварки корня и заполнения разделки шва, а разделка стенки снаружи дает хороший доступ для зачистки корня и выполнения его качественной подварки. Усиление корневого шва можно удалить с помощью абразивного круга или сделать фаску на накладке.

Определенные особенности имеет и технология вваривания патрубков в нижние пояса стенки резервуаров. Главная состоит в том, что кольцевые швы выполняют в условиях жесткого контура, когда нет податливости свариваемых элементов и поперечные усадочные деформации шва должны компенсироваться пластическими свойствами металла стенки и самого шва. Для компенсации указанных деформаций действующими нормами к металлу стенки резервуара предъявляются специальные дополнительные требования: необходимое отношение предела текучести к временному соп-



ротивлению составляет $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$ [2], значение относительного сужения $\psi_z \geq 25\%$ [3], а сам кольцевой шов следует подвергать термической обработке (отпуску). При выполнении резервуара из высокопрочных сталей (типа С390 и др.) рекомендуется применять предварительный и послесварочный местный подогрев участков его стенки, прилегающих к кольцевому шву, что улучшает условия для реализации высоких пластических свойств основного металла и металла шва. Используемые сварочные материалы должны

Performance of the unit for cutting branch pipes into industrial pipelines and hatches in lower rings of walls of high-capacity oil storage tanks is considered. It is shown that one-sided grooving of holes for the branch pipes followed by circumferential welding on the inside, as specified in industry standards, cannot guarantee the required complete penetration of the wall. It is suggested that the two-sided asymmetric grooves should be made, this providing substantial improvement of the welding conditions and quality of the circumferential welds.

обеспечивать достаточную пластичность металла шва, и особенно корневых проходов.

1. *ПБ 03-605-03*. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для хранения нефти нефтепродуктов. — М., 2003. — 128 с.
2. *API 650*. Сварные стальные резервуары для хранения нефтепродуктов / Американский национальный институт стандартов FNSI/STD 650. — Введ. в мае 1993 г.
3. *ГОСТ 28870-90*. Сталь. Методы испытаний на растяжение толстолистового проката в направлении толщины. — Введ. 01.01.92.

Поступила в редакцию 18.10.2010

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

Упрочнение деталей прессоштамповой оснастки методом нанесения карбидного покрытия из расплава солей

В ИЭС им. Е.О.Патона разработана технология нанесения износостойких покрытий из карбидов ванадия и хрома на поверхность изделий из железоуглеродистых сплавов (сталей, чугуна). Твердость покрытий из карбида ванадия составляет 26...28 ГПа, из карбида хрома 16...18 ГПа. Толщина покрытий находится в пределах 5...40 мкм в зависимости от состава стали, типа карбида и условий нанесения. Основным требованием к составу стали является концентрация углерода в поверхностном слое (не менее 0,6 % в случае карбида ванадия и 0,35 % — карбида хрома).

Процесс формирования покрытия заключается в погружении детали в расплав соли, нагретый до 850...1050 °С, с выдержкой в течение 0,5...3,0 часа и позволяет совмещать процесс нанесения покрытия с безокислительным нагревом изделия под закалку. Условия охлаждения детали с покрытием (в воду или масло) и операции последующего отпуска зависят от требований к термообработке материала ее основы. Финальный этап заключается в отмывке поверхности детали в горячей воде от остатков расплава соли. Шероховатость поверхности стали с покрытием не ухудшается, если в исходном состоянии $R_a \geq 0,5$ мкм.

Технология отличается высокой экологичностью, токсичные сливные отходы и газовыделения отсутствуют, может быть реализована в условиях обычного участка термической обработки при наличии шахтной печи с рабочей температурой 1000...1200 °С.



Детали с карбидным покрытием могут эксплуатироваться при температурах в случае карбида ванадия — до 400 °С, в случае карбида хрома — до 850 °С.

Опыт практического применения данной технологии показал, что высокая твердость карбидного слоя обеспечивает повышение срока службы прессоштампового инструмента в 3...50 раз в зависимости от марки инструментальной стали и условий эксплуатации инструмента.

Дополнительным преимуществом покрытия из карбида ванадия является снижение коэффициента трения и возможность за счет этого вести процесс штамповки без смазки.

Разработанная технология найдет применение при упрочнении прессоштампового, режущего, гибочного, вытяжного и лезвийного инструмента, а также деталей машин и оборудования, работающих в условиях трения и износа, в том числе при наличии ударных нагрузок.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 73
тел.: (38044) 289 21 71, 289 86 87; факс: (38044) 289 21 71

ЭКРАНИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ СВАРЩИКА ОТ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, В. К. ЛЕВЧУК, О. Н. ТИМОШЕНКО, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены вопросы создания средств индивидуальной защиты сварщиков от магнитных полей при контактной сварке. Приведены результаты исследований защитных свойств экранирующих материалов из магнитомягких лент из аморфного сплава на основе кобальта (Co-Fe-Cr-Si-B). Разработан фартук сварщика для защиты от электромагнитных излучений.

Ключевые слова: контактная сварка, электромагнитное излучение, напряженность магнитного поля, способы защиты, защитные магнитные материалы, пермаллой и аморфные металлические сплавы, экранирующий фартук

Переменные электромагнитные поля (ЭМП) широкого частотного диапазона и электромагнитные излучения радиочастотных диапазонов являются основными факторами опасного воздействия на организм электросварщиков. Использование специальной защитной одежды могло бы дополнить известные традиционные способы защиты временем и расстоянием [1], поскольку их реализация не всегда возможна или целесообразна в связи с объемами и характером работ, выполняемых персоналом.

Основной составляющей электромагнитного фона являются низкочастотные ЭМП, которые генерируются линиями электропитания, бытовыми приборами и электрооборудованием промышленных предприятий. Известно, что электрическая составляющая низкочастотного поля легко экранируется с помощью металлических рукавов и корпусов распределительных щитов. Но экранирование магнитной составляющей ЭМП (что в полной мере относится и к сварочным процессам) является сложным техническим заданием, если речь идет об эластичных магнитных экранах для средств индивидуальной защиты (СИЗ) рабочих.

Проблемы экранирования высокочастотных магнитных полей (МП) при сварке изучали в Институте электросварки им. Е. О. Патона [2], разработаны методы расчета электромагнитных экранов [3–5]. Однако параметры прерывисто-импульсных МП, образующихся при сварке, с учетом их спектрального состава настолько сложны, что выбор для них эффективных экранов может быть осуществлен только экспериментальным путем.

Проведенные авторами экспериментальные исследования [6, 7] магнитных излучений при различных способах электросварки показали, что наиболее высокий уровень МП свойствен контактной сварке, обслуживающий персонал которой особенно нуждается в СИЗ на основе эластичных магнитных экранов. Полученные нами ориентировочные данные о необходимой эффективности защиты сварщика в рабочей зоне от МП с помощью экранирования при различных способах контактной сварки представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, максимальная эффективность экранирования должна в 7 раз снижать напряженность МП при восьмичасовом рабочем дне (частота МП составляет 0...1000 Гц). Для известных современных металлических материалов экрана, которые должны быть сплошными и отличаться достаточной эластичностью, это весьма проблематично. Однако с учетом того, что чистое

Таблица 1. Необходимая эффективность защиты от МП при контактной сварке

Способ контактной сварки	Необходимая эффективность защиты при экспозиции в течение 8 ч, раз*
Точечная:	
ручная (клещи)	6...7**
механизированная стационарная	3...4**
механизированная конденсаторная	2
Шовная	2...3**
Рельефная	2...3**
Стыковая	2...3**

* Под эффективностью защитных устройств $\mathcal{E}_3$ понимают отношение максимальной амплитудной напряженности МП H_m на рабочем месте к ее предельно допустимой величине H_d ($\mathcal{E}_3 = H_m/H_d$).

** Ориентировочное значение при сварке одним импульсом полного фазного тока длительностью до 1 с.



время процесса сварки в течение рабочего дня обычно ограничивается 5 ч эффективность экранирования можно снизить примерно в 1,3 раза. С помощью дополнительных традиционных способов защиты временем и расстоянием эффективность экранирования (для увеличения эластичности СИЗ при уменьшении толщины экранирующего слоя) можно снизить еще до 2...3 раз. Такой комплексный подход к решению проблемы электромагнитной безопасности при использовании разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона методики измерения уровней МП приносит положительные результаты.

Для разработки СИЗ от низкочастотных МП нужны материалы с большой магнитной проницаемостью ($\mu \geq 15000$) и высокой стабильностью магнитных свойств. Сложность в разработке и изготовлении защитных магнитных материалов, которые были бы эффективны как в низко-, так и в высокочастотном диапазонах МП, связана с тем, что для их создания нужно исследовать различные физические принципы работы и технологические аспекты их производства. Например, для низкочастотных (до 1 кГц) МП защитное покрытие должно быть в виде сплошной оболочки, а для высокочастотных полей, измеряемых в мега- и гигагерцах, необходимо исследовать регулярную структуру покрытия с промежутками, ширина которых определяется длиной волны экранируемого поля.

Выбор экранирующих материалов. Защитное экранирование в общем случае предназначается для защиты как от МП, так и от ЭМП. Однако универсальность этого решения не только сомнительна, но и нецелесообразна. Наиболее приемлемыми считаются экраны и покрытия, предназначенные для защиты от ЭМП и излучений определенных диапазонов частоты и амплитуды, поскольку магнитные свойства как металлических, так и аморфных материалов зависят не только от их химического состава, но и от условий их изготовления, режимов механической, термической и магнитной обработки. Путем подбора режимов обработки можно получать материалы с заданными свойствами, наиболее эффективными для ЭМП определенных диапазонов частоты и амплитуды. При разработке таких материалов и использовании их в качестве защитных экранов необходимо определить зависимость коэффициентов экранирования или магнитной проницаемости от амплитудно-частотных характеристик МП (ЭМП) и режимов их обработки, обеспечивающих максимальные значения указанных параметров на стадии производства. В первом приближении показателем экранирующих свойств выбираемого материала может быть его магнитная проницаемость.

Наиболее распространенными материалами для экранирования МП являются электротехни-

ческие стали с 2,8...3,8 % Si, изготовленные в виде лент и листов железа. Их магнитные свойства вдоль направления проката значительно выше, чем поперек (магнитная проницаемость составляет до 5000). Сталь толщиной 0,35...0,50 мм используется при МП частотой 50 Гц, а сталь меньшей толщины — при МП частотой 400 Гц и выше. Коэффициенты экранирования этих материалов не всегда удовлетворительны и зависят от режимов их предварительной термообработки. Кроме того, если в процессе изготовления деталей (например, трансформаторов) сталь подвергается даже незначительной пластической деформации (рубке, загибу), то ее магнитные свойства значительно ухудшаются.

Наиболее пригодными тонкими экранами для защиты от МП, создаваемых сварочным оборудованием, являются железоникелевые сплавы (пермаллой) и аморфные металлические сплавы с высоким содержанием кобальта [8]. Пермаллой, изготовленные в виде листов (или лент) толщиной 0,0015...2,5000 и 3...22 мм, содержат от 45 до 89 мас. % Ni. Сплавы марок 79НМ, 80НХС, 68НМП, в состав которых входит до 80 мас. % Ni (высоконикелевые пермаллои), используют в качестве магнитных экранов. Буква П в последней марке сплава информирует о прямоугольности петли гистерезиса и сильной зависимости магнитных свойств сплава от уровня внешнего МП. Пермаллои имеют высокую (до 50000) магнитную проницаемость, но очень чувствительны к механическому воздействию (наклепу). Например, магнитные свойства экрана из пермаллоя марки 79НМ после его деформирования на 10 % снижаются почти в 18 раз.

В последнее десятилетие достигнуты значительные успехи в области материаловедения, а именно, в разработке и внедрении в производство новых полимерных, композиционных и металлических материалов с уникальными физическими свойствами. Одной из перспективных разработок в этой области является создание новых магнитомягких материалов — аморфных металлических сплавов, которые характеризуются высокой магнитной проницаемостью, индукцией насыщения и имеют различное применение. При этом необходимые физические свойства у этих материалов можно достичь за счет их термической и магнитотермической обработки. Прогнозируемые изменения магнитных свойств, приемлемые механические свойства, а также постоянное уменьшение стоимости изготовления и предварительной обработки аморфных сплавов делает их перспективными при создании эластичных покрытий для защиты людей и технических средств от МП и электромагнитных излучений антропогенного происхождения.

В состав аморфных металлических сплавов, пригодных для практического применения, входят



основные металлы (железо, никель, кобальт) и аморфнообразующие примеси (фосфор, бор, кремний, углерод, алюминий). Наиболее распространенными материалами являются сплавы 85КСР и 71КНСР с высоким содержанием кобальта [9]. Аморфные металлические сплавы изготавливают в виде очень тонких (до нескольких десятков микрон) лент, что обусловлено технологией скоростной закалки (так называемого спиннингирования) расплава.

Известно, что относительная магнитная проницаемость аморфных сплавов может изменяться в широком диапазоне. Например, относительная магнитная проницаемость высококобальтового сплава (80 мас. % Со) в МП с частотой 10 кГц и амплитудной напряженностью $H_m = 800$ А/м после терромагнитной обработки в постоянном МП с напряженностью 1000 А/м при температуре 300 °С увеличивается от 120000 до 300000.

Анализ влияния уровня напряженности МП на экранирующие свойства пермаллоя и высококобальтового аморфного сплава в МП промышленной частоты (50 Гц) в зависимости от экранирующих материалов, имеющих заводскую термическую обработку, приведен в работе [10], из которой следует, что эффективность экранирования указанных сплавов значительно выше, чем у пермаллоя. Отмечено также, что при использовании одинаковых экранирующих материалов их свойства значительно повышаются с увеличением частоты МП, даже в низкочастотных МП, при этом усложняется зависимость этих свойств от амплитудных уровней последних.

Таким образом, одна из основных проблем, возникающих при разработке систем электромагнитной защиты, состоит в том, что диапазон частоты МП, в котором работают современные технические устройства, очень широк, а защитные материалы обеспечивают экранирование только в ограниченном диапазоне частоты. Как отмечалось раньше, такие материалы, как пермаллой, являются очень чувствительными к механическим воздействиям. В аморфных металлических сплавах, как правило, реализуется высокая одноосная магнитная анизотропия, однако аморфное состояние является метастабильным. В связи с этим для аморфных материалов характерен эффект старения, особенно при повышенной температуре.

Исследования, проведенные в ЦНИИ КМ «Прометей» (РФ), показали, что аморфные магнетики одной марки, но разных производителей существенно отличаются магнитными свойствами. Поскольку в Украине есть как научно-техническая, так и производственная база по производству аморфных магнетиков (Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, г. Киев, ООО «МЕЛТА», г. Киев), создание за-

щитных конструкций и одежды, аналогичных зарубежным разработкам, не всегда целесообразно.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что в настоящее время не существует универсального решения обеспечения электромагнитной защиты конкретных объектов. Принятие организационно-технических решений по электромагнитной защите требует тщательных теоретических и экспериментальных исследований процессов термической и магнитотермической обработки аморфных материалов с целью оптимизации их свойств для использования в качестве магнитных и электромагнитных экранов. На сегодня аморфные сплавы можно считать наиболее перспективными материалами для защиты технических и биологических объектов от отрицательного влияния МП и электромагнитных излучений. При разработке эластичных защитных экранов для электромагнитных устройств и защитной одежды нужно ориентироваться на магнитомягкие материалы отечественного производства.

Разработка эластичного магнитного экрана для спецодежды сварщика. При выполнении сварочных работ имеют место следующие вредные и опасные производственные факторы: искры и брызги расплавленного металла и шлака, имеющие температуру до 2000 °С, лучистая энергия от сварочной дуги различного спектрального состава и интенсивности, тепловые излучения до 84 Дж/(см²·мин) (20 кал/(см²·мин), МП напряженностью 80...10000 А/м с частотой 0...2000 Гц, запыленность и загазованность зоны дыхания сварщиков с концентрацией вредных веществ, превышающих предельно допустимую, метеорологические факторы при работе на открытом воздухе в зависимости от периода года и климатической зоны.

В соответствии с условиями труда и характером воздействия этих вредных и опасных факторов вся спецодежда для рабочих сварочного производства по общности защитных, эксплуатационных и гигиенических свойств подразделяется на пять групп. По ранее существующей классификации спецодежда для контактной сварки металла малых сечений (точечной, шовной, рельефной и стыковой) относилась к группе 3А и должна была обеспечивать защиту от МП напряженностью 80...10000 А/м (амплитудное значение) без указания частотных диапазонов. В состав СИЗ сварщика должны входить: костюм (куртка и брюки), перчатки и рукавицы, головной убор и обувь [11, 12].

Известен защитный комплект, состоящий из шапочки и короткой юбки [12], где в качестве защиты от высокочастотных электромагнитных излучений использован пермаллой марок 79НМ-I, 80НХС, 76НХД в виде тонких металлических нитей, смешанных с хлопчатобумажными нитями, которые защищают от внешних воздействий и служат электрической изоляцией. Таким образом,



в качестве экрана использовали ткань с регулярной структурой, образующей сетку с размерами ячейки $0,5 \times 0,5$ мм. Данные об экранирующих свойствах такого материала, предназначенного для защиты от низкочастотных МП с указанными выше параметрами, отсутствуют, а его эффективность весьма сомнительна.

Перед сотрудниками в ИЭС им. Е. О. Патона была поставлена задача создания защитного магнитного экрана, который мог бы служить основой защитной спецодежды сварщика с учетом современных санитарных норм магнитной безопасности. При этом следовало определиться, какое содержание вкладывается в термин «эластичность» для спецодежды. Эластичность (от греческого гибкий) — это способность конструкционного материала или изделия выдерживать при сравнительно небольших нагрузках значительные упругие обратимые деформации без разрушения. Термин «эластичность» существует наряду с термином «упругость». Эластичность достигается как за счет выбора материала (например, резины), когда она обусловлена особенностями молекулярного строения тела, так и за счет конструкции. В последнем случае большие деформации изделия возникают при малых деформациях материала. Речь идет об условном использовании термина «эластичность» применительно к композиционному материалу для спецодежды, который является по сути материалом функциональным и обеспечивает в дополнение к традиционным свойствам спецодежды еще и экранирование МП. Необходимость включения в состав материала спецодежды металлического слоя, а возможно, и дополнительных вспомогательных функциональных слоев (электроизолирующих, защитных, клеевых и др.), как правило, снижает такой показатель, как гибкость, предельное значение которой составляет $0,50 \dots 0,55$ кН для тканей, предназначенных для защитных накладок, нашивок и т. п. [13].

Ориентировочная структура материала для спецодежды должна иметь следующие составные слои части: один-два внутренних слоя магнитного экрана; два внешних электроизолирующих (при необходимости); два внешних из традиционного для данного вида спецодежды материала; два внутренних (или покрытие) технологического назначения (например, клеевых).

Известное техническое решение защищающей от МП спецодежды [9], в которой экран образуется продольными лентами из аморфного сплава с перекрытиями по ширине, благодаря чему получается сплошное защитное экранирующее покрытие ткани. Способ соединения лент между собой и с тканью в данной работе не рассматривался, но в любом случае он способствует увеличению жесткости конструкции экрана как в продольном, так и в поперечном направлениях

вследствие жесткого крепления отдельных слоев в одно целое. На наш взгляд, более перспективна конструкция эластичного магнитного экрана, состоящая из лент, которые соединяются между собой за счет их так называемого полотняного переплетения с нулевыми зазорами между полосами, расположенными в одном направлении без жесткого соединения между собой. В этом случае конструкция приобретает законченный вид без использования при сборке экрана дополнительных материалов и элементов. Она обеспечивает максимальное магнитное экранирование в двух взаимно перпендикулярных направлениях (в связи с анизотропностью магнитных свойств лент).

Необходимые защитные свойства могут быть получены за счет увеличения суммарного количества экранов в пачке или лент, переплетенных в одном экране без жесткого соединения между собой. В этом случае использование нескольких экранов из одинарных полос предпочтительнее, поскольку в результате их сборки в пакет со смещением точек и линий пересечения полос одного экрана относительно другого суммарная эффективная толщина последнего увеличивается и обеспечивается его сплошность для магнитных силовых линий при максимально возможной эластичности. Контактное соединение полос экрана и отдельных экранов между собой происходит как за счет переплетения, так и за счет упругих свойств материала и его некоторой остаточной намагниченности. С уменьшением ширины и толщины составных лент экрана его эластичность увеличивается, но одновременно возрастает трудоемкость его изготовления, что, учитывая актуальность проблемы, не является принципиальным.

Предполагается, что число плетеных экранов в пачке не будет более двух. Если двойной экран не обеспечивает достаточный уровень защитных свойств, увеличение эффективности экранирования можно достичь за счет дополнительной термомагнитной обработки лент, что повысит эффективность еще приблизительно в 2 раза. Однако механические свойства материала экрана (в частности, количество циклов на изгиб) в результате такой обработки ухудшаются. В связи с этим изначально для изготовления экранов предполагается использовать материал с минимальным (до 70 %) содержанием дефицитного кобальта и без дополнительной термомагнитной обработки.

Имеющиеся многочисленные данные о зависимости магнитных особенностей магнитномягких сплавов от уровня внешних МП и коэффициентов экранирования для материалов с разными условиями обработки носят часто противоречивый характер и нуждаются в уточнениях. Отсутствуют также надежные данные о зависимости коэффициентов экранирования низкочастотного

диапазона (0...1000 Гц) внешнего непрерывного или импульсного МП.

Экспериментальное исследование защитных свойств экранов в лабораторных условиях. Основной характеристикой защитного экрана является эффективность экранирования $\Theta_{\text{экр}}$, которая включает соотношение напряженности электрического поля E , напряженности магнитного поля H или плотности потока мощности (ППМ) в данной точке при отсутствии экрана к E_0 , H_0 или ППМ₀ в той же самой точке при наличии экрана

$$\Theta_{\text{экр}} = \frac{E}{E_0} = \frac{H}{H_0} = \frac{\text{ППМ}}{\text{ППМ}_0}.$$

Защитные свойства материалов целесообразно определять экспериментально путем измерения уровня МП за защитным экраном, как описано в работе [10]. Схема лабораторного стенда для испытания опытных образцов экранов представлена на рис. 1.

Генератор МП позволяет в первом приближении имитировать непрерывные МП со спектральным составом и интенсивностью, характерные для рабочей зоны при контактной сварке. Относительное расположение генератора, датчика МП и экрана-перегородки в экспериментах (с учетом масштабного фактора модели) можно принять произвольным, поэтому измерение напряженности исходного МП и поля за экраном проводили в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, после чего рассчитывали результирующее значение

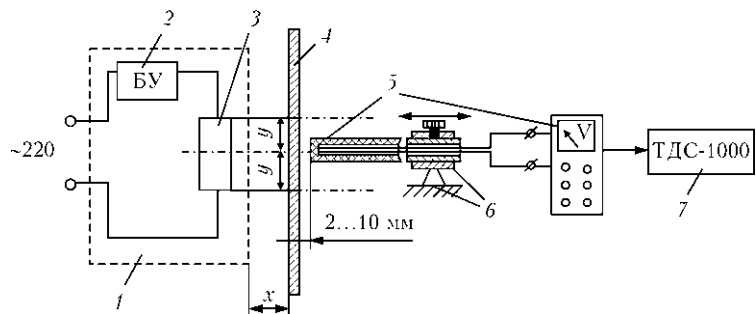


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для испытаний опытных образцов защитных экранов: 1 — генератор МП; 2 — блок управления (БУ); 3 — соленоид; 4 — исследуемый магнитный экран (эластичный); 5 — датчик магнитной индукции Холла с преобразованием; 6 — крепление датчика магнитной индукции; 7 — цифровой запоминающий осциллограф с функцией быстрого преобразования Фурье; x, y — имеют варьируемые значения

ние МП (среднее геометрическое). Отметим, что эффективность экрана-перегородки теоретически ниже, чем спецодежды в виде незамкнутого или замкнутого цилиндра. Однако с учетом того, что модельные исследования были предварительными и сравнительными, а конечная проверка эффективности экранирования проводится с образцами спецодежды в производственных условиях, этот факт не является критическим.

Экспериментально интегральную эффективность экранирования в соответствии с требованиями санитарных норм [14] определяли как

$$\Theta_{\text{экр}} = \frac{\sum H_{1mn}^2}{\sum H_{2mn}^2},$$

где H_{1mn} , H_{2mn} — амплитудная напряженность соответственно исходного МП и после экрана. При этом учитывалось, что расстояние между

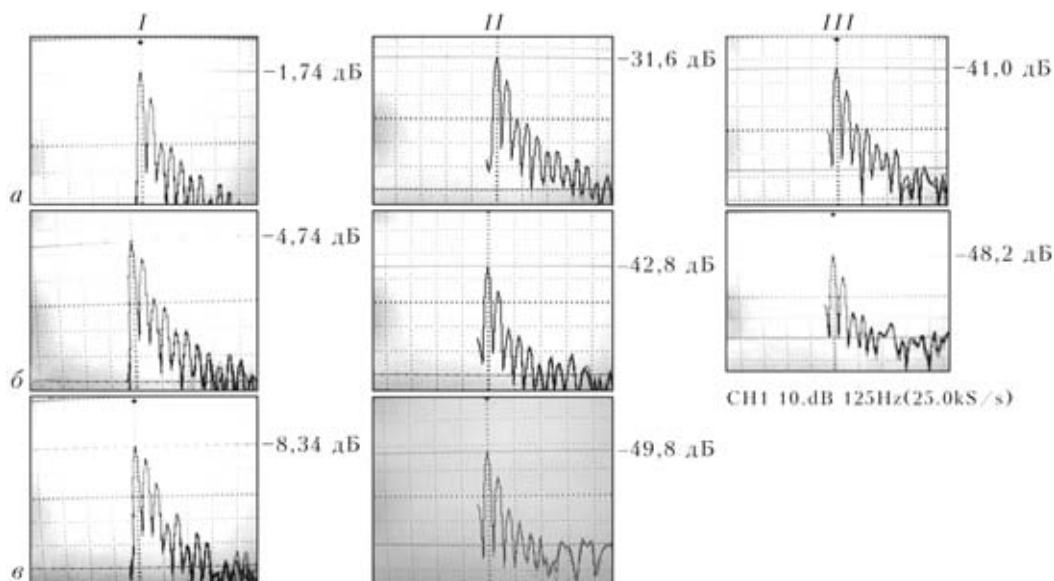


Рис. 2. Характер ослабления выходного МП экспериментальными экранами: a — ручная точечная сварка, $H_m = 14000$ А/м (по основной гармонике 50 Гц); $б$ — точечная сварка на стационарных машинах, $H_m = 420$ А/м; $в$ — рельефная, шовная, стыковая сварка, $H_m = 150$ А/м; I–III — соответственно без экрана, с одинарным и двойным экранами



Таблица 2. Ожидаемая эффективность экспериментальных эластичных экранов при основных способах контактной сварки

Способ контактной сварки	Эффективность защиты экрана с плотняным переплетением лент, раз	
	однослойного	двухслойного
Точечная:		
ручная (клещи, пистолеты)	1,2	2,0
механизированная стационарная	14,4	26,0
Шовная		
Рельефная	4,4	18,4
Стыковая		

плоскостью датчика и экраном, равное 2...10 мм (см. рис. 1), отвечает реальному промежутку между телом человека и экранирующей спецодеждой [15].

На спектрограммах (рис. 2) МП различных интенсивностей показан характер дифференциального ослабления каждой гармонике МП незамкнутыми экспериментальными одинарным и двойным экранами из лент аморфного металлического сплава ММ-5Co (Co-Fe-Br-Si) шириной $b = 27,5$ мм и толщиной $\delta = 0,0225$ мм, собранными с помощью плотняного плетения. Причем при малых расстояниях между экраном и датчиком напряженность МП в каждой из точек, расположенных вдоль полос экрана, периодически незначительно изменяется, достигая минимума непосредственно под полосами. Поэтому напряженность МП определялась как среднее арифметическое из трех значений напряженности, измеренных непосредственно под полосами одно- ($\delta = 0,045$ мм) и двухслойного ($\delta = 0,09$ мм) экрана, а также по середине между смежными полосами разного направления (соответственно $\delta = 0,0225$ и $0,045$ мм) и в узловых точках переплетения (соответственно $\delta = 0$ и $0,045$ мм).

Предварительные результаты лабораторных исследований (табл. 1, 2) показывают, что экспериментальные экраны имеют определенный резерв эффективности экранирования при работе в МП, подобных полям, которые образуются при рассмотренных способах контактной сварки, за исключением ручной точечной сварки с напряженностью МП $H_m > 1000$ А/м (по основной гармонике 50 Гц). При работе на машине для контактной сварки с ручным инструментом (клещами) эффективность экранирования МП с помощью данного экрана не обеспечивает требуемой защиты сварщика.

Сравнение данных табл. 1 и 2, а также общие соображения, изложенные в настоящей работе, позволяют сделать выбор в пользу однослойного экрана с плотняным переплетением лент.



Рис. 3. Опытный образец защитного фартука сварщика без подкладки (вид с обратной стороны)

Таким образом, экранирующий слой в спецодежде из магнитомягких лент аморфных металлических сплавов на основе кобальта (Co-Fe-Cr-Si-B) украинского производства при достаточной механической функциональности в основном может обеспечить необходимый уровень защиты сварщика в ближней рабочей зоне при использовании изделия в виде эластичного незамкнутого экрана в МП средней напряженности ($H_m \leq 500$ А/м по основной гармонике 50 Гц) в диапазоне частоты 500...1000 Гц.

На основе выполненных исследований изготовлен функциональный образец защитного фартука для сварщика (рис. 3) [16] при работе на стационарных машинах для контактной сварки с вертикальным расположением электродов (точечной, шовной, рельефной, конденсаторной и др.). Испытания экранирующего фартука в производственных условиях при точечной сварке на машине МТ-2202 показали результаты, аналогичные полученным при лабораторных экспериментах.

1. Левченко О. Г., Левчук В. К. Электромагнитная безопасность в сварочном производстве // Сварщик. — 2008. — № 3. — С. 50–53.
2. Письменный А. С. Высоочастотная сварка металлических изделий / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2008. — 178 с.
3. Аполлонский С. М. Расчет электромагнитных экранирующих оболочек. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 144 с.
4. Аполлонский С. М. Справочник по расчету электромагнитных экранов. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 223 с.
5. Пентегов И. В., Тарасенко О. А. Расчет эффективности экранирования плоскими экранами // Техн. электродинамика. — 1983. — № 2. — С. 8–12.
6. Левченко О. Г., Левчук В. К. Гігієнічна оцінка магнітних полів на робочих місцях при застосуванні дугового зварювання металоконструкцій // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. — К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, 2006. — С. 390–395.
7. Левченко О. Г., Левчук В. К. Безопасный уровень напряженности электромагнитного поля при контактной сварке // Автомат. сварка. — 2008. — № 5. — С. 46–55.
8. Богородицкий Н. П., Пасыков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 301 с.
9. Пат. RU 2274914 Россия, МПК G 12 B 17/02. Магнитный и электромагнитный экран / П. А. Кузнецов, Б. В.

- Фармаковский, А. Ю. Аксинази и др. — Оpubл. 20.04.2006.
10. *Запорожець О. І., Лук'янчиков А. В., Глива В. А.* Оцінка захисних властивостей магнітом'яких матеріалів // Пробл. охорони праці в Україні. — 2007. — Вип. 14. — С. 53–60.
 11. *ДСТУ EN 470-1–2003.* Одяг захисний, що його використовують під час зварювання та інших високотемпературних процесів. Ч.1. Загальні вимоги. — Чинний з 01.07.2004.
 12. *Средства индивидуальной защиты работающих на производстве:* Каталог-справочник. — М.: Профиздат, 1988. — 175 с.
 13. *Новые ткани и материалы для специальной одежды.* — М.: Всесоюз. ин-т ассортимента изделий легкой промышленности и культуры одежды, 1975. — 69 с.
 14. *ДСН 3.3.6.096–2002.* Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. — К.: МОЗ України, 2002. — 16 с.
 15. *Защита от действия электромагнитных полей и электрического тока в промышленности.* — М.: Всесоюз. центр. науч.-исслед. ин-т охраны труда, 1973. — 100 с.
 16. *Пат. UA 50293 Україна, МПК G 12 B 17/00.* Фартух електрозварника / Л. М. Лобанов, О. Г. Левченко, В. К. Левчук та ін. — Оpubл. 25.05.2010.

Issues related to development of means for individual protection of welders from magnetic fields in resistance welding are considered. Investigation results on protective properties of screening materials made from magnetically soft strips of amorphous cobalt-base alloy (Co-Fe-Cr-Si-B) are presented. An apron has been developed to protect welders from electromagnetic radiations.

Поступила в редакцию 15.10.2010,
в окончательно варианте 13.11.2010

НОВЫЕ КНИГИ

Сварочные материалы: Сб. ст. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2011. — 240 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм.

В сборнике представлены статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2006–2010 гг., по широкому спектру проблем, связанных с разработкой, производством и применением различных видов сварочных материалов (покрытые электроды, сплошные и порошковые проволоки, ленты, флюсы, припой и др.). Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области сварочных материалов.

Сборник предназначен для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и инженеров, занимающихся проблемами создания и применения сварочных материалов.

Концентрированные источники для сварки. Электронный луч. Лазер. Плазма. Сб. ст. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2011. — 250 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм.

Сборник объединяет статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2006–2010 гг., по электронно-лучевой, лазерным, плазменным и гибридным способам сварки, наплавки, нанесению покрытий. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области разработки и применения технологий, использующих концентрированные источники нагрева.

Сборник предназначен для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и инженеров, занимающихся проблемами сварки, наплавки, пайки и нанесения металлических (и неметаллических) покрытий.

Заказы на книги просьба направлять в редакцию журнала:

тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-54-84, e-mail: journal@paton.kiev.ua.

Книги реализуются в печатном виде (доставка заказной бандеролью)

и в электронном виде в *.pdf формате

(отправка по электронной почте с закрытием оплаты по акту выполненных работ).



КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В ИЭС им. Е. О. ПАТОНА

В середине 1970-х годов возникла идея организовать Киевское отделение Московского физико-технического института (МФТИ). Толчком послужила базовая кафедра МФТИ, которая уже существовала в Институте кибернетики АН УССР под руководством академика АН УССР В. М. Глушкова. Идея возникла в связи с необходимостью подготовки специалистов в области прикладной физики и математики, которая ранее в Украине не проводилась. Кроме того, привлекала система обучения Физтеха: маленькие группы по типу американских университетов (Гарвард, Стэнфорд, МИТ) и высокий уровень лекторов (элита физиков и математиков), особые программы подготовки студентов (V, VI курсов) на базовых кафедрах в ведущих институтах АН СССР и отраслевых научных центрах.

Документы, подписанные академиком, Президентом АН УССР Б. Е. Патонем и академиком АН РФ О. М. Белоцерковским, ректором МФТИ, определили структуру и условия работы Киевского отделения.

На базе созданного Физико-технического центра (ФТЦ) были организованы три кафедры и определено шесть институтов, участвующих в подготовке студентов: Институт кибернетики, Институт электросварки им. Е. О. Патона, Институт проблем материаловедения, Институт металлофизики, Институт физиологии и Институт физической химии.



Заведующий кафедрой физической металлургии и материаловедения академик Б. Е. Патон и заместитель заведующего кафедрой академик НАНУ Г. М. Григоренко

Студенты предоставляют такие же документы, как и во все другие вузы. Ежегодно выездная приемная комиссия МФТИ осуществляет в Киеве целевой набор студентов в Киевское отделение МФТИ, в том числе и на факультет аэрофизики и космических исследований (базовая кафедра — Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины). Все расходы за обучение студентов в МФТИ возложены на НАН Украины.

При зачислении в целевые группы абитуриенты и один из родителей подписывают контракт, главным пунктом которого является обязательное возвращение после четырех лет обучения в Киев для завершения образования на V, VI курсах на соответствующих базовых кафедрах. В противном



Заседание кафедры с участием студентов, аспирантов и сотрудников Института электросварки им. Е. О. Патона (слева направо) сидят: зам. зав. кафедрой академик НАНУ Г. М. Григоренко, академик Б. Е. Патон, методист Л. Н. Соловей, кандидаты техн. наук В. Ф. Грабин и А. Е. Марченко, д-р техн. наук О. Д. Смилян, академик НАНУ В. И. Махненко, кандидаты техн. наук Я. П. Грыцкий и В. Ю. Орловский; стоят: выпускники кафедры доктора техн. наук Г. В. Жук, С. В. Ахонин, кандидаты техн. наук А. С. Котельчук, А. Ф. Белявин, В. А. Костин, аспиранты В. С. Синюк, С. Б. Сухоруков, И. Л. Семенов, кандидаты техн. наук А. В. Игнатенко, В. В. Савицкий и А. С. Миленин, д-р техн. наук О. В. Махненко



случае студент обязан возместить ФТЦ затраты на обучение за четыре курса.

Занятия студентов I–IV курсов (бакалаврат) проходят в МФТИ по единым программам (г. Долгопрудный Московской обл.), V и VI курсов — в Киеве (магистратура) и продолжаются на базовой кафедре Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины по разработанным для каждого курса программам.

Студенты, обучающиеся на базовой кафедре в Киеве, проживают в аспирантских общежитиях НАН Украины, расположенных, по возможности, вблизи базовой кафедры. Стипендию студенты базовых кафедр получают на общих основаниях, согласно действующему законодательству Украины. По окончании учебы и защиты квалификационной магистерской работы студенты Киевского отделения МФТИ получают диплом МФТИ по единому направлению подготовки (специальности) «Прикладные математика и физика» и им присваиваются образовательно-квалификационные уровни бакалавра (I–IV курсы) и магистра (V–VI курсы).

Вступительные экзамены проводятся с 1–7 июля по таким предметам: математика (письменно); физика (письменно); консультации и тестирование по русскому языку.

Члены сборных команд Украины, участвующие в международных олимпиадах школьников по физике, математике и информатике в 2010 г., а также победители всеукраинских олимпиад 2010 г. по физике и математике (IV этап) и получившие дипломы I–III степени, освобождаются от сдачи экзаменов по физике и математике. При подаче документов они сдают оригиналы аттестата и диплома победителя олимпиады.

С первых дней базовую кафедру физической металлургии и материаловедения факультета аэрофизики и космических исследований возглавил директор института академик Б. Е. Патон.

В создании учебных программ в Институте электросварки им. Е. О. Патона принимали участие не только преподаватели кафедры, но и ведущие ученые. В настоящее время на кафедре читают следующие курсы:

металлургические и технологические основы сварки. Отдельные разделы программы этого курса были созданы профессором И. И. Фруминым и академиком НАНУ К. А. Ющенко. Уже много лет этот курс читает канд. техн. наук Анатолий Ефимович Марченко;

современные методы исследования состава, структуры и свойств материалов читает канд. техн. наук Ярослав Петрович Грыцкий;

специальная электрометаллургия. Этот курс создал и ведет с самого начала и по сегодня бессменный заместитель заведующего кафедрой, тог-

да еще канд. техн. наук, а сейчас академик НАНУ, заведующий отделом института Георгий Михайлович Григоренко;

прочность сварных соединений и конструкций. Курс ведет академик НАНУ, д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом института Владимир Иванович Махненко;

сварочное металловедение. Курс был создан ветераном института канд. техн. наук Владимиром Федоровичем Грабиным. В настоящее время его читает канд. техн. наук Светлана Георгиевна Григоренко;

концентрированные источники энергии. Эту дисциплину читали д-р техн. наук Г. И. Лесков, затем д-р техн. наук В. С. Гвоздецкий и д-р физ.-мат. наук В. С. Швачко. В настоящее время этот курс читает д-р техн. наук Олег Дмитриевич Смиян;

специальный лабораторный практикум проходит в лабораториях института. В разное время к его проведению привлекались канд. техн. наук Ю. И. Фадеенко, д-р техн. наук Ю. И. Помарин, Л. Н. Соловей, канд. техн. наук В. Ю. Орловский. В настоящее время практикум ведет канд. техн. наук Я. П. Грыцкий.

Безусловно, с приходом каждого нового преподавателя учебные программы перерабатывались и дополнялись.

Бессменным методистом кафедры с 1982 г. является Л. Н. Соловей, которая занимается всеми организационными вопросами и документацией. В первые годы работы кафедры ей активно помогал канд. техн. наук Ю. И. Фадеенко. Сейчас должность методиста с Л. Н. Соловей делит канд. филос. наук И. А. Моссоковская.

Дипломные работы, а теперь магистерские диссертации в основном выполняют в Институте электросварки, иногда и в других институтах Национальной академии наук (Институте ядерных исследований, Институте металлофизики, Физико-технологическом институте металлов и сплавов, Институте теоретической физики, Институте кибернетики и др.). Обучение студентов проходит в лабораториях и инженерных центрах института на современном и оригинальном оборудовании, в том числе и на оборудовании, разработанном в институте и защищенном патентами. Это плавильные и сварочные агрегаты с использованием концентрированных источников энергии (не только лабораторные, но и промышленные образцы).

Для исследований используют электронную, растровую и просвечивающую микроскопию, рентгеновские микрозонды, Оже- и масс-спектрометрию, рентгеноструктурный и термический анализ, машины и системы для механических испытаний и имитации термомеханического состояния. Большинство приборов компьютеризировано.



Институт электросварки им. Е. О. Патона имеет свою компьютерную сеть, включающую более 500 компьютеров, связанную с интернетом. Собственная библиотека насчитывает более 500 тысяч единиц научной литературы.

Наиболее часто студентов распределяют на научно-инженерную и магистерскую работу в отделы института, где руководителями являются следующие ученые:

академик НАНУ *Игорь Константинович Походня*, отдел физико-химических процессов в сварочной дуге;

академик НАНУ *Леонид Михайлович Лобанов*, отдел оптимизации сварных конструкций новой техники;

академик НАНУ *Владимир Иванович Махненко*, отдел математических методов исследования физико-химических процессов;

академик НАНУ *Георгий Михайлович Григоренко*, отдел физико-химических исследований материалов;

чл.-кор. НАНУ *Игорь Витальевич Кривцун*, отдел физики газового разряда и техники плазмы;

д-р техн. наук *Николай Петрович Тригуб*, отдел металлургических процессов в вакууме и техники электронно-лучевой плавки;

чл.-кор. НАНУ *Валерий Иванович Кирьян*, отдел прочности сварных конструкций;

д-р техн. наук *Виктор Александрович Шаповалов*, отдел плазменно-шлаковой металлургии.

Первый набор студентов осуществлен в Киеве в 1978 г., а первый выпуск инженеров-физиков МФТИ состоялся в 1984 г. С 1984 по 2010 гг. было 27 выпусков, а в 2008 г. — юбилейный 25-й. За эти годы в Институте электросварки им. Е. О. Патона подготовлено 130 инженеров-физиков и магистров. Среди выпускников 10 кандидатов технических наук, 2 кандидата физико-математических наук, 3 доктора технических наук, 2 доктора философии (США), один доктор-инженер

(Германия). Один выпускник удостоен звания лауреата Государственной премии Украины.

В настоящее время в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины работает 10 выпускников МФТИ.

Базовая кафедра физической металлургии и материаловедения приглашает к сотрудничеству талантливую молодежь. Наши двери всегда открыты для тех, кому интересно исследовать и познавать новые грани науки, кому не безразлично будущее нашей науки, нашего государства.

В мире науки еще столько не познанного, а значит, будущее за Вами, молодыми и талантливыми учеными. В свою очередь Институт электросварки им. Е. О. Патона будет всячески способствовать Вашему стремлению к знаниям и открытиям.

Более подробную информацию о приеме документов, а также условиях, датах и адресах экзаменов абитуриенты могут получить:

ФТЦ НАН Украины: 03680, г. Киев-142, бульв. Вернадского, 36. Директор чл.-кор. НАНУ Валентин Тихонович Черепин. Зав. учеб. частью Антонина Александровна Голушко.

Тел.: (044) 424-30-25, факс: (044) 424-82-50.

E-mail: ftc@imp.kiev.ua.

Институт электросварки им. Е. О. Патона, кафедра физической металлургии и материаловедения: 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. Зав. кафедрой — академик Борис Евгеньевич Патон. Зам. зав. кафедрой — академик НАНУ Георгий Михайлович Григоренко. Методисты — Людмила Николаевна Соловей, Ирина Анатольевна Моссоковская.

Тел.: (044) 271-22-44, факс: (044) 287-23-66.

E-mail: office_22@ukr.net.

<http://www.paton.kiev.ua>.



СЪЕЗД МЕЖДУНАРОДНОГО ИНСТИТУТА СВАРКИ

С 17 по 21 января 2011 г. в Париже проходил промежуточный съезд Международного института сварки. В его работе приняли участие около 200 делегатов из 50 стран-членов МИС. Программа предусматривала собрание рабочих групп и комиссий, входящих в состав института. Состоялось очередное заседание редколлегии журнала «Welding in the World», были проведены также совещания руководящих советов Международного комитета по аккредитации (IIW-IAB) и Комитета технического управления (IIW-TMB). В роли принимающей организации традиционно выступил Институт сварки Франции.

Основное время было отведено работе Международного комитета по аккредитации. Его основная деятельность связана с разработкой, внедрением и совершенствованием программ обучения и аттестации сварочного персонала разных уровней, а также процедурами сертификации персонала и производства. Активное участие в его работе приняли представители учебных и аттестационных заведений, а также центров по сертификации из разных стран. В рамках работы комитета прошли заседания рабочих групп А «Образование, обучение и квалификация» и В «Внедрение и аккредитация», в ходе которых обсуждались вопросы пересмотра программ подготовки персонала различных уровней, требований к кандидатам на обучение и преподавателям. Были также заслушаны результаты проверок, проведенных за последние полгода командой аудиторов под руководством Т. Джессопа (Великобритания).

Впервые было проведено собрание, посвященное особенностям работы гармонизированной базы — интернет-ресурса с наборами вопросов для проведения письменных экзаменов. На сегодня использование базы обязательно только для аттестации международных сварщиков и инженеров, однако в дальнейшем планируется проведение таких экзаменов для всех категорий персонала, что обеспечит гармонизацию не только учебного процесса, но и самой процедуры аттестации. Требования к наборам вопросов зафиксированы в руководящих документах МИС и учитывают не только длительность экзамена и указанные в учебной программе ожидаемые результаты, но и соотношение учебных часов по тому или иному разделу с количеством и уровнем сложности относящихся к нему вопросов. В разработке и отладке базы активное участие принимают представители Украины, что неоднократно было отмечено руководителями рабочих групп.

Отдельно был поднят вопрос о необходимости введения новых категорий в схему подготовки пер-



сона сварочного производства. Теперь наряду с рабочими (Международный сварщик), конструкторами (Международный дизайнер сварных конструкций), координаторами сварочных работ (Международный инженер, технолог, специалист, практик) и персоналом по обеспечению качества (Международный инспектор) введена категория координаторов по технике безопасности и охране окружающей среды. Эта тема была затронута также на заседаниях комиссий С-XIV «Обучение и подготовка кадров» и С-VIII «Охрана здоровья и окружающей среды». Результатом дискуссий стало создание совместной подгруппы упомянутых выше комиссий. Первоначальной задачей ее станет формирование перечня обязанностей и требований к представителям новой категории персонала. Планируется привлечение к работе над документом членов рабочей группы WG-STAND «Стандартизация».

Летом 2010 г. в ходе 63-й Ежегодной ассамблеи Международного института сварки было создано «Общее собрание» членов Международного комитета по аккредитации с целью усиления роли национальных делегаций в его деятельности, вплоть до выборов членов руководящего совета. Очередное заседание Общего собрания было проведено в ходе январского съезда МИС. Основным итогом стало формирование рабочей группы, задачей которой является стратегическое планирование работы и путей развития комитета. В состав группы вошли делегаты от Германии, России, Китая, Индии, Финляндии, Румынии, а также представители руководящих подразделений МИС. Отдельное внимание в ходе собрания было уделено утверждению процедуры публичных выборов председателя комитета IIW-IAB, так как в 2011 г. такое мероприятие планируется провести впервые.

Е. П. Чвертко, инж.

ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ И ОРГАНИЗАТОР НАУКИ (к 100-летию со дня рождения М. В. Келдыша)

Мстислав Всеволодович Келдыш — выдающийся ученый, организатор науки, человек, объединивший усилия многих коллективов на решение глобальных проблем научно-технического прогресса, возглавивший важнейшие направления развития космической науки, энергетики, систем управления.

После окончания в 1931 г. физико-математического факультета Московского государственного университета работал в Центральном аэрогидродинамическом институте им. Н. Е. Жуковского, где благодаря природному таланту, любознательности, эрудиции, энергии и фантастической работоспособности выполнил ряд блестящих исследований по механике, математике и аэрогидродинамике.

Работы по движению тел под поверхностью жидкости, обтеканию тел жидкостью, колебаний и автоколебаний конструкций и другие сыграли большую роль в разработке новой техники, в том числе авиации в период Великой Отечественной войны. Он решил такие актуальные для самолетостроения задачи, как проблемы флаттера и шимми — вибраций, из-за которых самолеты гибли в воздухе и даже на земле, когда набирали скорость для отрыва.

С 1953 г. М. В. Келдыш стал директором Института прикладной математики АН СССР. Ему принадлежит основополагающая роль в создании в

послевоенные годы фундаментальных научных направлений — вычислительной математики, ядерной энергетики, космических исследований. М. В. Келдыш формировал комплексные программы по изучению космического пространства, руководил их выполнением, занимался проблемами динамики и управления полетами космических аппаратов. Новые методы расчетов и вычислительная техника резко ускорили решение принципиально важных проблем научно-технического прогресса, в частности, использования ядерной энергии в мирных и оборонных целях.

В 1961 г. М. В. Келдыш возглавил Академию наук СССР и проявил себя как крупнейший организатор науки. Под его руководством углубилась специализация научно-исследовательских учреждений, были определены стратегия исследований, соотношение между фундаментальными и прикладными направлениями. М. В. Келдыш систематически выезжал в республиканские научные центры и внимательно изучал работу институтов, быстро и точно определял уровень достижений, схватывал суть проблемы, ставил перед учеными перспективные задачи. Заинтересовавшись новой прогрессивной разработкой, М. В. Келдыш вникал в мельчайшие детали, выдвигал встречные идеи и намечал пути их решения. Все, за что брался, он доводил до конца, какой бы области знаний это не касалось.

Работы ученых Украины в решении проблем материаловедения занимали одно из ведущих мест в мире. С их достижениями М. В. Келдыш внимательно знакомился по публикациям, отчетам. В то время в ИЭС им. Е. О. Патона впервые в мире было создано несколько новых технологий соединения металлов, которые начали применяться в ракетостроении и энергетике, в том числе и атомной. Расширилось участие ИЭС в решении проблем новых областей техники. Особенности развития авиационной и ракетно-космической техники, электроэнергетики, электроники определили основные направления в усовершенствовании способов изготовления конструкций с использованием сварки, пайки и родственных технологий. Благодаря этим технологиям специалистам удалось создавать рациональные конструкции, работающие в экстремальных условиях.

16 мая 1964 г. М. В. Келдыш посетил ИЭС им. Е. О. Патона. С патоновской научной школой его роднило непременно соединение фундаментальных исследований с решением конкретных прикладных



М. В. Келдыш знакомится с технологией производства и монтажа резервуаров с использованием метода рулонирования

ладных задач. В институте он ознакомился с принципом изготовления крупногабаритных листовых конструкций с применением автоматической сварки в цехах, свертыванием их до транспортабельных размеров, перевозкой и развертыванием на монтажных площадках. М. В. Келдыш заинтересовался идеей изготовления с помощью сварки толстостенных сосудов высокого давления многослойными из сравнительно тонких листов. Он высоко оценил исследования дуговых процессов сварки с использованием ЭВМ, решения по механизации производства стальных конструкций в монтажных условиях, улучшения качества сварки цветных металлов и специальных сплавов, что было крайне необходимо для изготовления новых инженерных сооружений. Привлекли его внимание достижения по созданию новых видов пайки и припоев для использования в производстве вычислительной техники, приборов и аппаратов управления. С решениями задач улучшения эксплуатационных качеств сталей, свариваемости специальных высокопрочных сталей гостя ознакомил А. М. Макара, а с электрошлаковыми процессами — Б. И. Медовар. В отделе электронно-лучевых процессов Б. А. Мовчан продемонстрировал М. В. Келдышу сварку ниобия и других тяжелосваривающихся металлов и сплавов, а также технологию и оборудование для получения износостойчивых и жаростойких покрытий путем напы-

ления. Эти работы внедрялись в атомной энергетике, производстве турбин и ракетных двигателей.

Необходимо отметить, что и в последующие годы М. В. Келдыш продолжал интересоваться развитием продемонстрированных ему разработок и их внедрением.

Свидетельством признания М. В. Келдышем того, что АН УССР заняла передовое место в решении проблем материаловедения и внедрении новых технологий стало его предложение назначить Президента АН УССР академика Б. Е. Патона Председателем Научного совета по проблеме «Новые процессы получения и обработки металлических материалов» при Президиуме АН СССР.

М. В. Келдыш продолжал участвовать в решении сложных проблем научно-технического прогресса и после того, как по болезни в 1975 г. оставил пост Президента АН СССР.

Труд М. В. Келдыша был высоко оценен — он трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и государственных премий, кавалер многих орденов и медалей Советского Союза и ряда других стран. Был избран членом многих академий, почетным доктором ряда университетов мира. После его смерти в 1978 г. АН СССР учредила медаль имени М. В. Келдыша.

Редакция

И. И. ЗАРУБЕ — 90



В марте исполнилось 90 лет Игорю Ивановичу Зарубе, ведущему научному сотруднику Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственной премии СССР, известному ученому в области электрофизических проблем дуговой сварки и

сварочных источников питания.

И. И. Заруба в 1945 г. окончил Киевский политехнический институт, где получил квалификацию инженера-электрика по специальности «Электрооборудование промышленных предприятий». С 1946 г. его трудовая и научная деятельность связана с ИЭС им. Е. О. Патона, где он прошел путь от аспиранта до заведующего научным отделом.

И. И. Заруба выполнил ряд научных исследований по изучению условий устойчивости сварочных дуг и систем «источник питания—сварочная дуга», особенностей массопереноса в низкотемпературной плазме дугового разряда и управления им. Разработал теоретические основы процесса и является одним из создателей способа механизированной

сварки в углекислом газе с короткими замыканиями дугового промежутка тонкой электродной проволокой (диаметром до 2 мм) от источников питания постоянного тока с жесткими внешними характеристиками, которые широко используются в современной сварочной технике. Именно этому процессу была посвящена кандидатская диссертация И. И. Зарубы, которую он защитил в 1954 г. При непосредственном участии И. И. Зарубы были созданы новые типы источников питания сварочной дуги, разработаны методы испытаний и оценки их сварочных свойств. Эти работы являются существенным вкладом в развитие сварочной науки и техники. Разработанные с его ведущим участием сварочные станки-автоматы для изготовления изделий из тонколистовой стали нашли широкое применение в промышленности.

С 1954 г. в течение более восьми лет И. И. Заруба работал ученым секретарем Института электросварки им. Е. О. Патона. С его участием в 1959 г. был организован первый квалификационный ученый совет института, членом и ученым секретарем которого он был до 1962 г. С этого же года заведовал лабораторией источников питания при одном из отделов, которая впоследствии превратилась в

структурную лабораторию электромагнитных процессов, а в 1981 г. — в отдел электромагнитных процессов. Эти подразделения, которые И. И. Заруба возглавлял в течение 25 лет, выполнили много научных разработок и обеспечили их внедрение в производство. В это время были созданы новые типы источников питания для дуговых и электрошлаковых процессов, среди которых многопостовые системы питания для сварки в углекислом газе, установки для импульсно-дуговой сварки с управляемым переносом металла, устройства для стабилизации горения дуги переменного тока, первые источники для сварки в космосе и др. В докторской диссертации И. И. Зарубы (1976) определены новые направления в сварочной науке и технике и обобщены результаты его исследовательской работы этого периода.

В 1977 г. И. И. Заруба принял участие в организации при ИЭС им. Е. О. Патона Национального комитета по сварке и вошел в его состав как руководитель одной из комиссий, избирался членом

управляющего совета Международного института сварки. В 1993 г. организовал лабораторию сертификации сварочного оборудования при отделе источников питания, аккредитованную Государственным комитетом Украины по стандартизации, метрологии и сертификации, руководителем которой был в течение десяти лет.

В настоящее время И. И. Заруба проводит активную исследовательскую работу в направлении повышения технологической эффективности сварочных источников питания постоянного и переменного тока.

И. И. Заруба — автор нескольких монографий и более 300 научных работ и изобретений по теоретическим основам, оборудованию и способам дуговой сварки. Имеет государственные награды, а также много грамот и медалей за участие в выставках сварочного оборудования, в конкурсах по экономии энергии и других мероприятиях. В 2006 г. был отмечен как победитель конкурса «Лидер топливно-энергетического комплекса Украины».

А. А. БОНДАРЕВУ — 75



В марте исполнилось 75 лет Анатолию Андреевичу Бондареву, доктору технических наук, видному специалисту в области электронно-лучевой сварки. После окончания в 1964 г. Украинского заочного политехнического института работал инженером-технологом на Сумском заводе электронных микроскопов, старшим научным

сотрудником Всесоюзного научно-исследовательского института компрессорного машиностроения (г. Сумы).

В 1968 г. поступил в аспирантуру ИЭС им. Е. О. Патона и после ее окончания в 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1989 г. — защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Основные направления научной деятельности А. А. Бондарева — разработка научных основ свариваемости легких сплавов и других конструкционных материалов с использованием высоконцентрированных источников нагрева таких, как электронный и лазерный луч. Результаты научных исследований были реализованы при разработке промышленной технологии сварки высоко-

нагруженных изделий, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, глубокого вакуума и криогенных температур. А. А. Бондарев разработал и внедрил более 35 технологий при создании изделий ракетно-космической техники, в самолето-, судо-, автомобиле-, приборостроении на предприятиях Сибири, Урала, юга России, в Украине и за рубежом. Им выполнены исследования свариваемости алюминиевых сплавов электронным лучом в невесомости, разработаны принципиальные рекомендации как по применяемым материалам, так и по конструированию соединений в случае сварки на орбите в условиях отсутствия доступа человека.

Разработаны принципиально новые технологии сварки разнородных материалов, включая нержавеющие стали, инвар с алюминиевыми сплавами, а также сварки новых конструкционных материалов в виде пеноалюминия, композитов и др.

А. А. Бондарев — автор более 300 научных работ, двух монографий, более 40 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

А. А. Бондарев награжден орденом «Знак Почета» и медалями СССР, серебряной медалью ВДНХ СССР, почетными грамотами, занесен в «Энциклопедию сучасної України».

Сердечно поздравляем юбиляров, от всей души желаем им крепкого здоровья и бодрости, творческой энергии и новых достижений в развитии сварочной науки и сварочного производства.



ПАМЯТИ С. И. ПРИТУЛЫ



В феврале 2011 г. скоропостижно ушел из жизни известный специалист в области разработки и проектирования сварочного оборудования, заместитель Генерального директора НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» по конструированию, главный конструктор ОКТБ Сергей Иванович Притула.

Трудовую деятельность С. И. Притула 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 директора.

С. И. Притулой и 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 ос-

новании этих разработок были созданы различные технологические комплексы для производства изделий подвижного железнодорожного состава, бронетанковой техники, узлов оборудования для химической промышленности.

В период руководства С. И. Притулой ОКТБ 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.

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

Светлая память о Сергее Ивановиче надолго сохранится в сердцах тех, кто знал его и работал с ним.

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

ПОДПИСКА — 2011 на журнал «Автоматическая сварка»

Стоимость подписки через редакцию*	Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	480 грн.	960 грн.	2100 руб.	4200 руб.	78 дол. США	156 дол. США
*В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.						

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

Контактные телефоны: (38044) 287-63-02, 200-82-77; факс: (38044) 528-34-84, 200-82-77.

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 _____ **20** г. по _____ **20** г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190мм) — 700\$
 Вторая страница обложки (200×290мм) — 550\$
 Третья страница обложки (200×290мм) — 500\$
 Четвертая страница обложки (200×290мм) — 600\$
Обложка внутренняя, полноцветная
 Первая страница обложки (200×290мм) — 400\$
 Вторая страница обложки (200×290мм) — 400\$
 Третья страница обложки (200×290мм) — 340\$
 Четвертая страница обложки (200×290мм) — 340\$

Внутренняя вставка

Полноцветная (разворот А3) (400×290мм) — 570\$
 Полноцветная (200×290мм) — 340\$
 Полноцветная (200×142мм) — 170\$
 Реклама в разделе информации
 Полноцветная (165×245мм) — 300\$
 Полноцветная (165×120мм) — 170\$
 Полноцветная (82×120мм) — 80\$
 • Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу
 • Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу
 • Статья на правах рекламы (страница А4, 170×240мм) — 170\$
 • При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000\$, предусмотрена гибкая система скидок

Технические требования к рекламным материалам

- Размер журнала после обрезки 200×290мм
- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5мм с целью избежания потери части информации
- Все файлы в формате IBM PC**
- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 7.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi
- К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 09.02.2011. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,99. Усл.-отт. 9,94. Уч.-изд. л. 10,45 + 6 цв. вклеек. Цена договорная.

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

Компания «Lincoln Electric» в России

29 октября 2010 г. было подписано соглашение между «Lincoln Electric» (США) и ОАО «Межгосметиз-Мценск» (Россия). Один из крупнейших мировых производителей сварочного оборудования стал собственником российского предприятия, сварочные материалы которого известны своим высоким качеством в России и СНГ. В перспективе «Межгосметиз-Мценск» и ООО «Торговый дом Межгосметиз» должны стать ключевыми звеньями развития деятельности по производству сварочных материалов в России. Предприятие «Межгосметиз-Мценск» — одно из крупнейших в России производителей сварочной легированной проволоки. Объединение потенциала «Межгосметиз-Мценск» и ноу-хау «Lincoln Electric» позволит предлагать и распространять весь спектр решений в области сварки, а также усилит возможности по разработке новых видов продукции, которые должны принести потребителям ощутимую пользу.

29 декабря 2010 г. «Северсталь-метиз» также договорилась с компанией «Lincoln Electric» о продаже 100 % своего сварочного бизнеса. Для российской компании это стратегическое решение, связанное с необходимостью дальнейшего развития данного направления деятельности, может быть реализовано только с привлечением инвестора, лидера отрасли в мировом масштабе. Объединив свой потенциал с современными подходами и технологиями «Lincoln Electric», предприятие «Северсталь-метиз: сварочные материалы» сможет предлагать клиентам весь спектр решений в области сварки, а также усилит свои возможности по разработке новых, востребованных рынком видов продукции.

Генеральный директор «Lincoln Electric» в России и СНГ Йозеф Куник рассказал о перспективах развития бизнеса в России: «С помощью объединения потенциала российского предприятия и инновационных технологий «Lincoln Electric» в России будет внедрен широкий спектр решений в области сварки, что, в свою очередь, позволит увеличить возможности разработки новых видов электродов и продукции в целом. Компания «Lincoln Electric» хорошо понимает, что Россия — это очень большой рынок по потенциальным объемам продаж. Мы знаем, насколько важно наладить собственное производство в России, мы думали

куда идти, в каком направлении. И с самого начала в качестве потенциального партнера рассматривали «Межгосметиз». По разным причинам он был нашим №1 с точки зрения приобретения. Компания сама по себе имеет достаточно высокую культуру бизнеса. Этот известный российский бренд имеет репутацию надежного бизнес-партнера. Для нас все это очень существенно, потому что «Lincoln Electric» — это компания, которая существует уже фактически 130 лет, мы публичная компания, для нас очень важна чистота бизнеса, культура бизнеса. Все, что касается имиджа, для нас очень важно. Это был один из основных



моментов, почему мы сосредоточились на сделке с «Межгосметизом». Город Мценск за короткое время станет сварочным центром, и самым большим заводом в России. Планируется строить дополнительные объемы и расширять имеющиеся производственные мощности. Это будет происходить достаточно быстрыми темпами на самом деле. В течение двух лет увеличатся объемы производства в несколько раз. Все реально, мы уже понимаем, каким образом это будет происходить. Для «Межгосметиза» это огромный шаг вперед в развитии, но и для Мценска и Орловского региона в целом это тоже очень привлекательно. Появятся новые рабочие места, причем в достаточно большом количестве. И весь наш основной бизнес в СНГ и России будет сосредоточен здесь. Ну и, разумеется, для нас это очень хороший первый шаг развития нашего бизнеса в России. На самом деле до 29 октября у нас был офис продаж импортного оборудования, теперь расширяемся на материалы — проволоку, электроды. Мы планируем организовать дистрибьюторный центр для всей России, здесь планируется достаточно большое увеличение штата, объемов продаж. Также будут другие региональные офисы продаж по всей стране, в других областях, в Москве и Санкт-Петербурге. Практически все, что касается импортных электродов и проволоки, в течение следующего года будет производиться здесь в России. Это достаточно большое количество новых

материалов, которые будут производиться под брендом «Lincoln Electric». Планируется производить здесь в России также ту продукцию, которая сегодня производится в Польше, Италии, США. Будут открыты и новые виды производства. Помимо проволоки и электродов, планируется производство сварочных флюсов. Это будет совсем новая продукция. Ну а в долгосрочной перспективе будет производиться вся линейка соответствующей продукции. И именно совместная наша работа с ОАО «Межгосметиз-Мценск» дает компании «Lincoln Electric» конкурентное преимущество, теперь компания получила возможность предлагать полную линейку всех материалов здесь в России. Ведь до сегодня она только продавала в России оборудование для производства труб, трубопроводов, и в этой части уже достигнута крепкая позиция на рынке России. А в направлении продаж материалов мы пока отставали. «Межгосметиз» работает почти со всеми российскими трубными заводами, поставляет проволоку. При этом почти все трубосварочные станы оснащены сварочным оборудованием «Lincoln Electric». Сегодня нефтегазовый комплекс развивается очень хорошо, поэтому будут востребованы наши машины, проволока, электроды, и флюсы. Мы готовы предложить заказчику полное решение для бизнеса. Весь спектр материалов и оборудования для любого объема работ. И пусть пока еще не все производится здесь, это — дело времени».

«Lincoln Electric» основана в 1895 г. в Кливленде, штат Огайо. Сегодня она представляет собой крупнейшую корпорацию с торговым оборотом примерно миллиард долларов в год, штатом сотрудников более 7000 человек, которые работают в 160 странах мира. Производит оборудование и материалы для сварки. На протяжении многих лет компания имеет репутацию ЭКСПЕРТОВ В СВАРКЕ, так как предоставляет на сварочный рынок только новейшие технологии и решения. С самого начала своей деятельности корпорация стала основоположником технического прогресса в области сварочного оборудования и материалов. Продукция и решения, предлагаемые «Lincoln Electric», играют важную роль в развитии данных отраслей промышленности и соответствующей инфраструктуры.

**«Lincoln Electric» — ЭКСПЕРТЫ В СВАРКЕ!
ЗА НАМИ КАЧЕСТВО — ЗА ВАМИ ВЫБОР!**

www.mezhgosmetiz.ru; www.lincolnrusweld.ru

Высокопроизводительная сварка от «Fronius»: «быстрее» означает «лучше»

Ни для кого не секрет, что увеличение производительности сварки — естественное желание и актуальная задача практически любого производителя изделий из металла. Вполне очевидно, что при возрастании скорости сварки, остаются все такие же высокие требования к стабильности процесса и, как следствие, к качеству сварных швов. В свою очередь, выполнение указанных выше требований возможно лишь благодаря тщательному выбору оптимальной технологии сварки и соответствующего сварочного оборудования.

Компания «Fronius» представляет три основных процесса высокопроизводительной сварки:

- гибридная (лазерно-дуговая) сварка (LaserHybrid)
- сварка TIME
- тандем-сварка TimeTwin Digital.

Новейшие технологические разработки и цифровые системы управления, в сочетании с высокими эксплуатационными характеристиками оборудования от «Fronius», позволяют достигать невиданных ранее уровней производительности.

Рассмотрим каждый из упомянутых выше технологических процессов.

Гибридная (лазерно-дуговая) сварка. В основе гибридного процесса лежит комбинация двух широкоизвестных способов сварки: лазерная и сварка MIG. Совместное действие лазерного луча и электрической дуги позволяет полностью решить проблему разбрызгивания и значительно уменьшить зону термического влияния. За счет высокой скорости лазерной сварки и характерной для способа MIG способности выполнять сварку с зазорами, появляется возможность достичь необходимого уровня проплавления, отличного формирования шва и увеличения производительности почти в 4 раза (скорость сварки — до 9 м/мин). Уменьшение уровня расплавления сварочной проволоки и, соответственно, объема сварного шва способствуют значительному снижению расхода проволоки при оптимальной глубине проплавления.

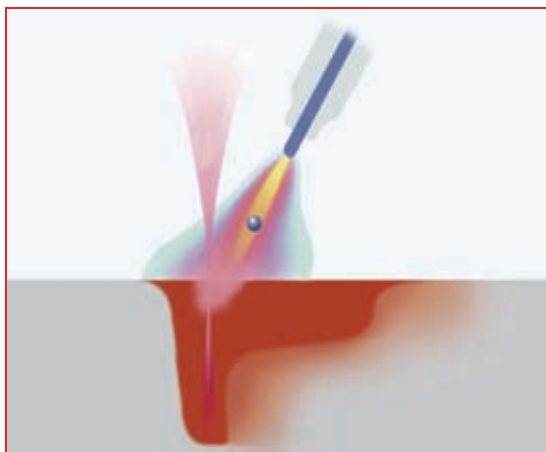
Способ гибридной сварки подходит для таких материалов, как сталь (с покрытием и без) и алюминиевые сплавы. Универсальность данного способа открывает широкие области применения. Среди них автомобильная промышленность, а также производство резервуаров, строительство трубопроводов, аэрокосмическая промышленность, вагоно- и судостроение.

Сварка TIME. Основными отличиями высокопроизводительного процесса TIME от обычной сварки MIG/MAG является более высокая скорость подачи проволоки (более 15 м/мин) и производительность наплавки (более 8 кг/ч), а также зачастую используемые 4-х компонентные защитные газовые смеси на основе аргона.

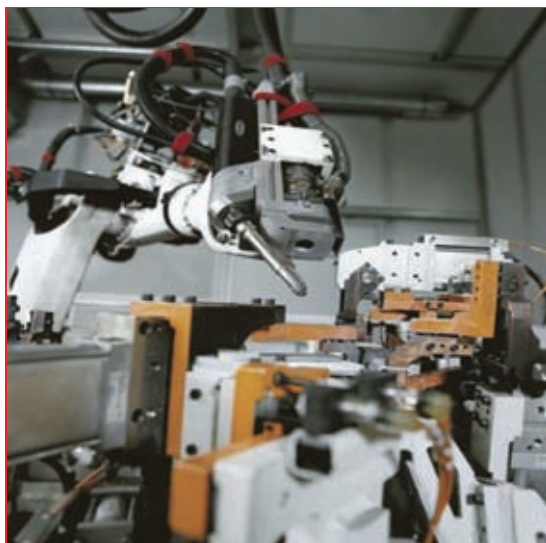
Высокопроизводительная сварка TIME проволокой диаметром 1,2...1,6 мм может быть как полуавтоматической, так и автоматизированной, или даже роботизированной.

В качестве защитного газа используется смесь инертного газа с компонентами активного газа. При этом, как правило, речь идет о газовой смеси с основной частью аргона, а также добавками гелия, диоксида углерода и кислорода. Благодаря высокой теплопроводности, гелий способствует улучшенному проплавлению. Присутствие в смеси небольшого процента активных газов оказывает положительное влияние на стабильность дуги и уменьшает разбрызгивание.

* Статья на правах рекламы.



Схематическое изображение процесса гибридной (лазерно-дуговой) сварки



Роботизированная гибридная (лазерно-дуговая) сварка

Высокопроизводительный процес TIME в основном используется для сварки различных низколегированных конструкционных и высоколегированных сталей в машиностроении, при производстве стальных конструкций, в судостроении, вагоно- и котлостроении.

Тандем-сварка TimeTwin Digital. TimeTwin Digital — это высокопроизводительный способ сварки MIG/MAG двумя плавящимися параллельно расположенными электродами в защитном газе. В отличие от однопроволочного процесса TIME тандем-сварка TimeTwin ограничена автоматизированным и роботизированным способами применения.



Высокопроизводительный способ сварки TimeTwin Digital двумя изолированными друг от друга плавящимися электродами в защитном газе

При процессе TimeTwin Digital используются два цифровых источника сварочного тока (TPS 5000), устройство для синхронизации их работы, два механизма подачи присадочной проволоки и тандем-горелка для двух, изолированных друг от друга проволок.

Сварка выполняется двумя дугами, что позволяет достичь двух- или даже трехкратного увеличения скорости сварки, по сравнению со стандартным процессом MIG/MAG, при максимально возможном качестве сварного шва и практически полном отсутствии брызг. Цифровые системы управления обеспечивают 100 % воспроизводимость результатов.

Высокопроизводительный процесс TimeTwin Digital осуществляется при помощи проволок диаметром 1,2...1,6 мм со скоростью сварки до 6 м/мин. Производительность наплавки составляет более 10 кг/ч. Основными областями применения спо-

соба TimeTwin Digital являются: машиностроение, строительство трубопроводов, вагоно- и судостроение.

Высокопроизводительные процессы TIME и TimeTwin Digital успешно применяются на ряде ведущих предприятий России и Украины.

Кроме трех основных способов высокопроизводительной сварки, стоит отметить также сварку специальными проволоками. Данный способ осуществляется по методу MIG/MAG на токах до 900 А и характеризуется следующими значениями производительности наплавки:

- более 25 кг/ч (для стали) при проволоке большого диаметра (до 3,2 мм);
- более 11 кг/ч (для стали) при проволоке прямоугольного сечения (4,5×0,5 мм).

Чрезвычайно малое проплавление основного металла при использовании проволок прямоугольного сечения (лент), наряду с высокой производительностью, является условием успешного применения этого метода для выполнения работ по наплавке. Сварка и наплавка специальными проволоками (сплошного сечения и порошковыми) нашла применение в вагоно-, судостроении, производстве специальной техники, горнодобывающей промышленности и др.

Технология высокопроизводительной сварки предназначена для использования в различных отраслях промышленности, и подходит для сварки широкого диапазона материалов. Являясь признанным поставщиком комплексных решений для высокопроизводительной сварки, компания «Fronius» не устает доказывать, что «быстрее» означает «лучше».



Тандем-сварка TimeTwin Digital позволяет достигать двух- или даже трехкратного увеличения скорости сварки при практически полном отсутствии брызг



ООО «Фрониус Украина» 07455, Киевская обл.,
Броварской р-н, с. Княжицы, ул. Славы, 24
Тел.: +38 044 277 21 41; факс: +38 044 277 21 44
E-mail: sales.ukraine@fronius.com; www.fronius.ua