



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) 287 6302, 200 8277
Факс: (38044) 528 3484, 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

Уникальная технология ликвидации подводных аварий нефте-,
газопроводов, разработанная украинскими учеными 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Ланкин Ю. Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки
плавающим электродом 7
*Терновой Е. Г., Шулым В. Ф., Булацев А. Р., Соломийчук Т. Г.,
Костин В. А.* Свойства и структура кольцевых соединений труб,
полученных орбитальной электронно-лучевой сваркой 16
Кравчук Л. А., Загорников В. И., Кулешов И. А. Электронно-лучевая
сварка теплообменных аппаратов с одинарным и двойным
преломлением электронного пучка 21
Козулин С. М., Лычко И. И. Деформации сварных соединений при
многослойной электрошлаковой сварке 26
Моравецкий С. И. Отделимость шлаковой корки при дуговой сварке
(Обзор). Ч.1. Механизм химического сцепления шлаковой корки с
металлом шва 32
Левченко О. Г., Лукьяненко А. О., Полукаров Ю. О. Концентрации
оксида углерода и диоксида азота в воздухе рабочей зоны при
дуговой сварке покрытыми электродами 37

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

*Владимиров А. В., Хабuzов В. А., Лебедев В. А., Максимов С. Ю.,
Галышев А. А.* Универсальный источник питания для дуговой сварки
и плазменной резки 41
Марченко А. Е., Скорина Н. В., Костюченко В. П. Состояние разра-
ботки и производства низковольтных электродов с двухслойным
покрытием в странах СНГ (Обзор) 47
*Письменный А. С., Пентегов И. В., Кислицын В. М., Стемковский
Е. П., Шейковский Д. А.* Устройства для ударной обработки сварного
шва в процессе точечной контактной сварки 52

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Явдошин И. Р., Фольбоорт О. И. Новая информация о «старых» элек-
тродрах 56

ХРОНИКА

Международная научно-техническая конференция «Сварочное про-
изводство в машиностроении: перспективы развития» 58
Семинар «Суперконденсатор — высокоэффективный источник пита-
ния фирмы «Юнаско-Украина» 59
Отраслевое совещание-конференция «Состояние и основные нап-
равления развития сварочного производства ОАО «Газпром» 60
Отчетно-выборная конференция Общества сварщиков Украины 62
Пятый международный семинар «Новые направления исследований
в области сварки живых мягких тканей» 63
III Патоновские чтения-2010 65
В. И. Галиничу — 75 67

ИНФОРМАЦИЯ

Календарь выставок и конференций в 2011 г. (Сварка и родствен-
ные технологии) 68

Avtomaticheskaya Svarka

№ 1 (693)

January 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) 287 63 02, 200 82 77
Fax: (38044) 528 04 86, 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

Unique technology of liquidation of underwater accidents in oil and gas
pipelines, developed by Ukrainian scientists 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Lankin Yu. N. Characteristics of stability of process of consumable
electrode arc welding 7

*Ternovoy E. G., Shulym V. F., Bulatsev A.R., Solomijchuk T. G., Kostin
V. A.* Properties and structure of tubular joints produced by orbital elec-
tron beam welding 16

Kravchuk L. A., Zagornikov V. I., Kuleshov I. A. Electron beam welding
of heat exchangers with single and double refraction of electron beam 21

Kozulin S. M., Lychko I. I. Deformations of welded joints at multi-layer
electroslag welding 26

Moravetskiy S. I. Removal of slag crust in arc welding (Review). Part 1.
Mechanism of chemical adhesion of slag crust with weld metal 32

Levchenko O. G., Lukjanenko A. O., Polukarov Yu. O. Concentration
of carbon oxide and nitrogen dioxide in air of working zone in covered
electrode arc welding 37

INDUSTRIAL

*Vladimirov A. V., Khabuzov V. A., Lebedev V. A., Maksimov S. Yu., Ga-
lyshev A. A.* Universal power source for arc welding and plasma cut-
ting 41

Marchenko A. E., Skorina N. V., Kostyuchenko V. P. Prospects of de-
velopment and production of low-hydrogen electrodes with double-
layer coating in CIS countries (Review) 47

*Pismenniy A. S., Pentegov I. V., Kisilitsyn V. M., Stemkovsky E. P.,
Sheikovskiy D. A.* Device for impact treatment of weld in the process of
resistance welding 52

BRIEF INFORMATION

Yavdoshchin I. R., Folbort O. I. New information on «old» electrodes 56

NEWS

International Scientific-Technical Conference «Welding Production in
Machine-Building: Prospects for Development» 58

Seminar «Supercapacitor is the highly-effective power source of com-
pany «Unasko-Ukraine» 59

Industry Conference «State-of-the-art and main trends of development
of welding production at OJSC «Gazprom» 60

Reporting-election conference of Society of Welders of Ukraine 62

The Fifth International seminar «New trends of investigations in the
field of welding of live soft tissues» 63

III Paton's readings-2010 65

V. I. Galinich is 75 67

INFORMATION

Calendar of exhibitions and conferences in 2011 (Welding and related
technologies) 68

*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.*

УНИКАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОДВОДНЫХ АВАРИЙ НЕФТЕ-, ГАЗОПРОВОДОВ, РАЗРАБОТАННАЯ УКРАИНСКИМИ УЧЕНЫМИ

3 декабря 2010 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины состоялась презентация революционной разработки украинских ученых: технологии и конструкций, предупреждающих катастрофы, подобные той, которая произошла в апреле 2010 г. в Мексиканском заливе. В ней приняли участие представители научной общественности ряда институтов НАН Украины, Торгово-промышленной палаты Украины, сотрудники посольств, представители средств массовой информации и телевидения, были также приглашены представители администрации президента Украины, министерств, ведомств, летчик-космонавт Украины Л. К. Каденюк, а также представители нефтедобывающих компаний «Chevron», «Conoco Phillips», «Exxon Mobil», «Royal Dutch-Shell», «British Petroleum».

Открыл презентацию академик Б. Е. Патон. Он дал оценку произошедшей катастрофе у берегов США, которая стала наиболее масштабной в истории по последствиям для окружающей среды. Более миллиона баррелей нефти в воде, загрязнение побережья четырех американских штатов, миллиардные убытки компании «British Petroleum» и правительства США. Нефтяное загрязнение, последовавшее за ним загрязнение химикатами, уничтожающими нефть...

Последние тридцать лет технологии добычи нефти и газа совершенствуются, однако методы борьбы с последствиями аварий остаются прежними. Поэтому трагедия в Мексиканском заливе может повториться и в других странах. Вместе с тем люди не перестанут добывать углеводороды — ведь, по прогнозам на ближайшие десять лет, спрос на них вырастет на 15...20 %.

Катастрофа вынудила ведущие страны мира предпринять беспрецедентные меры, направленные на создание новых подходов к обеспечению безопасности при добыче углеводородов на морских шельфах. Лидеры стран-членов Большой двадцатки уделили этому вопросу особое внимание на саммите в Торонто, что нашло свое отражение в тексте коммюнике. Страны Европы,



Выступление академика Б. Е. Патона



Фрагмент аварийного выброса нефти из скважины в Мексиканском заливе

которые имеют свои территориальные воды, решили пересмотреть правила для компаний, занимающихся добычей нефти и газа на их шельфах. Реакция правительства России на аварию в Мексиканском заливе также не заставила себя долго ждать. Она много в чем повторяет подходы американской стороны. Через месяц после катастрофы в Мексиканском заливе российский президент дал поручение правительству разработать законопроект «О защите морей России от нефтяного загрязнения», который должен регулировать вопросы обязанностей и ответственности добывающих компаний в случае загрязнения нефтью российского шельфа.

В Украине еще с советских времен эксплуатируют месторождения нефти и газа на Черноморском шельфе, сегодня намечается освоение новых месторождений. Кроме того, в Черном море на глубине ниже 50 м залегают огромные массы сероводорода, ядовитого и взрывоопасного газа. Если на дне прорвет трубу высокого давления, побережью будет нанесен непоправимый ущерб. Поэтому Премьер-министр Украины Н. Я. Азаров отметил, что «... после катастрофы в Мексиканском заливе у меня возникает вопрос цены. Если бы такая авария произошла в Крыму, то мы бы потеряли не только полуостров, но и все Черноморское побережье, начиная от молдавского кордона и заканчивая Таманью. Мы над этой ценой должны очень серьезно подумать».

Авария на Deepwater Horizon заставила прикаспийские государства по-новому посмотреть на планы увеличения объемов добычи на месторождениях Каспийского моря и транспортирования углеводородных ресурсов на внешние рынки танкерными флотами.

Министр энергетики Турции Танер Иилдиз указал на необходимость предпринять экстренные меры для защиты Черного моря от катастроф и аварий, связанных с добычей и транспортированием углеводородов. Турецкие власти рассматривают различные механизмы минимизации угроз подобных событий. Турция заявила о намерении создать фонд для защиты черноморских протоков. Предусматривается, что в его создании примут участие зарубежные компании. Объем вложений в фонд может превысить 30 млрд дол. США. Этот вопрос обсуждался на международной конференции в Стамбуле с представителями двадцати ведущих мировых компаний, в том числе из России и Казахстана. За административными решениями последовали технологические. Четыре мировые нефтяные компании — «Exxon Mobil», «Conoco Phillips», «Chevron» (США), а

также британско-голландская «Royal Dutch–Shell» — приняли решение о создании системы ликвидации вытоков нефти при освоении глубоководных районов.

Украина последовательно проводит политику обеспечения международной экологической безопасности, поддерживает инициативы государственных и негосударственных организаций по предотвращению аварий и экологических катастроф, связанных с добычей углеводородов, как наиболее опасных для нынешнего времени и будущего человечества, ведет активные разработки в этой сфере. Наше государство обратилось к ми-



Авторы разработки отвечают на вопросы журналистов

ровому сообществу с предложением объединить и интенсифицировать усилия в решении этой одной из наиболее серьезных угроз международной безопасности. Президент Украины в своем выступлении на заседании Генеральной ассамблеи ООН в сентябре 2010 г. уже объявил ряд предложений Украины в сфере международной безопасности.

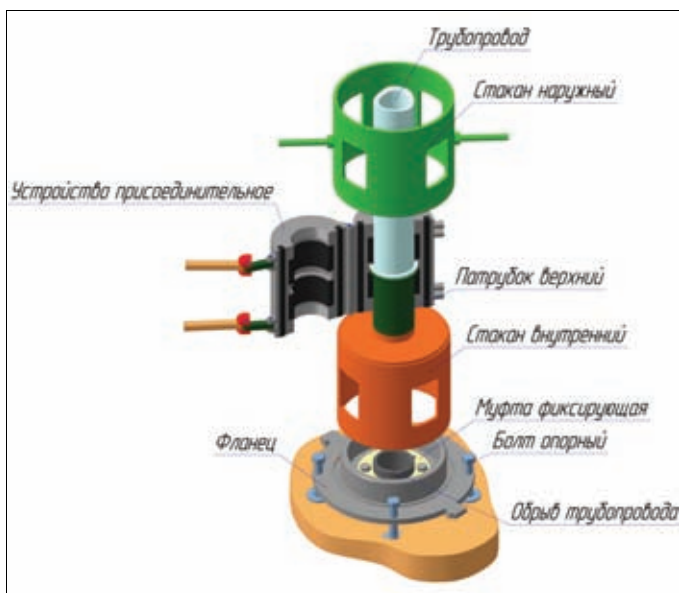
Правительство Украины, учитывая необходимость гарантирования безопасности при организации добычи углеводородов на шельфе Черного моря и участии нашей страны в международных программах, поручило Национальной академии наук Украины совместно с УНЦВТ Национального университета обороны Украины разработать технологии предупреждения, а в случае их возникновения, ликвидировать подобные аварии в предельно короткие сроки, с минимальными последствиями для окружающей среды.

Ученые Украины нашли ответ на вопрос, как быстро и эффективно ликвидировать аварии на прибрежных шельфах. На презентации академик Б. Е. Патон отметил «... мы создали разработку, ... предлагаем взять ее на вооружение в Украине при добыче нефти на шельфах и для использования за рубежом. Украинская технология принципиально новая, она позволяет решить одну из важнейших проблем защиты окружающей среды».

Коллектив авторов оказался удивительно гармоничным и взаимодополняющим. У каждого, как это бывает в слаженном экипаже, своя роль. Директор Института электросварки, президент НАНУ, академик Борис Евгеньевич Патон как дирижер управлял работой коллектива, внося в каждый элемент разработки частицу своей мудрости, опыта, интеллекта. Начальник УНЦВТ Национального университета обороны Украины, доктор технических наук, полковник Юрий Григорьевич Даник вместе с академиком Б. Е. Патоном генерировал идеи, принципы и варианты их реализации. Их творчески подхватывали и практически реализовывали в конструкторской документации и действующих изделиях председатель правления Опытного завода сварочного оборудования Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, доктор физико-математических наук Владимир Иванович Степахно и директор Государственного предприятия «Опытное конструкторско-технологическое бюро Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ», лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники Валерий Степанович Романюк.

Один из авторов разработки, доктор технических наук, профессор Ю. Г. Даник рассказал о ней следующее: «Нам удалось взглянуть на проблему под иным углом зрения. Возьмем, к примеру, катастрофу в Мексиканском заливе. В результате взрыва на нефтедобывающей платформе и последовавшего за ним пожара устье скважины разгерметизировалось и нефть под высоким давлением хлынула в море. Как поступают ликвидаторы аварий в подобных случаях? Все существующие на сегодня подходы основаны на том, чтобы перекрыть, остановить, загерметизировать утечку. Победить сопротивление мощнейшей природной силы — фактически надругаться над природой. Гарантирует ли это, что вытекание прекратится навсегда? Отнюдь. Около полутора тысяч законсервированных аварийных скважин в Каспийском море до сих пор продолжают сочиться. Да, и в Мексиканском заливе утечка полностью не устранена. Мы же заложили в основу нашей технологии совершенно противоположный принцип. С природой надо дружить и сотрудничать, а ее силу — направить туда, куда нужно нам, и суметь ею управлять».

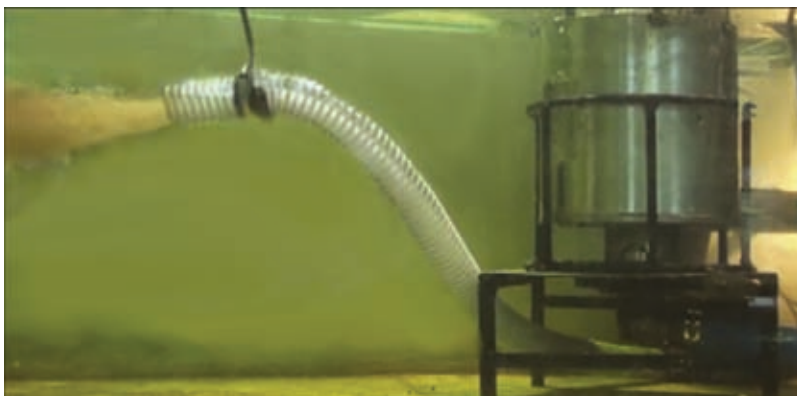
Патентоведы Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины провели предварительную экспертизу и установили, что ни



Модель аварийного модуля



Процесс соединения модуля с аварийной скважиной в гидробассейне



Соединение аварийной скважины с модулем для дальнейшей транспортировки жидкости по трубопроводу

в одном из известных ныне запатентованных изобретений предложенный нами принцип не применяется. На основе этого принципа коллектив ученых разработал аварийный модуль специальной конструкции, чем-то напоминающий стыковочный модуль космического корабля. Он присоединяется к месту утечки, компенсируя динамический удар вытекающего вещества, и осторожно перенаправляет поток в необходимом направлении. Таким образом, и вытекание прекращается, и добычу можно продолжить. Модуль может устанавливаться роботами или же сам быть роботом.

Если подобными аварийными модулями будут оснащены все добывающие платформы, это позволит не только оперативно ликвидировать аварии разных масштабов, но и возобновить добычу нефти и газа на законсервированных аварийных платформах и промыслах, потенциал которых далеко не исчерпан. Разработка украинских ученых сможет решить проблему обеспечения международной экологической безопасности при добыче углеводородов, а также будет способствовать развитию этой добычи.

Разработка украинских ученых нуждалась в экспериментальном опробовании. В Институте гидромеханики НАНУ были выполнены предварительные расчеты, Опытное конструкторско-технологическое бюро Института электросварки разработало конструкторскую документацию, а специалисты Опытного завода сварочного оборудования изготовили действующие макеты модулей. Для проведения испытаний была смоделирована скважина, из которой бил поток жидкости с заданными скоростью и интенсивностью. Эксперименты прошли успешно, действие принципа подтвердилось. Впечатлениями от проведенных испытаний на презентации поделился еще один из соавторов разработки В. С. Романюк: «Как только мы произвели соединение — поток стал управляемым. Поворотным механизмом мы закрыли поток, интенсивно бьющий в окружающее пространство и направили его уже в том направлении, которое нам необходимо. То ли это будет трубопровод, то ли это будет контейнер и т. п.».

Во время презентации был продемонстрирован видеоролик, иллюстрирующий последовательное моделирование операций по «укрощению» выброса нефти из скважины и переводу ее транспорта в нужном направлении, а также видеоматериал об испытании предложенного украинскими учеными способа и конструкций на лабораторном стенде в Институте гидродинамики НАНУ.

На презентации выступили также директор Опытного завода сварочного оборудования В. И. Степахно, летчик-космонавт Л. К. Каденюк, директор Института гидромеханики НАНУ академик В. Т. Гринченко, вице-президент Украинского национального комитета Торгово-промышленной палаты В. А. Коляденко и директор департамента внешнеэкономического сотрудничества Министерства иностранных дел Украины В. И. Лакомов.

Презентация вызвала живой интерес к обсуждаемой теме и предложению ученых Украины. Ряд журналистов задали вопросы разработчикам способа ликвидации аварий, касающиеся дальнейшего продвижения этой разработки, ее возможной экономической привлекательности для Украины.



ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

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

Предложена формулировка термина стабильность процесса дуговой сварки плавящимся электродом. Рассмотрены и проанализированы объективные показатели стабильности. Для каждого способа сварки и характера переноса металла предложен набор показателей стабильности процесса.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, качество процесса сварки, стабильность процесса сварки, показатели стабильности

Одним из основных показателей качества процесса дуговой сварки плавящимся электродом является его стабильность, с которой тесно связаны такие показатели качества, как разбрызгивание и качество формирования сварного шва. В настоящее время не существует общепринятой формулировки понятия стабильности процесса сварки. Каждый исследователь понимает стабильность процесса сварки по-своему, и поэтому использует различные показатели стабильности.

Цель настоящей работы — сформулировать понятие стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом и выбрать показатели стабильности в зависимости от способа сварки и типа переноса металла плавящегося электрода в сварочную ванну.

Известны несколько различных определений термина «стабильность процесса сварки». В ГОСТ 25616–83 (СТ СЭВ 3235–81) для ручной сварки штучным электродом введен термин «стабильность процесса сварки», однако не дана его формулировка [1]. Позже разработчики этих стандартов сформулировали термин «стабильность процесса сварки» для ручной и механизированной сварки следующим образом [2, 3]: «Под термином стабильный процесс сварки понимают процесс, обеспечивающий получение качественно сформированного сварного соединения с достаточно гладкой поверхностью и практически неизменными по всей длине основными параметрами — глубиной провара, шириной и высотой валика». Близкое определение предложили авторы работы [4]: «Стабильным процессом дуговой сварки принято считать процесс, обеспечивающий постоянство геометрических размеров сварного шва или отклонение последних в допустимых пределах». Фактически это является формулировкой не стабильности процесса сварки, а следствия стабильности этого процесса. Согласно данной форму-

лировке автоматически измерять показатели стабильности непосредственно в процессе сварки весьма затруднительно.

В широком смысле латинское слово *stabilis* означает постоянный, устойчивый. В работах [5–8], например, не делается разницы между понятиями «стабильный» и «устойчивый», а в [9] дано следующее определение: «Устойчивость дуги в пространстве называется стабильностью дуги». Однако в современной технической литературе термины стабильный и устойчивый, как правило, синонимами не являются.

Устойчивым принято считать процесс, возвращающийся в равновесное состояние после любых достаточно малых начальных отклонений, вызванных действием внешних возмущений. В сварке этим понятием пользуются при анализе так называемого явления саморегулирования дугового процесса.

Под стабильностью технологического процесса обычно понимают свойство последнего, обуславливающего постоянство распределения вероятностей для его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне [10]. Иными словами, процесс, отклонение параметров которого от средних значений не превышает заданного уровня, называется стабильным. Соответственно мерой стабильности процесса является отклонение его параметров от среднего значения. Обычно в качестве меры отклонения дискретного сигнала от среднего значения $\bar{x}$ принимаются дисперсия

$$\sigma^2(x) \approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

где n — количество измерений, или $\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)}$ — среднеквадратичное отклонение, или коэффициент вариации $K_v(x) = \sigma(x)/\bar{x}$.

Чаще всего под стабильностью процесса сварки понимают стабильность горения дуги и стабильность (регулярность) переноса металла электрода в сварочную ванну.



Набор показателей, используемых для характеристики стабильности процесса сварки, зависит от способа сварки и способа переноса металла электрода в сварочную ванну.

Ручная сварка покрытым электродом. Для этого способа сварки в большинстве случаев ограничиваются указанием — стабильная или нестабильная дуга. Иногда применяется экспертная оценка стабильности дуги по трех- [6] или четырехбалльной системе, как рекомендовано в ГОСТ 25616–83 (СТ СЭВ 3235–81) [1]. Стабильность процесса сварки независимо от рода тока оценивается сварщиком-испытателем по частоте обрывов дуги, равномерности ее горения, вибрации и характеру звучания дуги. Четких определений того, что именно подразумевается под равномерностью горения и вибрацией дуги, в стандарте не содержится. Излишне говорить, что экспертные оценки по своей сути являются субъективными и требуют высокой квалификации экспертов.

В принципе визуальные и акустические параметры стабильности процесса сварки, о которых идет речь в [1], можно фиксировать инструментальными средствами с дальнейшей математической обработкой для получения количественных оценок. Так, звучание дуги определяется микрофоном, а световое излучение — соответствующим фотоприемником. Акустическая эмиссия (звучание сварочной дуги, по интенсивности и характеру которого судят о стабильности процесса сварки) обусловлена колебаниями поверхности столба дуги. Интенсивность звучания дуги пропорциональна скорости колебаний ее мощности, т. е. скорости изменения тока дуги [11]. Изменения светового излучения также определяются колебаниями мощности дуги. Таким образом, световое и акустическое излучение дуги как параметры нестабильности процесса сварки являются вторичными по отношению к электрическим параметрам — сварочному току $I_{\text{св}}$ и напряжению на дуге $U_{\text{д}}$. Естественно, что по этой причине для объективной оценки стабильности дуги предпочтительнее использовать $I_{\text{св}}$ и $U_{\text{д}}$, поскольку их измерить проще, чем световое и акустическое излучение. Инструментальное определение обрывов дуги по напряжению или току также не представляет затруднений.

Ручная сварка покрытым электродом на переменном токе. При сварке на переменном токе вследствие падения его значения до нуля в каждом полупериоде напряжения сети дуга прерывается и через некоторое время снова зажигается. Такие естественные прерывания дуги не всегда заканчиваются ее повторным возбуждением в следующем полупериоде питающего напряжения. В результате сварка на переменном токе является наиболее нестабильным процессом из всех спо-

собов дуговой сварки, а частота обрывов дуги, бесспорно, — основным объективным показателем стабильности ее горения.

Первым предложил использовать частоту обрывов дуги для характеристики стабильности ее горения Е. М. Кузьмак [12]. В дальнейшем количество обрывов дуги на длину электрода $N_{\text{об}}$ использовалось в работе [13], а на единицу длины электрода — в работе [14]. Относительное количество обрывов дуги, несомненно, является прямым численным параметром стабильности горения дуги при переменном токе.

Помимо частоты обрывов дуги, предложено множество косвенных параметров, характеризующих не саму стабильность горения дуги, а вероятность ее повторного возбуждения. В основном это параметры, характеризующие остаточную плазму после обрыва дуги и электрические характеристики сварочной цепи, ответственные за повторное возбуждение дуги.

Г. И. Лесковым предложено оценивать стабильность дуги для электродов с различными покрытиями по начальной скорости нарастания тока при ее повторном возбуждении di_2/dt [15]. Чем выше значение этого показателя, тем более стабильным считается горение дуги [7]. Данный показатель определяется по фазовой характеристике $di/dt = f(i)$.

Поскольку скорость изменения сварочного тока при его переходе через нуль в значительной мере определяется его действующим значением, то для исключения влияния последнего В. Ю. Арлаускас и И. Р. Нарушкевичюс [8] предложили безразмерный показатель стабильности зажигания дуги

$$K_3 = \frac{di_2/dt}{di_1/dt} 100 \%,$$

где di_1/dt — максимальная скорость спада тока сварки перед погасанием дуги. Согласно этому показателю идеальная стабильность дуги имеет место при $K_3 = 100 \%$.

Не все исследователи считают применение этих показателей эффективными для оценки стабилизирующих свойств сварочных материалов. Например, по мнению В. А. Троицкого [16], нарастание преддугового тока и тока дуги в значительной степени зависят от линейности источника, а скорость перехода тока через нуль определяется только электрической характеристикой сварочного источника.

Еще один показатель стабильности горения дуги при сварке без коротких замыканий (КЗ) приведен в работе [17] $B_3 = I_3/(U_3 t_3)$, где U_3 , I_3 — напряжение на электродах и ток в межэлектродном промежутке в момент восстановления (зажигания) дугового разряда; t_3 — время прерывания



горения (зажигания) дуги. Чем выше значение этого показателя, тем более стабильной считается дуга.

Для ручной дуговой сварки без КЗ И. И. Зарубой и В. В. Дыменко [18] предложен показатель стабильности горения дуги $K_{ст} = I_{кр}/\tau$, где $I_{кр}$ — критический ток дуги в момент отрыва и прохождения через дугу капли электродного металла, ниже которого дуга может погаснуть; τ — критическое время, в течение которого наиболее вероятно разрушение плазмы дуги в результате переноса металла. Отрыв капли в конце полупериода сварочного тока может привести к тому, что последний исчезнет раньше естественного перехода его значения через нуль, при этом увеличивается бестоковый интервал времени t_3 . В отличие от предыдущих показателей стабильности $K_{ст}$ характеризует вероятность повторного возбуждения дуги после отрыва и переноса капли электродного металла.

Ни один из предложенных показателей, кроме частоты обрывов дуги, строго говоря не является показателем стабильности горения дуги или стабильности процесса сварки в целом. Для переменного тока его среднее значение равно нулю. Поэтому среднеквадратичное отклонение тока является не показателем его стабильности, а мерой его значения, и называется действующим значением тока I . В этом случае в качестве объективного показателя стабильности процесса сварки в соответствии с приведенным выше определением стабильности можно принять дисперсию $\sigma^2(I)$, среднеквадратичное отклонение $\sigma(I)$ или коэффициент вариации действующего значения сварочного тока K_V^I . Аналогично для падения напряжения на дуге в качестве показателя стабильности можно принять дисперсию $\sigma^2(U)$, среднеквадратичное отклонение $\sigma(U)$ или коэффициент вариации действующего значения напряжения на электродах K_V^U . Эти параметры являются показателями стабильности процесса только при сварке без регулярных КЗ.

При ручной дуговой сварке перенос металла осуществляется преимущественно с регулярными КЗ [15, 19]. Наличие КЗ, естественно, сказывается на вариациях действующих значений сварочного тока и напряжения на дуге. При этом эти изменения могут быть как больше, так и меньше вариаций, вызванных действием других возмущений. Поэтому вариации сварочного тока и напряжения на дуге недостаточно чувствительны к нестабильности КЗ. Более эффективно оценивать стабильность КЗ по среднеквадратичному отклонению их частоты $\sigma(f_{КЗ})$ и длительности $\sigma(\tau_{КЗ})$. Если режим сварки предусматривает отсутствие регулярных КЗ, то нестабильность процесса по

причине КЗ следует оценивать по значению $f_{КЗ}$: чем оно меньше, тем стабильнее процесс сварки.

Ручная сварка покрытым электродом на постоянном токе. Впервые количественную оценку стабильности горения дуги предложил К. К. Хренов [6], который оценивал устойчивость (стабильность) дуги по ее длине при обрыве: чем длиннее дуга при обрыве для неподвижно закрепленного электрода, тем меньше обрывов дуги при сварке, а следовательно, стабильнее ее горение. Недостатком данного метода являются ошибки, вызванные влиянием капель, не успевших оторваться от торца электрода перед разрывом дуги. Этот метод оценки дает разброс 15...30 % [7]. Строго говоря, длина дуги при обрыве является мерой ее «эластичности», которая выделена в отдельный показатель качества дуги [1] и связана с частотой обрывов последней лишь косвенно. В качестве меры равномерности горения дуги для оценки ее стабильности разными авторами используются некоторые статистические параметры сварочного тока и напряжения на дуге.

Так, В. М. Язовских с соавторами предложил в качестве показателей стабильности использовать дисперсию $\sigma^2(I_{св})$ [20], среднеквадратичное отклонение $\sigma(I_{св})$ или коэффициент вариации сварочного тока $K_V^{I_{св}}$ [21, 22]. Авторы считают, что чем меньше значение этих параметров, тем стабильнее горение дуги.

В работе [5] проверена возможность оценки стабильности дуги по $\sigma^2(U_d)$. По мнению авторов, при сварке покрытыми электродами на постоянном токе этот показатель не коррелирован со стабильностью дуги.

Механизированная дуговая сварка на постоянном токе в защитных газах. Большинство опубликованных работ касаются стабильности сварки с КЗ, поскольку процесс сварки со струйным переносом стабильный по своей природе, а с капельным переносом нестабильный. В связи с этим последний способ сварки стараются не применять.

При сварке короткой дугой в углекислом газе и смесях газов перенос расплавленного металла с электрода в сварочную ванну осуществляется во время КЗ дугового промежутка. В результате мгновенные значения сварочного тока и напряжения на дуге периодически изменяются в широких пределах. Проведены многочисленные исследования сварочного тока и напряжения на дуге с целью определения показателей, отражающих стабильность процесса сварки. При этом прежде всего рассматривали статистические параметры сварочного тока и напряжения на дуге. Далеко не полный список этих параметров приведен в табл. 1.



Т а б л и ц а 1. Опубликованные данные о показателях стабильности процессов дуговой сварки

Параметр стабильности процесса сварки	Способ сварки с КЗ	Литературный источник
$\sigma^2(U_d)$	В углекислом газе	[23]
$\sigma(U_d)$	»	[24]
$K_{V^d}^U$	»	[3, 25]
$C_{V^d}^U$	»	[25]
$\sigma(I_{св})$	»	[24]
$K_{V^св}^I$	»	[3, 25]
$C_{V^св}^I$	»	[25]
$\sigma(I_{\max})$	В углекислом газе, в смесях газов	[26, 27]
$\sigma(I_{\min})$	В смесях газов	[28]
$K_{V^{\max}}^I$	В углекислом газе	[2, 29]
$\sigma^2(\tau_{КЗ})$	»	[23]
$\sigma(\tau_{КЗ})$	» В углекислом газе и смесях газов	[24] [27]
$K_{V^{\tau_{КЗ}}}^{\tau}$	В углекислом газе В смесях газов	[3, 30] [31]
$\sigma^2(\tau_d)$	В углекислом газе	[23]
$\sigma(\tau_d)$	» В смесях газов	[24] [27]
$K_{V^{\tau_d}}^{\tau}$	В углекислом газе В смесях газов	[30] [31]
$\sigma^2(f_{КЗ})$	В углекислом газе	[32]
$N_{КЗ}^{\text{сл}}$	В смесях газов	[31]
$\sigma(\tau)$	В углекислом газе и смесях газов В смесях газов без КЗ	[26, 27, 33] [34]
$\sigma(U_d^{\tau})$	Короткой дугой в углекислом газе	[23]
$\sigma(U_d^{КЗ})$	»	[23]
$\bar{\tau}_{КЗ}$	В углекислом газе	[3]
$K_{V^{\tau_{об}}}^{\tau}$	»	[30]
$(I_{св} - U_d)$ -диаграмма	В смесях газов без КЗ	[31]
9-й и 10-й квантили плотности распределения U_d	»	[24]
9-й и 10-й квантили плотности распределения $I_{св}$	»	[24]

П р и м е ч а н и е. $C_{V^d}^U = K_{V^d}^U / f_{КЗ}$ — коэффициент вариации сварочного напряжения, отнесенный к частоте КЗ; $I_{\max}$ — амплитуда тока КЗ; $C_{V^св}^I = K_{V^св}^I / f_{КЗ}$ — коэффициент вариации сварочного тока, отнесенный к частоте КЗ; $\tau_{КЗ}$ — длительность действительного КЗ; $\bar{\tau}_{КЗ}$ — средняя длительность всех КЗ; τ_d — длительность горения дуги между КЗ; τ — среднеквадратичное отклонение длительности периода КЗ, $\tau = \tau_{КЗ} + \tau_d = 1/f_{КЗ}$; $N_{КЗ}^{\text{сл}} = n_{КЗ}^{\text{сл}} / n_{КЗ}^0$ — относительное число случайных кратковременных (длительностью менее 1,5 мс) КЗ, т. е. замыканий, при которых не происходит переход металла в сварочную ванну; $n_{КЗ}^{\text{сл}}$ — количество случайных КЗ; $n_{КЗ}^0$ — общее количество КЗ; U_d^{τ} — напряжение в фазе горения дуги; $U_d^{КЗ}$ — напряжение во время КЗ; $K_{V^{\tau_{об}}}^{\tau} = \sigma(\tau_{об}) / \tau_{об}$ — коэффициент вариации длительности обрыва дуги $\tau_{об}$.



Считается, что чем меньше значение любого из этих параметров, тем стабильнее процесс сварки. Однако для некоторых параметров это не всегда справедливо.

При сварке плавящимся электродом короткой дугой с периодическими КЗ дугового промежутка, импульсной сварке или сварке модулированным током напряжение на дуге и сварочный ток по своей природе имеют импульсный характер, т. е. периодически изменяют свои значения. Любой периодически изменяющийся (модулированный) сигнал по определению имеет значения σ^2 , σ и K_V , отличающиеся от нуля. В качестве примера на рис. 1, б, в приведены результаты моделирования сварочного тока и напряжения на дуге при сварке с периодическими КЗ плавящимся электродом (рис. 1, а). Моделирование проведено для напряжения холостого хода $E1 = 20$ В, напряжения, зависящего от приэлектродного падения напряжения и длины дуги $E2 = 12$ В, внутреннего активного сопротивления источника питания и сварочного контура $R1 = 0,05$ Ом, сопротивления вылета электрода $R2 = 0,05$ Ом, сопротивления столба дуги $R_d = 0,025$ Ом, $\tau = 20$ мс.

На рис. 2 показана зависимость $K_{V\text{св}}^I$ и $K_{V\text{д}}^U$ от коэффициента заполнения импульсов $D = \tau_{\text{КЗ}}/\tau$ и индуктивности дросселя L устройства (рис. 1, а). Кривые приведены для идеально стабильного процесса переноса расплавленного металла в сварочную ванну при постоянной частоте КЗ. Из рис. 2 видно, что даже при идеально стабильном процессе $K_{V\text{св}}^I$ и $K_{V\text{д}}^U$ имеют довольно большие значения, которые изменяются в широких пределах в зависимости от параметров сварочного контура и режима сварки. Нестабильность процесса сварки, т. е. случайные изменения частоты КЗ, времени КЗ, длины дуги и других параметров, естественно, приводят к увеличению коэффициентов вариации по сравнению с идеально стабильным процессом сварки. Но их влияние на $K_{V\text{св}}^I$ и особенно на $K_{V\text{д}}^U$ незначительно. Для примера далее приведены значения $\sigma(U)$ для прямоугольных импульсов единичной амплитуды U_{max} и с коэффициентом заполнения $D = t_{\text{имп}}/T = 0,7$ при случайных изменениях амплитуды T и длительности импульсов $\tau_{\text{имп}}$. Для возмущений амплитуды и длительности импульсов принят нормальный закон распределения со среднеквадратичными отклонениями $\sigma(U_{\text{max}})$ и $\sigma(t_{\text{имп}})$.

Как видно из представленных ниже данных, нестабильность времени горения дуги практически не сказывается на $\sigma(U)$:

$\sigma(t_{\text{имп}})$	0	0,05	0,10	0,15	0,20
$\sigma(U)$	0,25099	0,25106	0,25111	0,25118	0,25124

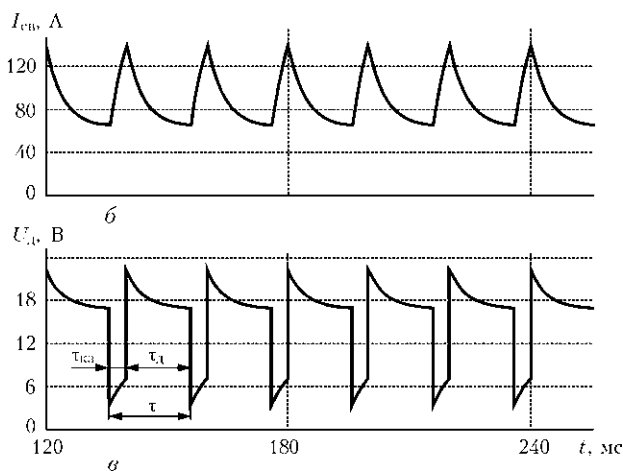
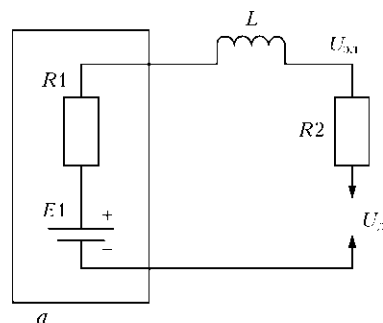


Рис. 1. Эквивалентная схема источника питания со сварочным контуром (а) и осциллограммы сварочного тока $I_{\text{св}}$ (б) и напряжения на дуге $U_{\text{д}}$ (в) ($U_{\text{д}} = E_{\text{д}} + R_{\text{д}} I_{\text{св}}$)

При колебаниях амплитуды импульсов дисперсия $\sigma^2(U_{\text{max}})$ суммируется с дисперсией $\sigma_0^2(U)$, обусловленной только КЗ ($\sigma^2(U_{\text{max}}) = 0$):

$\sigma(U_{\text{max}})$	0	0,05	0,10	0,15	0,20
$\sigma(U)$	0,25099	0,25477	0,26527	0,28172	0,30316

Таким образом, при сварке с периодическими КЗ, импульсной сварке и сварке модулированным током σ^2 , σ и K_V тока сварки (напряжения) характеризуют в основном форму и параметры модуляции тока сварки (напряжения) и в меньшей степени — стабильность процесса сварки.

Отмеченные недостатки $\sigma(U_{\text{д}})$ не имеют места, если использовать отдельно среднеквадратичные отклонения напряжения только во время КЗ $\sigma(U_{\text{КЗ}})$ и горения дуги $\sigma(U_{\text{д}}^{\text{н}})$ [24].

При сварке без регулярных КЗ σ^2 , σ и K_V по определению являются показателями стабильности процесса сварки, отражая также такие нестабильности, как обрывы дуги и КЗ. Однако, если эти возмущения относительно редкие, то, как следует из рис. 2, их влияние на σ^2 , σ и K_V будет невелико. В этом случае целесообразнее измерять непосредственно частоту КЗ $f_{\text{КЗ}}$ и обрывов дуги $f_{\text{об}}$ в качестве показателей стабильности.

Следует иметь в виду, что точность оценки стабильности процесса при сварке без КЗ по значениям σ^2 , σ и K_V уменьшается вследствие помех,

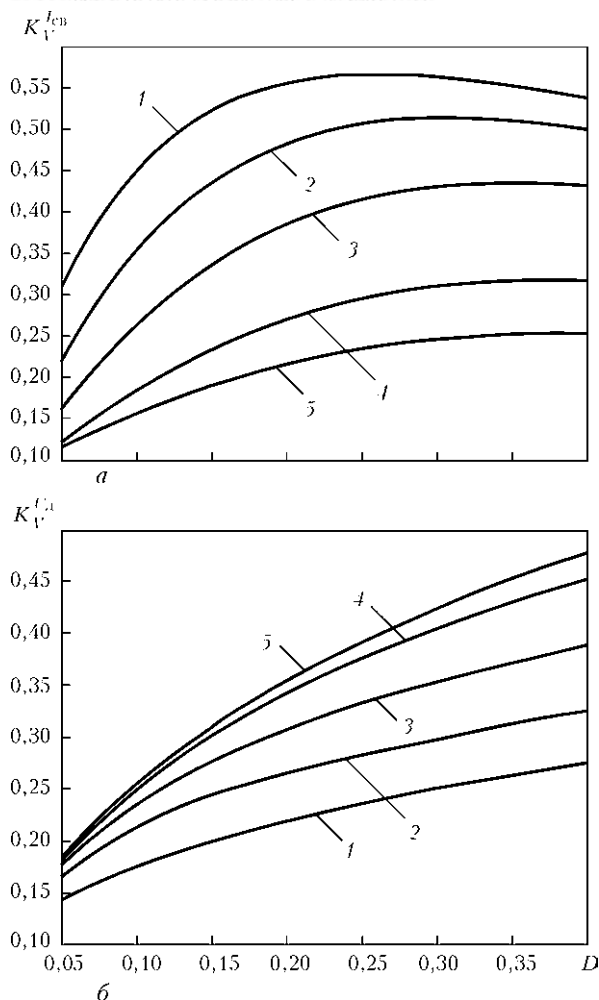


Рис. 2. Зависимость коэффициентов вариации сварочного тока K_V^I (а) и напряжения на дуге K_V^U (б) от коэффициента заполнения импульсов D при разных значениях индуктивности дросселя устройства (см. рис. 1, а): 1 — $L = 0,050$; 2 — $0,125$; 3 — $0,250$; 4 — $0,500$; 5 — $0,750$ мГн

вызванных пульсациями напряжения сварочного источника питания. В шестифазных мостовых выпрямителях, характерных для сварочных тиристорных источников питания, отношение действующего значения основной гармоники (300 Гц) к среднему значению выпрямленного напряжения на холостом ходу в зависимости от угла включения тиристорных может изменяться от 0,05 до 0,37 [37]. Эффективным средством повышения точности оценки параметров нестабильности процесса сварки в этом случае является фильтрация этих помех, поскольку частота изменения сварочного тока и напряжения, вызванные нестабильностью собственно процесса сварки, редко превышает 200 Гц.

В работе [31] для идентификации таких нестабильностей процесса сварки в смесях, как случайные кратковременные КЗ, ненормальное повышение напряжения во время повторного зажигания дуги после КЗ и горения дуги между КЗ, предложено анализировать диаграмму $I_{св} - U_{д}$.

Несколько в стороне находится довольно экзотический показатель стабильности, предложенный в работе [24], — разность между 9-м и 10-м квантилями плотности распределения напряжения на дуге и сварочного тока. Чем ниже их значения, тем стабильнее процесс сварки в смесях газов с КЗ.

Как следует из табл. 1, наиболее популярными для оценки стабильности процесса сварки с КЗ являются параметры стабильности $f_{КЗ}$ и $\tau_{КЗ}$. Можно показать, что эти параметры отражают стабильность переноса металла электрода в сварочную ванну. Действительно, для стабильного процесса сварки плавящимся электродом всегда соблюдается равенство средней объемной скорости плавления электрода и объемной скорости подачи электрода:

$$\bar{v}_{\text{под}} S_{\text{эл}} = f_{\text{КЗ}} Q_{\text{кап}},$$

где $\bar{v}_{\text{под}}$ — линейная скорость подачи электродной проволоки; $S_{\text{эл}}$ — площадь поперечного сечения электрода; $Q_{\text{кап}}$ — объем капли. Если распределение переменных $\bar{v}_{\text{под}}$, $S_{\text{эл}}$ и $Q_{\text{кап}}$ нормальные и их среднеквадратичные отклонения независимы, то для среднеквадратичного отклонения частоты КЗ на основании приведенной выше формулы можно записать:

$$\sigma(f_{\text{КЗ}}) = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{эл}}}{Q_{\text{кап}}}\right)^2 \sigma^2(v_{\text{под}}) + \left(\frac{v_{\text{под}}}{Q_{\text{кап}}}\right)^2 \sigma^2(S_{\text{эл}}) + \left(\frac{v_{\text{под}} S_{\text{эл}}}{Q_{\text{кап}}^2}\right)^2 \sigma^2(Q_{\text{кап}})}.$$

Из этой зависимости видно, что $\sigma(f_{\text{КЗ}})$ прямо характеризует нестабильность скорости подачи электродной проволоки, поперечного сечения проволоки и объема капли. В связи с тем, что нестабильность первых двух параметров невелика, $\sigma(f_{\text{КЗ}})$ в основном является мерой нестабильности объема капли.

Поскольку $f_{\text{КЗ}} = 1/(\tau_{\text{КЗ}} + \tau_{\text{д}})$, аналогичные зависимости можно получить для $\sigma(\tau_{\text{КЗ}})$ и $\sigma(\tau_{\text{д}})$

$$\sigma^2(\tau_{\text{КЗ}}) + \sigma^2(\tau_{\text{д}}) = \left(\frac{1}{v_{\text{под}} S_{\text{эл}}}\right)^2 \sigma^2(Q_{\text{кап}}) + \left(\frac{Q_{\text{кап}}}{v_{\text{под}}^2 S_{\text{эл}}^2}\right)^2 \sigma^2(v_{\text{под}}) + \left(\frac{Q_{\text{кап}}}{v_{\text{под}} S_{\text{эл}}}\right)^2 \sigma^2(S_{\text{эл}}).$$

Как характеристика нестабильности $\bar{v}_{\text{под}}$, $S_{\text{эл}}$ и $Q_{\text{кап}}$ эта формула не имеет никаких преимуществ перед предыдущей. Поэтому достаточно оценивать только $\sigma(f_{\text{КЗ}})$. Однако совершенно очевидно, что, помимо нестабильности объема капли, $\sigma(\tau_{\text{КЗ}})$ и $\sigma(\tau_{\text{д}})$ также несут информацию о флуктуациях других параметров процесса сварки. Например,



$\sigma(\tau_{K3})$ зависит от нестабильности формы капли, изменения ее положения на торце электрода, нестабильности формы тока КЗ, колебаний поверхности сварочной ванны и т. п. В свою очередь значения $\sigma(\tau_d)$ зависят от изменения вылета электрода, колебаний сварочного тока и падения напряжения на дуге, объема оставшегося на торце электрода расплавленного металла при повторном зажигании дуги после окончания КЗ и т. д. Поэтому $\sigma(\tau_{K3})$ и $\sigma(\tau_d)$ вместе более полно характеризуют стабильность процесса сварки с КЗ, чем только $\sigma(f_{K3})$.

В табл. 2 приведены рекомендуемые на основании изложенного выше параметры стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом. Чем меньше значение приведенных параметров, тем стабильнее процесс сварки. Все перечисленные показатели стабильности процесса сварки определяются путем обработки только значений напряжения на дуге и сварочного тока.

Импульсная сварка и сварка модулированным током. Для указанных способов сварки показателями стабильности процесса могут служить в различных сочетаниях в зависимости от режима работы сварочного источника (стабилизация тока или напряжения) следующие параметры: $K_{V_{имп}}^I$, $K_{V_{баз}}^I$, $K_{V_{имп}}^U$, $K_{V_{баз}}^U$, где $I_{имп}$ — ток импульса; $I_{баз}$ — базовый ток; $U_{имп}$ — напряжение импульса; $U_{баз}$ — базовое напряжение.

Поскольку стабильность процесса сварки характеризуется несколькими показателями, возникает потребность сформировать из них один комплексный показатель (целевую функцию) с помощью коэффициентов весомости каждого показателя.

При этом используют следующую функциональную зависимость $\gamma = f(n, b_i, k_i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, где n — количество учитываемых единичных показателей; b_i — коэффициент весомости (важности) i -го показателя; k_i — i -й показатель.

Обычно используется функция вида $\gamma = \sum_i^n b_i k_i$ и крайне редко — $\gamma = \prod_i^n k_i^{b_i}$. Важ-

ным элементом формирования комплексного показателя является задание значений коэффициентов весомости. Существуют десятки способов их определения [35, 36], самый распространенный из них — определение коэффициентов весомости с помощью экспертов.

Для характеристики стабильности процесса сварки (сварка в углекислом газе с КЗ) пока предложен только один комплексный показатель [30]:

$$\gamma = k_0 K_{V^{06}}^{\tau} + k_1 K_{V^{K3}}^{\tau} + k_2 K_{V^d}^{\tau},$$

где k_0 — относительное суммарное время обрывов дуги; k_1 , k_2 — относительное суммарное время соответственно КЗ и горения дуги.

Минимальное значение коэффициента γ соответствует максимально стабильному процессу сварки.

Следует заметить, что в этом комплексном показателе стабильности учитываются обрывы дуги, имеющие место в основном в начале сварки при возбуждении дуги.

В работе [1] надежность установления процесса сварки (начальное зажигание дуги) выделена в отдельный показатель сварочных свойств источников питания и не относится к показателям стабильности процесса сварки.

Кроме того, выбор в качестве коэффициентов весомости k_0 , k_1 и k_2 нельзя считать единственно возможным.

В работе [38] предложен простой комплексный параметр стабильности процесса сварки:

Т а б л и ц а 2. Рекомендуемые параметры стабильности процессов дуговой сварки плавящимся электродом

Параметр стабильности процесса сварки	Ручная сварка		Автоматическая и механизиро- ванная сварка в защитных газах		
	Перемен- ный ток	Постоянный ток		с КЗ	без КЗ
		с КЗ	без КЗ		
$N_{об}$	+	—	—	—	—
$f_{КЗ}$	—	—	+	—	+
$f_{КЗ}^д$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(I) \vee \sigma(I) \vee K_V^I$	+	—	—	—	—
$\sigma^2(U) \vee \sigma(U) \vee K_V^U$	+	—	—	—	—
$\sigma^2(I_{св}) \vee \sigma(I_{св}) \vee K_V^I$	—	—	+	—	+
$\sigma^2(U_{д}) \vee \sigma(U_{д}) \vee K_V^U$	—	—	+	—	+
$\sigma^2(I_{св}^{КЗ}) \vee \sigma(I_{св}^{КЗ}) \vee K_V^{КЗ}$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(I_{св}^д) \vee \sigma(I_{св}^д) \vee K_V^I$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(U_{д}^{КЗ}) \vee \sigma(U_{д}^{КЗ}) \vee K_V^{КЗ}$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(U_{д}^д) \vee \sigma(U_{д}^д) \vee K_V^U$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(f_{КЗ}) \vee \sigma(f_{КЗ}) \vee K_V^f$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(\tau_{КЗ}) \vee \sigma(\tau_{КЗ}) \vee K_V^\tau$	—	+	—	+	—
$\sigma^2(\tau_{д}) \vee \sigma(\tau_{д}) \vee K_V^\tau$	—	+	—	+	—

Примечания. 1. $f_{КЗ}^д$ — частота ложных КЗ. 2. Знаком + показана применимость, а знаком — неприменимость параметра в зависимости от способа сварки и типа переноса металла с электрода в сварочную ванну.

Примечания. 1. f_{K3}^d — частота ложных КЗ. 2. Знаком + показана применимость, а знаком — неприменимость параметра в зависимости от способа сварки и типа переноса металла с электрода в сварочную ванну.



$$PR = \frac{I_{bk} U_{bk}}{I_{mean} U_{mean}},$$

где I_{mean} , U_{mean} — средние значения сварочного тока и напряжения на дуге; U_{bk} — среднеарифметическое оцифрованное значение напряжения, меньшего U_{mean} в интервале измерений; I_{bk} — среднеарифметическое оцифрованное значение сварочного тока, меньшее I_{mean} .

Для стабильного процесса $0,2 < PR < 0,4$ (процесс с КЗ), $0,8 < PR < 0,9$ (капельный перенос), $0,95 < PR < 0,98$ (струйный перенос). В промежуточных зонах процесс сварки проходит нестабильно с повышенным разбрызгиванием.

В той же работе предложены критерии стабильности, представленные в виде набора правил на основе трех безразмерных параметров

$$TI = 1 - \frac{I_{min}}{I_{mean}}, TSI = \frac{I_{max}}{I_{mean}}, DCI = 1 - \frac{U_{bk}}{U_{mean}},$$

где I_{max} , I_{min} — соответственно максимальное и минимальное значения сварочного тока. Эти правила формулируются следующим образом:

если $((TI < 0,1)$ и $(DCI < 0,1)$ и $(TSI < 1,1)$) или $((0,3 < TI < 0,5)$ и $(0,5 < DCI < 0,8)$ и $(TSI < 0,2)$), то процесс сварки стабильный;

если $(0,3 < TI < 0,5)$ и $(0,3 < DCI < 0,5)$ и $(TSI < 0,2)$, то процесс сварки довольно стабильный.

Все численные значения границ приведенных параметров получены в результате обработки экспертных оценок сотрудников Кранфилдского университета (Великобритания).

Заключение. Процесс сварки, отклонение параметров которого от средних значений не превышает заданного уровня, называется стабильным. Мерой стабильности процесса сварки является отклонение его параметров от среднего значения. В качестве отклонения параметра от среднего значения принимается его дисперсия, среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации.

Для оценки стабильности процесса сварки плавающим электродом наиболее просто оценивать стабильность его электрических параметров. Для оценки стабильности процесса импульсной сварки, сварки модулированным током и сварки с переносом металла при периодических КЗ дугового промежутка нецелесообразно использовать дисперсию, среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации сварочного тока и напряжения на дуге.

Набор показателей стабильности процесса сварки зависит от способа сварки и характера переноса металла электрода в сварочную ванну. Набор показателей стабильности процесса сварки объединяется в один комплексный показатель стабильности с учетом коэффициента весомости.

Стабильность процесса сварки зависит от сварочных материалов, сварочного оборудования и режима сварки.

Поэтому сравнивать, например, сварочные материалы исходя из обеспечения стабильности сварки необходимо на одном и том же оборудовании и при одинаковом режиме сварки. Аналогичные условия должны соблюдаться и при исследовании зависимости стабильности процесса сварки от сварочного оборудования и режимов сварки.

1. ГОСТ 25616–83 (СТ СЭВ 3235–81). Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств. — Введ. 28.01.83.
2. Критерии оценки стабильности процесса дуговой сварки на постоянном токе / И. К. Походня, И. И. Заруба, В. Е. Пономарев и др. // Автомат. сварка. — 1989. — № 8. — С. 1–4.
3. Заруба И. И., Латанский В. П., Троицкая Н. В. Статистические показатели стабильности при оценке сварочных свойств источников питания для дуговой сварки // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 86–94.
4. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989. — 264 с.
5. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко и др.; под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1990. — 224 с.
6. Хренов К. К. Электрическая сварочная дуга. — М.; Киев: Машгиз, 1949. — 204 с.
7. Шафранский Л. Г., Орлов Л. Н., Абрашин А. В. Оценка устойчивости дуги переменного тока // Автомат. сварка. — 1972. — № 4. — С. 18–19.
8. Арлаускас В. Ю., Нарушкевичюс И. Р. Количественная оценка стабильности повторного возбуждения сварочной дуги // Там же. — 1974. — № 8. — С. 9–10.
9. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособие / Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.
10. Орлов А. И. Математика случая: Вероятность и статистика — основные факты: Учеб. пособие. — М.: МЗ-Пресс, 2004. — 110 с.
11. Ланкин Ю. Н. Акустическая эмиссия сварочной дуги (Обзор) // Автомат. сварка. — 2001. — № 2. — С. 25–31.
12. Кузьмак Е. М. Вопросы шихтования электродных покрытий // Автоген. дело. — 1938. — № 12. — С. 6–9.
13. Tsuboi J., Sasaki H. Interruption mechanism of the covered electrode arc // Trans. Jap. Welding Soc. — 1971. — № 2. — Р. 67–70.
14. Лугин В. П. Сравнительная оценка стабильности горения дуги при сварке штучными электродами переменным током // Свароч. пр-во. — 1975. — № 1. — С. 39–40.
15. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1970. — 336 с.
16. Троицкий В. А. Влияние индуктивности на форму кривой переменного тока сварочной дуги // Автомат. сварка. — 1974. — № 1. — С. 8–11.
17. Методика определения стабильности дуги переменного тока / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, А. Е. Марченко и др. // Там же. — 1979. — № 12. — С. 16–18.
18. Заруба И. И., Дыменко В. В. Влияние капельного переноса на устойчивость сварочной дуги переменного тока // Там же. — 1983. — № 12. — С. 14–20.
19. Походня И. К. Газы в сварных швах. — М.: Машиностроение, 1972. — 255 с.
20. Пат. 2063316 РФ, МПК В 23 К 31/12, В 23 К 9/073. Метод оценки стабильности горения дуги / В. М. Язовских,



- В. Я. Беленький, Е. А. Кривоносова и др. — Оpubл. 10.07.96.
21. *Yazovskikh V. M., Shumyakov V. I., Boronenkov V. N.* Estimation of the welding electrodes quality by the computer analyses of oscillograms of welding current and voltage // Proc. of the 8th Intern. conf. «Computer technology in welding», June 22–24, 1998, Paris. — Paris, 1998. — 10 p.
 22. *Методика* оценки стабильности горения сварочной дуги / В. М. Язовских, В. Я. Беленький, Л. Н. Кротов, И. Ю. Летагин // Свароч. пр-во. — 1997. — № 4. — С. 18–20.
 23. *On-line* quality monitoring in sort-circuit gas metal arc welding / S. Adolfsson, A. Bahrami, G. Bolmsjo, I. Claesson // Welding J. — 1999. — № 2. — P. 59–73.
 24. *Gupta S. R., Gupta P. C., Rehfeldt D.* Process stability and spatter generation during dip transfer in MAG welding // Welding Rev. — 1988. — Nov. — P. 232–241.
 25. *Методы* сравнительной оценки технологических свойств сварочного оборудования и материалов / И. К. Походня, И. И. Заруба, В. Е. Пономарев и др. // Автомат. сварка. — 1990. — № 5. — С. 1–5.
 26. *Dutra J. C.* Statistical analysis of arc stability in MIG–MAG welding with short-circuit transfer. — S.l., [1990]. — 18 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1172–90).
 27. *Baixo C. E. I., Dutra J. C.* The study of metal transfer on the GMAW process, using a projector and voltage and current oscillographic processing. — S.l., [1990]. — 14 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1174–90).
 28. *Shinoda T., Nishikawa H., Shimizu T.* The development of data processing algorithms and assessment of arc stability as affected by the titanium content of GMAW wires during metal transfer // Proc. of the 6th Intern. conf. «Computer technology in welding», June 9–12, 1996, Lanaken, Belgium. — Lanaken, 1996. — P. 11.
 29. *Методики* комплексной оценки сварочно-технологических свойств источников питания и сварочных материалов / И. К. Походня, И. Сурджан, В. Е. Пономарев и др. // Информ. материалы СЭВ. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — Вып. 1 (37). — С. 44–55.
 30. *Orszagh P., Sencak V.* Criterion of optimalization of GMA/CO₂ welding processes. — S.l., [1989]. — 22 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. SG 212-735–89).
 31. *Shinoda T., Kaneda H., Takeuchi Y.* An evaluation of short circuiting arc phenomena in GMA welding // Welding & Metal Fabrication. — 1989. — Dec. — P. 522–525.
 32. *Hermans M. J. M., Den Ouden G.* Process behavior and stability in short circuit gas metal arc welding // Welding J. — 1999. — Apr. — P. 137s–141s.
 33. *Liu S., Siewert T. A.* Metal transfer in gas metal arc welding: Droplet rate // Welding J. — 1989. — Febr. — P. 53–58.
 34. *Dutra J. C.* Computerized procedure of metallic drop transfer analysis for the determination of pulsed welding variables. — S.l., [1990]. — 11 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1171–90).
 35. *Методы* определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин, В. А. Глотов, В. В. Павельев, А. М. Черкашин // Автомат. и телемеханика. — 1997. — № 8. — С. 3–35.
 36. *Домарев В. В.* Безопасность информационных технологий. Системный подход. — Киев: ООО ТИД «ДиаСофт», 2004. — 992 с.
 37. *Каганов И. Л.* Электронные и ионные преобразователи. Ч. III. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956. — 528 с.
 38. *Ogunbiyi B., Norrish J.* GMAW metal transfer and arc stability assessment using monitoring indices // Proc. of the 6th Intern. conf. «Computer technology in welding», June 9–12, 1996, Lanaken, Belgium. — 10 p.

Formulation of the «stability of GMA welding process» term is suggested. The objective indices of stability are considered and analysed. A set of the indices of process stability is offered for each welding method and metal transfer character.

Поступила в редакцию 25.06.2010,
в окончательном варианте 26.09.2010

НОВАЯ КНИГА

Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. докл. междунар. конф. / Под ред. профессора В. И. Махненко. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2010. — 244 с.

В сборнике представлены доклады Пятой международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах», в которых отражены достижения за последние годы в области математического моделирования физических явлений, протекающих при сварке, наплавке и других родственных процессах. Авторами 37-и докладов являются известные специалисты из Украины, России, Германии, Финляндии и Австралии.

Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов.

**Сборник можно заказать в редакции журнала
«Автоматическая сварка».**





СВОЙСТВА И СТРУКТУРА КОЛЬЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ, ПОЛУЧЕННЫХ ОРБИТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ

Е. Г. ТЕРНОВОЙ, В. Ф. ШУЛЫМ, А. Р. БУЛАЦЕВ, Т. Г. СОЛОМИЙЧУК, инженеры,
В. А. КОСТИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены исследования свойств и структуры металла кольцевых соединений труб из стали 304SS, титанового сплава ПТ-3В и сплава монель, полученных способом орбитальной электронно-лучевой сваркой в вакууме. Выполненные исследования ориентированы на применение оборудования и технологии орбитальной электронно-лучевой сварки для ремонта трубопроводов, расположенных снаружи функционирующих космических объектов.

Ключевые слова: трубопроводы, неповоротные стыки, орбитальная электронно-лучевая сварка, соединения, сталь 304SS, титановый сплав ПТ-3В, сплав монель, механические свойства, макро- и микроструктуры, микротвердость, химическая неоднородность

При выполнении ремонтных работ на борту международной космической станции (МКС) в условиях космоса актуальной является проблема сварки неповоротных стыков трубопроводов различного назначения. Анализ эксплуатации космических объектов, длительное время функционирующих в условиях орбитального полета, в частности, российского орбитального комплекса «Мир», свидетельствует о том, что одними из наиболее уязвимых узлов являются технологические трубопроводы, которые в процессе длительной эксплуатации по различным причинам (механические повреждения, воздействие метеоритных частиц, коррозия и др.) могут приходить в негодность и требовать ремонта в условиях космоса [1–4]. Одна часть трубопроводов находится внутри функционируемых модулей, другая расположена за бортом станции и эксплуатируется в условиях космического вакуума и отрицательных температур. Предполагается, что через 6...10 лет с начала эксплуатации МКС может возникнуть необходимость в их ремонте и соответственно в способах и устройствах для его реализации.

Многолетние исследования, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, показали, что наиболее приемлемыми способами для ремонта трубопроводов, расположенных внутри космического модуля, является способ сварки ТИГ в специализированных накидных камерах с контролируемой атмосферой [5–8], а вне станции — электронно-лучевая сварка (ЭЛС) [3, 4, 8].

Сваркой ТИГ обычно сваривают стыковые соединения с подачей присадочного материала или по отбортовке кромок. Без присадочного мате-

риала сваривают нахлесточные соединения, а также стыковые кольцевые соединения труб многопроходным способом автоопрессовки, прочность которых не ниже соединений, сваренных с подачей присадочной проволоки, которая соответствует составу основного металла [9–13].

При ЭЛС стыковых кольцевых соединений за один проход (без отбортовки кромок) на лицевой части шва образуется занижение, существенно снижающее механические свойства соединений. В связи с этим представляет интерес получение качественного стыкового соединения труб способом ЭЛС без подачи присадочного материала с усилением корневой и верхней части валика шва.

В настоящей работе приведены результаты исследований свойств и структуры соединений труб, полученных при отработке технологии одно- и двухпроходной орбитальной ЭЛС без введения присадочных материалов, с целью получения вакуумплотных, прочных и качественно сформированных сварных соединений для решения проблемы ремонта трубопроводов в открытом космосе.

В процессе проведения экспериментов использовали лабораторный энергокомплекс с электронно-лучевым нагревателем, который вращался вокруг неповоротной трубки (рис. 1). Сварку образцов выполняли встык одним и двумя проходами, без введения присадочных материалов. В качестве образцов использовали трубки диаметром 12,8 мм и толщиной стенки 1,0 мм из нержавеющей стали 304SS, титанового сплава ПТ-3В и никелевого сплава НМЖМц (монель). При этом определяли оптимальные режимы орбитальной ЭЛС, свойства и структурные особенности полученных сварных соединений труб.

Качество полученных соединений оценивали: внешним осмотром; проверкой вакуумной плотности соединений на гелиевом течеискателе ТИ-1-14; механическими испытаниями на разрыв

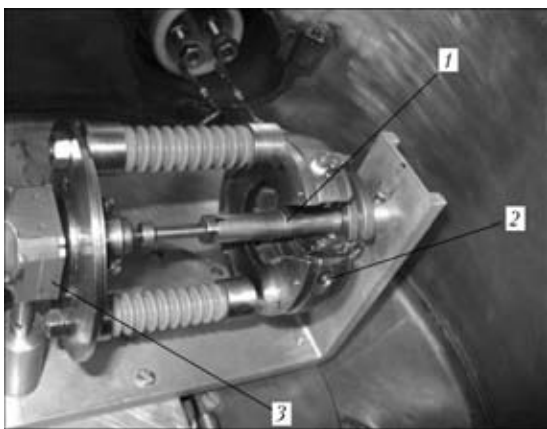


Рис. 1. Опытный образец электронно-лучевого нагревателя для орбитальной ЭЛС стыковых соединений труб: 1 — свариваемый образец; 2 — кольцевой электронно-лучевой нагреватель; 3 — привод орбитального вращения

соединений труб на машине ЦДМ-10 при температуре +20 °С и на машине ИМР при температуре –196 °С; испытаниями на пластичность способом сплющивания согласно ГОСТ 8695–75 на машине ЦДМ-10; исследованиями макро- и микрошлифов соединений. Химический состав основного металла и металла швов определяли спектральным анализом с использованием фотоэлектрического спектрометра ДФС-36.

Металлографические исследования геометрии и структуры металла как всего соединения, так и его отдельных участков выполняли оптическим микроскопом «Neophot-32». Микротвердость соединений $HV\ 1,0$ МПа измеряли на продольных срезах трубок на микротвердомере М-400 фирмы «LECO» с шагом 200 мкм. Структурные составляющие стали 304SS выявляли электрохимическим травлением в 20 % водном растворе хромовой кислоты при напряжении 10 В в течение 5 с, а составляющие титанового сплава ПТ-3В — химическим травлением в реактиве следующего состава: 1 объемная часть HF , 3 объемные части HNO_3 , 6 объемных частей H_2O . Структуру сплава монель выявляли электрохимическим травлением в 20 % водном растворе сернокислого аммония при напряжении 20 В в течение 5 с. Количество δ -феррита в металле шва и основном металле сварных соединений определяли ферритометром Ferrit Gehalt-messer-1.053. Химическую неоднородность основ-

Т а б л и ц а 1. Режимы сварки стыковых кольцевых соединений для орбитальной ЭЛС труб диаметром 12,8×1,0 мм

№ п/п	Материал	$I_{\text{пуч}}, \text{мА}$	$U, \text{кВ}$	$v_{\text{св}}, \text{м/ч}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$
1	304SS	35,0	9,2	22	0,5	14,0	3,0
2	ПТ-3В	32,5	9,5	36	1,5	8,0	3,5
3	Монель	35,0	9,2	15	1,0	16,0	3,0

Примечание. t_1 — время выхода на рабочий режим; t_2 — время сварки на рабочем режиме; t_3 — вывод кратера.

ного металла и металла швов изучали на микроанализаторе SX-50 фирмы «Cameca».

В результате проведенных экспериментов определяли режимы орбитальной ЭЛС кольцевых соединений труб из стали 304SS, титанового сплава ПТ-3В и сплава монель при мощности пучка до 400 Вт. Ускоряющее напряжение, ток пучка, скорость сварки и промежутки времени сварочного цикла выбирали в зависимости от материала трубки. При этом ускоряющее напряжение, ток пучка и скорость сварки идентичны как для однопроводной, так и для сварки за два прохода. Значения режимов сварки приведены в табл. 1.

Анализ макрошлифов соединений труб из стали 304SS, сплава ПТ-3В и сплава монель (рис. 2) показал, что путем выбора режимов сварки можно достичь оптимальной геометрии и удовлетворительного формирования верхнего и корневого валиков усиления без введения присадочных материалов. Проверка на вакуумную плотность сварных соединений не выявила нарушения герметичности швов, полученных с различным количеством проходов.

Следует также отметить, что химический состав металла швов соединений из указанных материалов не отличается от исходного состава основного металла (табл. 2) и не зависит от количества проходов.

Полученные результаты испытаний соединений труб на разрыв (табл. 3) из стали 304SS при температурах испытаний +20 °С и сваренных за один проход показали $0,74...0,77\sigma_{\text{в}}^{0, \text{М}}$, а образцы, полученные за два прохода, — $0,95\sigma_{\text{в}}^{0, \text{М}}$. При температурах испытаний –196 °С эти показатели возросли как для основного металла, так и для свар-

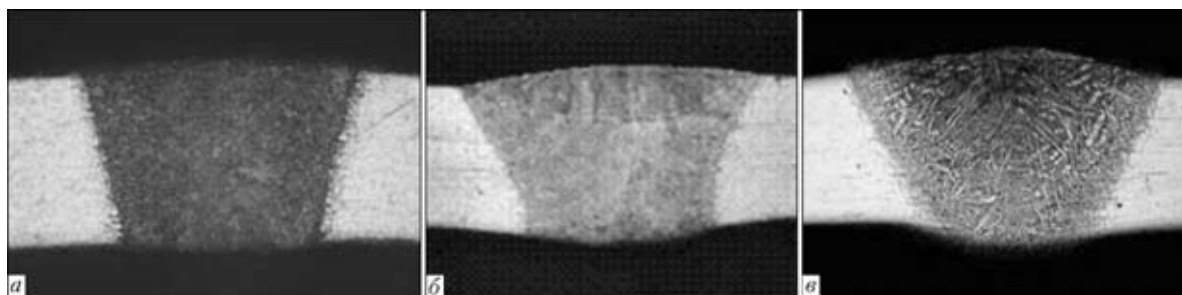


Рис. 2. Макрошлифы (×20) сварных стыковых соединений, полученных орбитальной ЭЛС за два прохода: а — сталь 304SS; б — титановый сплав ПТ-3В; в — сплав монель



Таблица 2. Химический состав (мас. %) и значения временного сопротивления разрыву исследуемых сплавов

Материал	C	Mn	Cr	Ni	Si	P	Cu	Fe	Al	V	Mo	Zr	Ti	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$
304SS	0,20	2,0	18...20	8,0...10,5	1,0	0,045	—	Основа	—	—	—	—	—	800
ПТ-3В	—	0,04	≤0,1	—	0,07	—	—	0,5	3,6	2,4	≤0,3	0,05	Основа	810
Монель	—	1,2	—	Основа	<0,2	—	30,5	2,0	—	—	—	—	—	680



Рис. 3. Образцы сварных соединений труб из титанового сплава ПТ-3В после испытаний на сплющивание: а — основной металл; б — орбитальная сварка за два прохода

ных соединений на 10...15 % по сравнению со значениями, полученными при температуре +20 °С. Показатели прочности соединений из сплава монель аналогичны показателям соединений из стали 304SS. Для титанового сплава ПТ-3В испытания на разрыв выполняли только при температуре +20 °С. Проанализировав результаты проведенных испытаний, можно отметить, что наиболее высокие показатели прочности наблюдались в соединениях с двумя проходами, которые не имели занижений верхнего валика шва.

В ходе испытаний на пластичность сплющиванием сварных соединений и основного металла на образцах из стали 304SS и сплава монель трещины не выявлены, а на образцах из титанового сплава ПТ-3В обнаружены продольные трещины на трубках основного металла и на сварных соединениях (рис. 3).

Разрушение образцов основного металла сплава ПТ-3В (в виде трещин с двух сторон) произошло по всей длине его образующей. На сварных образцах трещины появились также с двух сторон по торцам и остановились на границе основного металла и ЗТВ. Шов и ЗТВ по обеим сторонам от шва оказались настолько пластичными, что

сработали как гасители трещин (рис. 3, б). Это можно объяснить тем, что ЗТВ при сварке этим способом более пластичная по сравнению с основным металлом трубки, который не был подвержен термическому влиянию.

Исследования полированных шлифов соединений из стали 304SS, титанового сплава ПТ-3В и монель показали, что в основном металле стали 304SS и сплава монель выявлены такие неметаллические включения, как оксиды, сульфиды, силикаты и др., в титановом сплаве ПТ-3В неметаллические включения практически не наблюдались.

Микроструктура основного металла и металла швов из стали 304SS (рис. 4, а–в) преимущественно аустенитная с небольшим количеством δ-феррита. Основной металл титанового сплава ПТ-3В (рис. 4, е) состоит из зерен α-фазы, вытянутых вдоль текстуры проката, а металла шва и ЗТВ — из зерен α'-фазы (рис. 4, з, д). На микроструктурах соединений из сплава ПТ-3В отсутствует четкая граница линии сплавления (рис. 4, д). Это способствует улучшению пластичности участка ЗТВ и приостанавливает распространение трещин из основного металла в ЗТВ и шов (рис. 3, б). Наблюдается также ярко выраженная граница ЗТВ и основного металла (рис. 4, е). Микроструктура основного металла и металла шва соединений из сплава монель подобна микроструктуре чистого никеля [14] и имеет однофазный состав твердого раствора на основе никеля (рис. 4, ж, и). Небольшие добавки железа и кремния так же, как и меди, но в большем количестве, находятся в растворе и самостоятельных фаз не образуют.

При исследовании макро- и микроструктур сварных соединений из сплава монель, полученных орбитальной ЭЛС за один проход, в металле швов обнаружена крупная и мелкая пористость (рис. 5). Кроме того, наблюдаются овальные полости, заполненные металлом, с закристаллизовавшейся субмикроструктурой (по стрелке). В швах, полученных за два прохода, таких дефектов не обнаружено.

Образование пор и полостей в соединениях из сплава монель можно объяснить склонностью никеля и его сплавов к образованию пористости при сварке [15], а также

Таблица 3. Значения временного сопротивления разрыву кольцевых соединений труб, полученных орбитальной ЭЛС

Исследуемый участок	Материал	Количество проходов	$\sigma_{\text{в}}$, МПа, при T , °C		Место разрушения
			+20	−196	
Основной металл	304SS	—	798	923	ОМ
Сварной стык		1	620	812	МШ
		2	760	915	ЗТВ
Основной металл	ПТ-3В	—	800	—	ОМ
Сварной стык		1	460	—	МШ
		2	712	—	ЗТВ
Основной металл	Монель	—	670	780	ОМ
Сварной стык		1	560	680	МШ
		2	630	740	ЗС

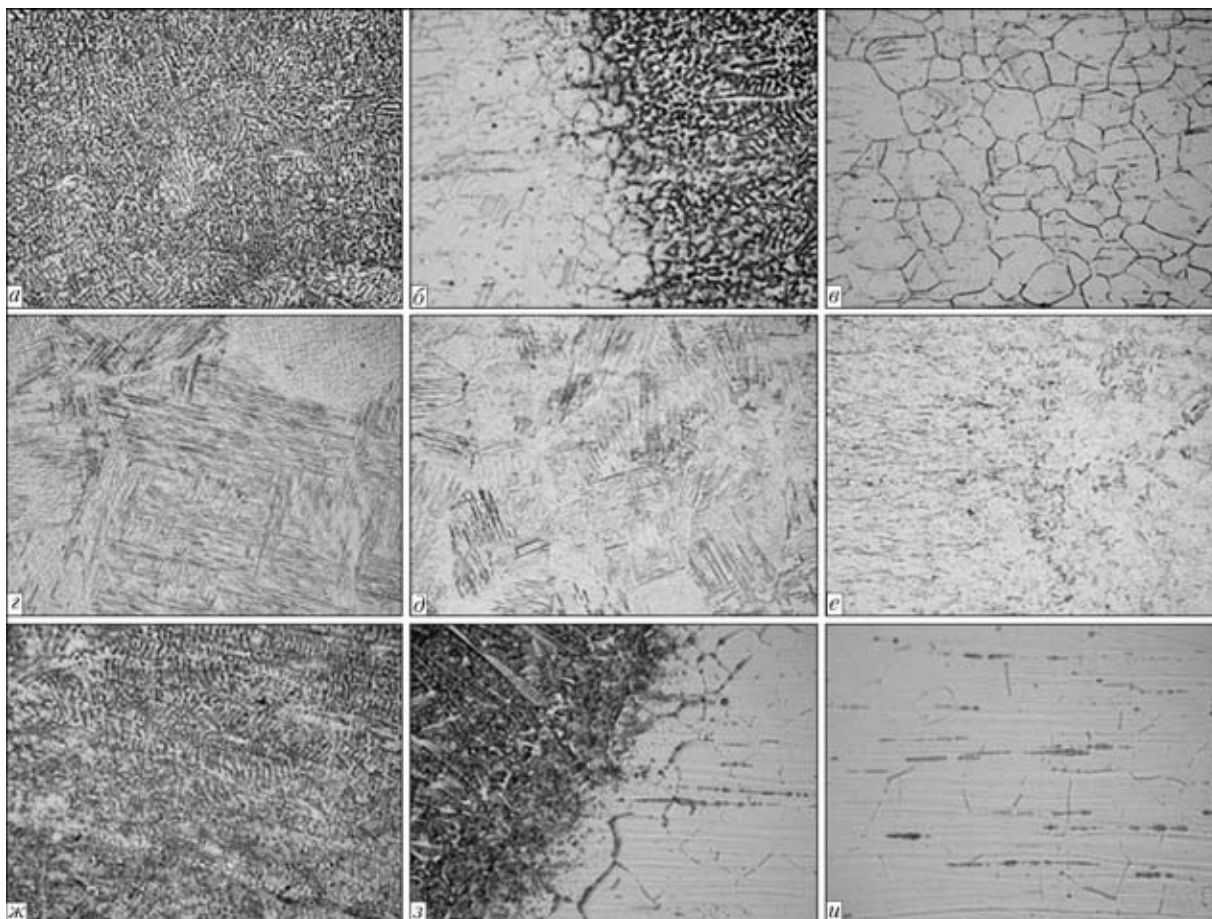


Рис. 4. Микроструктуры ($\times 320$) стыковых соединений труб из стали 304SS (а–в), сплава ПТ-3В (г–е) и сплава монель (ж–и), полученных ЭЛС: а, г, ж — центральные участки металла шва; б, д, з — участки зоны сплавления и крупного зерна ЗТВ; в, е, и — участки границы ЗТВ и основного металла

особенностью гидродинамических процессов переноса жидкого металла в узкой сварочной ванне.

Вместе с тем исследование микроструктуры металла ЗТВ от линии сплавления до границы с основным металлом соединений из сплава монель позволило также выявить наличие темных прослоек по границам зерен как в металле ЗТВ, так и в основном металле, чего не наблюдается в металле шва (см. рис. 4, ж–и).

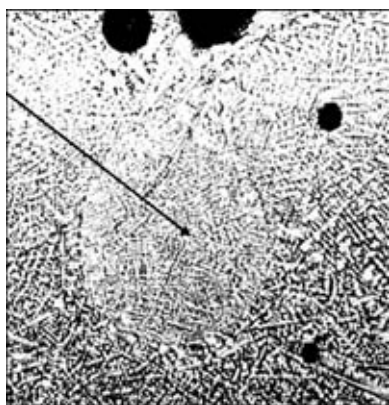


Рис. 5. Микроструктура ($\times 320$) металла шва соединения из сплава монель с пористостью и полостью, заполненной закристаллизовавшимся жидким металлом, после сварки (по стрелке)

Химический состав этих прослоек был изучен на растровом электронном микроскопе JSM-35CF («JEOL», Япония), снабженном системой энергодисперсионного микроанализатора INCA 350. Анализ электронных изображений подтвердил наличие темных прослоек по границам зерен (рис. 6), химический состав которых определили с помощью микроанализатора INCA 350.

Полученные результаты исследований этих участков свидетельствуют о повышенном содержании кислорода (до 2,0 %), а также алюминия (до 0,4 %) и титана (до 0,2 %) по сравнению с их содержанием в теле зерна. По-видимому, по границам зерен происходит преимущественное окисление с образованием оксидов Al_2O_3 и TiO_2 . Наличие оксидов по границам зерен может способствовать повышению напряжений в этих участках, что при определенных условиях может привести к развитию разрушения по ним, в чем, возможно, и есть причина полученных результатов испытаний на разрыв трубчатых соединений из сплава монель (табл. 3).

Результаты металлографических исследований хорошо согласуются с результатами испытаний на разрыв. Швы, выполненные за два прохода, имеют меньше неметаллических включений и пор



Т а б л и ц а 4. Распределение микротвердости сварных соединений труб, полученных орбитальной ЭЛС, МПа

№ п/п	Материал	Количество проходов	Основной металл	ЗТВ			Шов	
				Участок рекристаллизации	Участок перекристаллизации	Участок перегрева	Зона сплавления	Середина шва
1	304SS	1	3060	2920	2500	2130	2380	2430
2		2	2980	2530	2300	2050	2300	2430
3	ПТ-3В	1	2740	2480	2350	2300	2300	2740
4		2	2700	2390	2300	2200	2300	2700
5	Монель	1	1700	1650	1600	1550	1600	1740
6		2	1620	1600	1580	1550	1540	1580

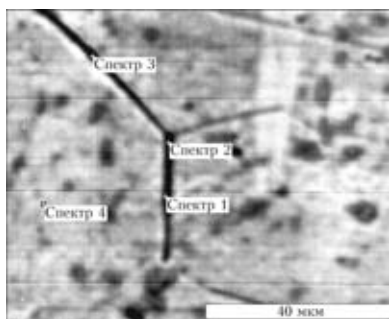


Рис. 6. Прослойки по границам зерен в зоне крупного зерна (у линии сплавления)

по сравнению с однопроходными и соответственно более высокие показатели прочности.

Микротвердость полученных соединений в области металла шва, ЗТВ и в основном металле имеет различные значения в зависимости от материала и количества проходов (табл. 4). Для исследуемых материалов микротвердость после второго прохода более стабильна, но на участке крупного зерна, вблизи линии сплавления, она несколько ниже, чем после первого прохода.

Исследования химической неоднородности микрорентгеноспектральным анализом показали равномерное и равнозначное распределение легирующих элементов в сварных соединениях из стали 304SS, титанового сплава ПТ-3В и сплава монель независимо от количества проходов.

Таким образом, способ орбитальной ЭЛС позволяет получить качественные сварные соединения трубок из нержавеющей сталей, сплава монель и титановых сплавов.

1. Масубиши К. Космические технологии соединений, разработанные в США // Техника сборки и соединения. — 1989. — № 8. — С. 103–108.

Investigations of properties and structure of metal of the tubular joints on steel 304SS, titanium alloy PT-3V and Monel alloy produced by orbital electron beam welding in vacuum are described. The investigations are oriented to using the orbital EBW equipment and technology to repair the pipelines mounted outside the functioning space facilities.

2. Суэздава Э. Космические станции и колонии. Сварка в космосе // Там же. — 1989. — № 9. — С. 66–75.
3. Применение сварки для ремонта космических объектов / Б. Е. Патон, Д. А. Дудко, В. Ф. Лапчинский и др. // Косм. исследования на Украине. — 1973. — Вып. 9. — С. 3–9.
4. Патон Б. Е., Лапчинский В. Ф. Сварка и родственные технологии в космосе. — Киев: Наук. думка, 1998. — 184 с.
5. Некоторые принципы конструирования оборудования для технологических работ в космосе / Б. Е. Патон, В. Ф. Лапчинский, В. В. Стесин и др. // Технология в космосе: Тем. сб. докл. VI Гагаринских чтений. — М., 1977. — С. 16–23.
6. Ремонт трубопроводов орбитальной микросваркой ТИГ внутри обитаемых космических объектов / Е. Г. Терновой, А. Р. Булацев, Т. Г. Соломийчук, В. Ф. Шулым // Автомат. сварка. — 2010. — № 4. — С. 14–19.
7. Патон Б. Е. Космические технологии на рубеже третьего тысячелетия // Там же. — 2000. — № 4. — С. 3–5.
8. Космос: технологии, материаловедение, конструкции / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — 528 с.
9. Абрамов Е. В., Ляшенко В. И., Семенов В. А. Автоматическая сварка тонкостенных труб малого диаметра из стали и титана. Прогрессивные методы обработки металлов и сплавов — Л.: ЛДНТП, 1975. — 27 с.
10. Сварка в машиностроении: Справочник. Т. 1 / Под ред. Н. А. Олышанского. — М.: Машиностроение, 1978. — 304 с.
11. Гриненко В. И., Белкин С. А., Астафурова Н. И. Сварка неповоротных стыков труб из стали 1X18H9T методом автоопрессовки // Свароч. пр-во. — 1963. — № 10. — С. 27–29.
12. А.с. 212409 СССР, МКИ В 23к 9/16, 37/2. Способ сварки автоопрессовкой / В. В. Рошин, Л. И. Акулов, В. И. Гриненко и др. — Оpubл. 05.05.1968; Бюл. № 9.
13. Properties of weld joints made by self-compression method / V. V. Roschin, Yu. S. Ischenko, V. A. Bukarov, V. A. Khavanov. — [1985]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-901–85).
14. Мальцев М. Ф., Барсукова Т. А., Борин Ф. А. Металлография цветных металлов и сплавов. — М.: Металлургиздат, 1960. — 372 с.
15. Багрянский К. В., Кузьмин Г. С. Сварка никеля и его сплавов. — М.: Машгиз, 1963. — 164 с.

Поступила в редакцию 25.03.2010



ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ОДИНАРНЫМ И ДВОЙНЫМ ПРЕЛОМЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Л. А. КРАВЧУК, В. И. ЗАГОРНИКОВ, кандидаты техн. наук, И. А. КУЛЕШОВ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены выбор энергетических и временных параметров электронного пучка при электронно-лучевой сварке труб с трубными досками теплообменных аппаратов из титана и возможность получения кольцевого шва путем одинарного и двойного преломления, а также вращения электронного пучка по стыку с помощью отклоняющей системы. Приведены схема сварки в общем вакууме и режимы, обеспечивающие формирование углового шва без уменьшения проходного сечения трубки диаметром до 40 мм, включая случай, когда трубки выступают над уровнем трубной доски.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, электронный пучок, теплообменный аппарат, труба и трубная доска, схема сварки, одинарное и двойное преломление, отклоняющая система, круговая и локальная развертка

В настоящее время промышленное применение нашли два принципиально различных технологических процесса электронно-лучевой сварки труб с трубными досками. Отличие между ними заключается в различной пространственно-временной ориентации электронного пучка относительно плоскости трубной доски [1, 2]. В случае одинарного преломления электронного пучка и вращении его по стыку с помощью отклоняющей системы относительно не-подвижного изделия (рис. 1, а) имеет место зависимость между глубиной проплавления $h_{пр}$, расстоянием от плоскости фокусировки луча до изделия $f_{л}$, диаметром трубки $D_{тр}$ и уходом преломленного пучка в корне шва от стыка трубка–трубная доска Δk :

$$\Delta k = \frac{D_{тр}}{2f_{л}} h_{пр}.$$

Из данной зависимости видно, что уход преломленного электронного пучка в корне шва от стыка трубка–трубная доска возрастает с увеличением значений $D_{тр}$ и $h_{пр}$ и уменьшается с возрастанием $f_{л}$. Выбрав фокусное расстояние $f_{л} = 150$ мм и глубину проплавления $h_{пр} = 3,5$ мм, получим данные об изменении ухода корня шва от стыка: при $D_{тр} = 8$ мм $\Delta k \approx 0,09$ мм, при $D_{тр} = 16$ мм $\Delta k \approx 0,18$ мм, при $D_{тр} = 24$ мм $\Delta k \approx 0,28$ мм.

При электронно-лучевой сварке трубок с толщиной стенки $\delta = 1,0 \dots 1,5$ мм с трубными досками по схеме с одинарным преломлением электронного пучка (рис. 1, а) для обеспечения соотношения $h_{пр}/\delta \geq 2$ необходимо уменьшать диаметр круговой развертки пучка $d_{круг}$ с помощью отклоняющей системы на $2\Delta k$, чтобы совместить корень шва со стыком трубка–трубная доска. Этот технологический прием может привести к затеканию металла кольцевого сварного шва внутрь

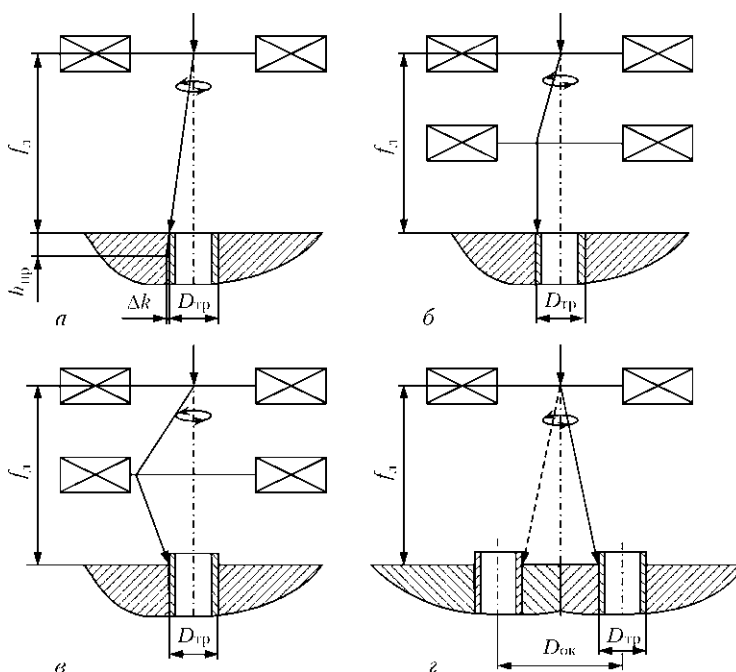


Рис. 1. Схема электронно-лучевой сварки трубок с трубными досками: а — одинарное преломление электронного пучка и вращение его по стыку; б — двойное преломление электронного пучка и вращение его по стыку перпендикулярно поверхности трубной доски; в — двойное преломление электронного пучка и вращение его по стыку при выступающих над поверхностью доски трубках; г — вращение электронного пучка с одинарным преломлением и одновременное перемещение его по координатам x и y по диаметру окружности $D_{ок}$ смещенной трубки



трубки и уменьшению ее проходного сечения при эксплуатации теплообменных аппаратов недопустимо. Устранить наплыв металла внутрь трубки представляется возможным путем применения прецизионных электронно-лучевых пушек с ускоряющим напряжением $U_{\text{уск}} = 60$ кВ и импульсного режима сварки [3], а также ограничения значения диаметра трубки $D_{\text{тр}} \leq 8$ мм. Необходимо отметить, что точность попадания электронного пучка по кольцевому стыку трубка–трубная доска при однократном преломлении и вращении с помощью электромагнитной отклоняющей системы составила не более 0,05 мм.

При электронно-лучевой сварке трубок с трубными досками с двойным преломлением электронного пучка и вращением его с помощью отклоняющей системы перпендикулярно поверхности трубной доски (см. рис. 1, б) представляется возможность исключить Δk и устранить наплыв металла кольцевого сварного шва внутрь трубки диаметром $D_{\text{тр}} > 8$ мм. Преимуществом этого технологического приема является защита ускоряющего промежутка электронно-лучевой пушки анод–катод от пробоев в процессе сварки.

Приведенная на рис. 1, в схема электронно-лучевой сварки трубок с трубными досками с двойным преломлением электронного пучка и вращением его относительно неподвижного изделия с помощью отклоняющей системы позволяет выполнять сварку трубок, выступающих над поверхностью трубной доски. После повторного преломления электронный пучок направляется на стык трубка–трубная доска под углом к поверхности трубной доски, но уже со смещением в ее сторону.

Проплавление сплошных образцов и сварку кольцевых стыков трубка–трубная доска соответственно из титановых сплавов ПТ-7М и ПТ-3В с двойным преломлением электронного пучка осуществляли на лабораторной установке с электронно-лучевой пушкой ЭЛА-60/15 и сферической оптикой Роговского [4], применение которой позволило существенно уменьшить влияние тока пучка на положение фокуса электронного пучка. В качестве отклоняющей системы применяли две пары совмещенных отклоняющих катушек, расположенных соосно одна под другой на расстоянии 100 мм. При внутреннем диаметре отверстия в катушках, равном 63 мм, суммарная высота отклоняющей системы составила 170 мм (рис. 2).

Контроль фокусировки электронного пучка на поверхности плоских образцов и трубной доски при двойном преломлении проверяли визуально по яркости свечения круговой развертки диаметром $d_{\text{круг}} = 8$ мм с током электронного пучка $I_{\text{п}} = 10$ мА на медной массивной пластине, расположенной ниже поверхности трубной доски на $2/3$ глубины проплавления $h_{\text{пр}}$. Такой технологи-



Рис. 2. Внешний вид отклоняющей системы с двойным преломлением электронного пучка, установленной на электронно-лучевой пушке ЭЛА-60/15

ческий прием позволил получить на соединениях трубки из сплава ПТ-3В с толщиной стенки $\delta = 1,5$ мм с трубной доской из сплава ПТ-7М отношение $h_{\text{пр}}/\delta = 4$ без наплывов металла кольцевого сварного шва внутрь трубки.

Для исследования погонной энергии электронного пучка и ширины лицевого валика шва на сварных соединениях трубка–трубная доска проведена серия проплавлений электронным пучком с двойным преломлением на сплошных образцах из титанового сплава ПТ-3В при скорости сварки $v_{\text{св}} = 5 \dots 25$ мм/с. При этом глубину проплавления удерживали постоянной на уровне $h_{\text{пр}} = 7,5$ мм путем изменения тока пучка. Как показано на рис. 3, погонная энергия $q/v_{\text{св}}$ и ширина лицевого валика шва B_1 с увеличением скорости сварки резко уменьшаются, а начиная с $v_{\text{св}} = 15$ мм/с практически стабилизируются. Минимальная ширина шва достигает $B_1 = 1,85$ мм. Таким образом, в дальнейших исследованиях выбор скорости сварки соединений трубка–трубная доска осуществляют из условия $v_{\text{св}} \geq 15$ мм/с. Необходимо отметить, что точность попадания электронного пучка по кольцевому стыку при двойном преломлении и вращении с помощью двух электромагнитных отклоняющих систем была не хуже, чем при одинарном преломлении, и составила не более 0,05 мм.

При схеме сварки с двойным преломлением электронного пучка (см. рис. 1, б), когда после отклоняющей системы пучок направлен перпендикулярно поверхности трубной доски (параллельный перенос), необходимо исследовать влияние двойного преломления пучка на геометрию проплавления, а главным образом — на глубину проплавления $h_{\text{пр}}$ и ширину лицевого валика шва B_1 . Для решения этой задачи выполнена серия проплавлений на сплошном образце из титанового сплава ПТ-3В при диаметре круговой развертки

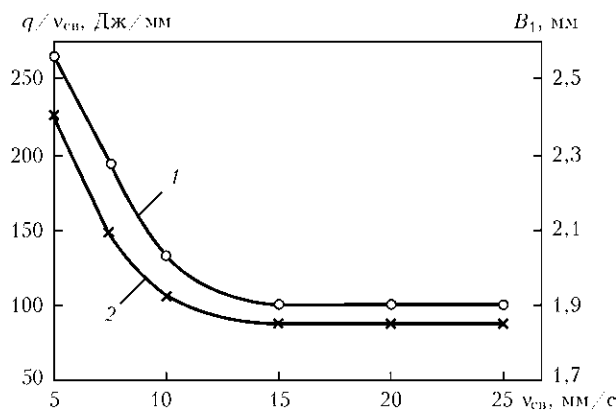


Рис. 3. Зависимость погонной энергии q/v_{sw} электронного пучка (1) и ширины лицевого валика шва B_1 (2) от скорости сварки v_{sw} на режиме сварки: $h_{пр} = 7,5$ мм; $U_{уск} = 60$ кВ; $I_{ф} = 560$ мА; $d_{круг} = 10$ мм; $f_{л} = 200$ мм

электронного пучка в плоскости трубной доски $d_{круг} = 10...40$ мм. На поперечных шлифах проплавления (рис. 4) видно, что геометрия швов ($h_{пр}$, B_1), выполненных без преломления электронного пучка ($d_{круг} = 0$) и с двойным преломлением ($d_{круг} = 40$ мм), практически не отличается. Можно сделать вывод, что схема электронно-лучевой сварки с двойным преломлением электронного пучка может быть рекомендована для промышленного применения при сварке трубок с трубными досками и диаметре трубки до 40 мм включительно.

При электронно-лучевой сварке с одинарным и двойным преломлением электронного пучка получение сварных соединений трубка–трубная доска с минимальными (около 5 %) колебаниями глубины проплавления по длине шва достигается введением круговой локальной развертки со скоростью, превышающей скорость сварки [5]. Поперечные размеры корневой части шва в основном определяются диаметром круговой локальной развертки электронного пучка $d_{лок}$. Необходимо отметить, что этот технологический прием позволяет снизить требования к точности совмещения круговой развертки электронного пучка $d_{круг}$ с кольцевым стыком до $\pm 0,15$ мм. Серия проплавлений, выполненных на сплошном образце из титанового сплава ПТ-3В при изменении диаметра локальной развертки электронного пучка в диапазоне $d_{лок} = 0...1,25$ мм с частотой локального вращения $f_{лок} = 1000$ Гц, позволила установить изменение геометрических параметров шва ($h_{пр}$, B_1 , $B_{ср}$) и возможность выбора диаметра локальной развертки $d_{лок}$ по ширине лицевого валика шва B_1 и ширине средней части шва на половине глубины проплавления $B_{ср}$. Как показано на рис. 5, при диаметре локальной развертки $d_{лок} = 0,5$ мм можно получить швы с шириной лицевого валика $B_1 = 2$ мм и соотношением $h_{пр}/\delta > 3$ при толщине стенки трубки $\delta = 1,5$ мм. При этом затекание ме-

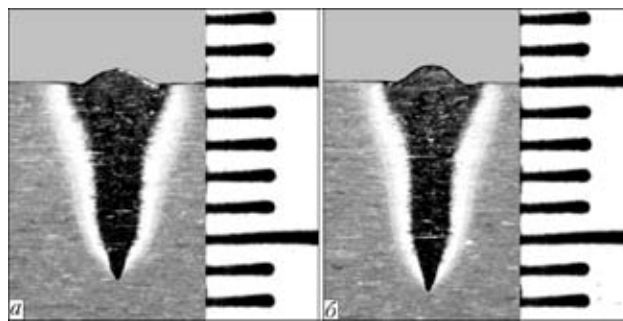


Рис. 4. Поперечные шлифы ($\times 7$) проплавления на титановом сплаве ПТ-3В, полученные электронно-лучевой сваркой электронным пучком без преломления ($d_{круг} = 0$ мм) (а) и с двойным преломлением ($d_{круг} = 40$ мм) (б) на следующем режиме: $U_{уск} = 60$ кВ; $I_{п} = 25$ мА; $v_{sw} = 15$ мм/с; $f_{л} = 200$ мм

талла кольцевого сварного шва внутрь трубки исключается.

Влияние положения фокуса электронного пучка относительно поверхности трубной доски на глубину проплавления $h_{пр}$ и ширину лицевого валика шва B_1 с двойным преломлением пучка исследовали путем проведения серии проплавлений на титановом сплаве ПТ-3В при изменении тока фокусирующей линзы $I_{ф}$ от оптимального значения в меньшую и большую сторону примерно на 3 %. Оптимальное значение $I_{ф}$ обеспечивает максимальную глубину проплавления $h_{пр}$ и минимальную ширину лицевого валика шва B_1 . Как показано на рис. 6, максимальная глубина проплавления $h_{пр} = 7,8$ мм соответствует току фокусировки $I_{ф} = 560$ мА и расположению фокуса электронного пучка ниже поверхности образца на $2/3$ глубины проплавления. Введение круговой локальной развертки $d_{лок} = 0,5$ мм приводит к уменьшению глубины проплавления в 1,47 раза при сохранении ширины лицевого валика B_1 . Изменение значения тока фокусирующей линзы от оптимального на 0,9 % ($\Delta I_{ф} = 5$ мА) приводит к уменьшению глубины проплавления на 0,6 ($d_{лок} = 0$) и на 0,2 мм ($d_{лок} = 0,5$ мм). Таким образом, введение круговой локальной развертки электрон-

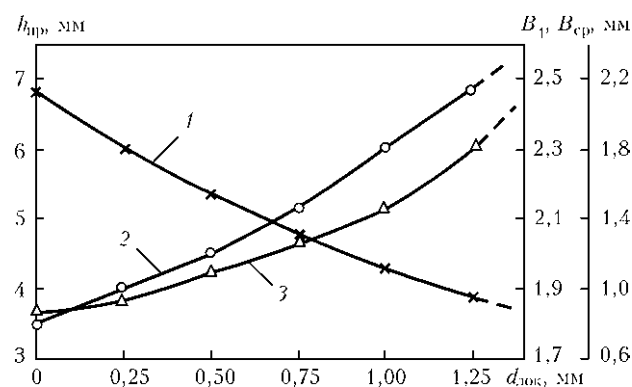


Рис. 5. Зависимость глубины проплавления $h_{пр}$ (1), ширины лицевого валика шва B_1 (2) и ширины средней части шва на половине глубины проплавления $B_{ср}$ (3) от диаметра локальной развертки электронного пучка при $U_{уск} = 60$ кВ; $I_{п} = 30$ мА; $v_{sw} = 15$ мм/с; $I_{ф} = 560$ мА; $f_{л} = 200$ мм; $d_{круг} = 10$ мм

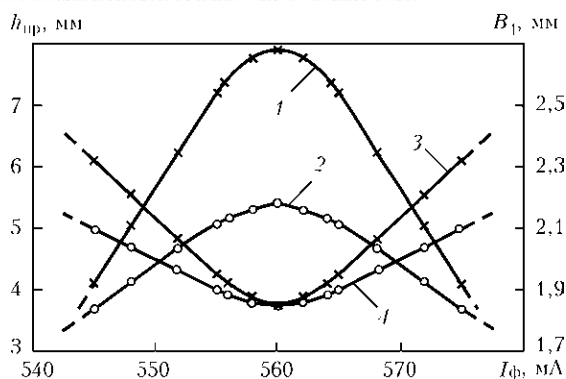


Рис. 6. Зависимость глубины проплавления $h_{пр}$ (1, 2) и ширины лицевого валика шва B_1 (3, 4) при $d_{лок} = 0$ (1, 3) и 0,5 мм (2, 4) от тока фокусирующей линзы $I_{ф}$ при $U_{уск} = 60$ кВ; $I_{п} = 30$ мА; $v_{св} = 15$ мм/с; $f_{л} = 200$ мм; $d_{круг} = 10$ мм

ного пучка позволяет существенно уменьшить зависимость глубины проплавления от тока фокусирующей линзы. Кроме того, как видно на поперечных шлифах проплавления (рис. 7), при электронно-лучевой сварке соединений трубка-трубная доска с двойным преломлением электронного пучка и круговой локальной разверткой имеет место увеличение поперечных размеров средней и корневой части шва примерно на значение $d_{лок} = 0,5$ мм.

Электронно-лучевая сварка соединений трубка-трубная доска теплообменных аппаратов может быть выполнена в случае, если трубка диа-



Рис. 8. Внешний вид специализированной установки УЛ-178М для электронно-лучевой сварки труб с трубными досками

метром $D_{тр} \geq 40$ мм выступает над поверхностью трубной доски. Для осуществления этой операции необходимо электронный пучок после первого преломления отклонить таким образом, чтобы в плоскости повторного преломления он разворачивался в круг диаметром $d_{круг} > D_{тр}$. После повторного преломления с помощью отклоняющей системы электронный пучок направляется под углом к оси трубки (см. рис. 1, в). Попадание корня

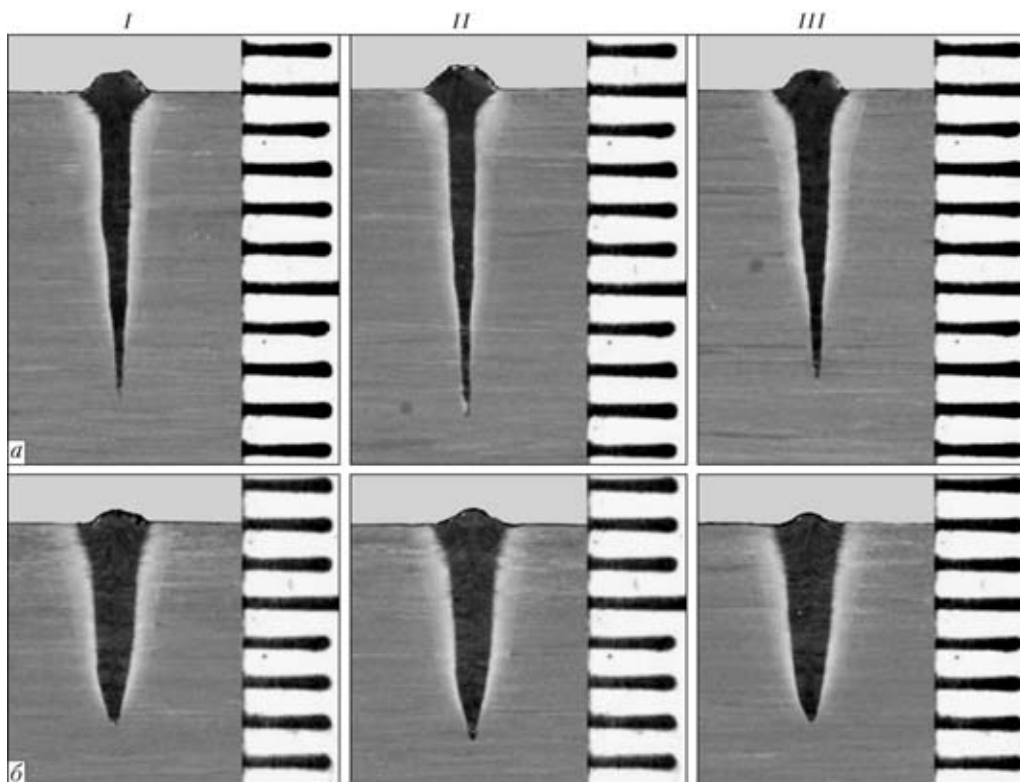


Рис. 7. Поперечные шлифы ($\times 5$) проплавления на титановом сплаве ПТ-3В, полученные электронно-лучевой сваркой с двойным преломлением электронного пучка без локальной развертки ($d_{лок} = 0$) (а) и с круговой локальной разверткой ($d_{лок} = 0,5$ мм) (б) при $I_{ф} = 558$ (I), 560 (II) и 562 мА (III) на следующем режиме: $U_{уск} = 60$ кВ; $I_{п} = 30$ мА; $v_{св} = 15$ мм/с; $d_{круг} = 10$ мм; $f_{л} = 200$ мм



Рис. 9. Макрошлиф ($\times 3$) сварного соединения выступающей трубки ($D_{\text{т}} = 27$ мм с толщиной стенки $\delta = 3$ мм) с трубной доской, полученного электронным пучком с одинарным преломлением и перемещением трубки по координатам x и y по диаметру ее окружности, на следующем режиме сварки: $U_{\text{уск}} = 60$ кВ; $I_{\text{п}} = 30$ мА; $v_{\text{св}} = 15$ мм/с; $f_{\text{л}} = 200$ мм

шва на стыке трубка–трубная доска обеспечивается путем смещения электронного пучка в сторону трубной доски.

В случае, когда трубка выступает над поверхностью трубной доски, можно применить схему сварки, при которой смещенная относительно оси пушки трубка на расстояние $(D_{\text{тр}}/2 + \Delta k)$ перемещается по координатам x и y по диаметру окружности $D_{\text{ок}}$ с одновременным вращением электронного пучка с одинарным преломлением для попадания по стыку трубка–трубная доска (см. рис. 1, ε). Такая схема сварки реализована на специализированной установке УЛ-178М (рис. 8), разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона. Двухуровневая многопроцессорная автоматизированная система управления CNC+PLC позволяет перемещать по программе теплообменный аппарат внутри вакуумной камеры по координатам x и y и управлять мощностью, фокусировкой и отклонением электронного пучка. Как показано на рис. 9, при электронно-лучевой сварке трубки диаметром $D_{\text{тр}} = 27$ мм с толщиной стенки 3 мм из сплава ПТ-7М с трубной доской из сплава ПТ-3В для совмещения корня шва со стыком трубка–трубная доска угол отклонения электронного пучка от вертикальной оси составил $4^\circ 30'$, а его смещение в сторону трубной доски — $\Delta k = 0,3$ мм.

The paper deals with selection of energy and time parameters of the electron beam in electron beam welding of tubes to tubesheets of heat exchangers from titanium and possibility of producing a circumferential weld by single and double refraction and electron beam rotation around the butt by the deflecting system. Given is the schematic of welding in general vacuum and modes ensuring weld formation without reducing the flow area of a tube of up to 40 mm diameter, including the case with tube protrusion above the tubesheet level.

Выводы

1. Электронно-лучевая сварка соединений трубка–трубная доска из титановых сплавов с двойным преломлением электронного пучка и вращением по стыку с помощью отклоняющей системы при неподвижном изделии обеспечивает формирование сварного шва без изменения геометрии проплавления до диаметра трубки $D_{\text{тр}} = 40$ мм включительно.

2. Минимальные значения погонной энергии электронного пучка и ширины лицевого валика шва обеспечиваются при скорости сварки $v_{\text{св}} \geq 15$ мм/с.

3. Применение круговой локальной развертки электронного пучка при двойном преломлении позволяет уменьшить колебания глубины проплавления по длине шва, увеличить поперечные размеры средней и корневой его части и уменьшить зависимость глубины проплавления от тока фокусирующей линзы.

4. Двойное преломление электронного пучка и вращение его по стыку трубка–трубная доска с помощью отклоняющей системы при неподвижном положении изделия позволяет выполнять электронно-лучевую сварку в случае, если трубка выступает над поверхностью трубной доски.

5. При таком положении трубки электронно-лучевую сварку можно осуществить путем программно-перемещения трубки по координатам x и y по окружности с одновременным вращением отклоненного электронного пучка по стыку.

1. *Goussain J. C., Penven Y.* Essais d'application industrielle du soudage par F.E. pour l'assemblage des tubes sur plaques tubulaires // Soudage et techniques connexes. — 1979. — 33, № 1/2. — S. 29–42.
2. *Трунов Е. Н.* Требования к оборудованию для электронно-лучевой сварки теплообменных аппаратов // Автомат. сварка. — 1981. — № 10. — С. 58–60.
3. *Кравчук Л. А.* Импульсная электронно-лучевая сварка трубок с трубными досками из титана // Там же. — 1978. — № 6. — С. 53–56.
4. *Lawrence G. S.* Some improvements in beam quality for high voltage beam welders // Electron and ion beam science and technology: 5th Intern. conf., Houston, Texas, 1972. — P. 354–371.
5. *Кравчук Л. А., Изумнов В. П.* Электронно-лучевая сварка тонкостенных труб малого диаметра с трубными досками // Автомат. сварка. — 1988. — № 8. — С. 50–52, 60.

Поступила в редакцию 08.07.2010



ДЕФОРМАЦИИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МНОГОСЛОЙНОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ

С. М. КОЗУЛИН, инж., И. И. ЛЫЧКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты экспериментального определения значения и характера развития деформаций при многослойной электрошлаковой сварке. Установлено, что общий характер конечного распределения перемещений свариваемых кромок аналогичен однопроводной электрошлаковой сварке.

Ключевые слова: многослойная электрошлаковая сварка, поперечные деформации, поступательное перемещение, усадка сварного шва, угловой поворот кромок

Обеспечение точности геометрических размеров изделий при изготовлении или восстановлении негабаритных конструкций с применением электрошлаковой сварки (ЭШС) — важная задача повышения эффективности сварочного производства.

Метод дозированного противодействия [1], успешно применяемый в производстве, обеспечивает точность геометрических размеров крупных сварных изделий, которая приближается к механической обработке.

Однако при ремонте крупных деталей машин с использованием многослойной ЭШС (МЭШС) указанный метод применить практически невозможно, поскольку нельзя воспроизвести определенные условия закрепления свариваемых кромок из-за наличия формирующих металлических перемычек, препятствующих свободной усадке кристаллизующегося металла шва, а также вследствие неодновременности заварки всей толщины изделия [2].

В связи с отсутствием методик расчета ожидаемые деформации при МЭШС изучали экспериментальным путем. При традиционной ЭШС наибольшего значения достигают поперечные деформации [3, 4], приводящие к уменьшению зазора между соединяемыми деталями, поперечной усадке и угловым деформациям в плоскости свариваемого стыка. При этом поступательное перемещение соединяемых частей наиболее интенсивно происходит в первоначальный период сварки. Например, в течение первых 40...60 мин наблюдается начальная усадка, составляющая 60...70 % всего поступательного перемещения кромок. С увеличением толщины свариваемого металла поступательное перемещение возрастает [1].

Угловые деформации (поворот в плоскости свариваемых кромок) приводят к закрытию зазора между кромками. Эти деформации, как и поступательные перемещения, наиболее интенсивны в

первоначальный период сварки. Затем, по мере возрастания сопротивления закристаллизовавшейся части шва, поворот уменьшается и в некоторых случаях может закончиться даже до окончания сварки [5]. Угловой поворот в значительно большей степени зависит от условий закрепления кромок, а также режима сварки и может достигать 0,02...0,03 рад (1...2°) и приводить к опасной возможности замыкания мундштуков на изделие. При сварке окончательно обработанных крупногабаритных заготовок неучтенные остаточные угловые деформации могут внести существенные отклонения геометрических размеров изделия от его чертежных размеров.

При выполнении МЭШС образуются те же виды деформаций, что и при однопроводной ЭШС. Однако к обычным условиям образования деформаций добавляются такие факторы, как неодновременность заварки всей толщины стыка (постоянное увеличение сопротивления усадке кристаллизующегося металла при выполнении каждого слоя), последовательность (порядок) наложения слоев и возможность поворота кромок в плоскости, перпендикулярной сварному многослойному шву (рис. 1).

При экспериментальном исследовании временных и остаточных деформаций такие виды деформаций, как выпучивание кромок и деформации, вызываемые структурными превращениями, считали учтенными в основных видах поперечной деформации. В настоящей работе продольную деформацию (укорочение по длине шва) не учитывали в связи с тем, что существенное влияние на точность изготовления сварной конструкции она оказывает при ЭШС замкнутых контуров (например, кольцевых швов), а при ЭШС прямолинейных стыков она незначительна [3].

Сварку натурных образцов, имитирующих крупный дефект (сквозную трещину), выполняли плавящимся мундштуком с помощью аппаратов А-645М и А 1304 и источника питания ТШС 3000/3. Образцы из сталей 35Л и 34Л-ЭШ были следующих размеров, мм: толщина 300 и 600, высота стыка 500...650, ширина 1200...1400. В зависимости от

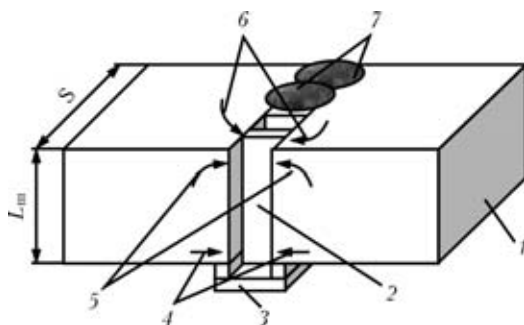


Рис. 1. Схема ожидаемых деформаций деталей при МЭШС: 1 — свариваемая деталь образца; 2 — формирующая пере-
мычка; 3 — входной технологический карман; 4 — попереч-
ная усадка Δb ; 5 — поворот свариваемых деталей в плоскости
стыка β ; 6 — поворот свариваемых деталей в плоскости,
перпендикулярной сварному многослойному шву γ ; 7 — вы-
полненные слои сварного шва; S , $L_{ш}$ — толщина и длина
сварного стыка

толщины стыка заваривали соответственно за че-
тыре и семь проходов с различной последователь-
ностью наложения слоев на удельной погонной
энергии МЭШС $E_{св} = 110 \dots 170$ кДж/см². Параметры
режима сварки контролировали с помощью инфор-
мационно-измерительной системы СУ-150 [6].

Перемещения кромок измеряли по контроль-
ным меткам (кернам) с помощью штангенцирку-
ля, имеющего точность 0,01 мм. Контрольные
метки наносили с двух сторон свариваемых кро-
мок на базе 140 и 200 мм (рис. 2). Замеры осу-
ществляли через каждые 20 мин в процессе вы-
полнения слоя (шва), а также перед началом вы-
полнения каждого последующего слоя. Фактес-
кое поступательное перемещение (поперечную
усадку шва) Δb определяли как разность в замерах
расстояний между контрольными точками ниж-
них частей кромок с обеих сторон стыка. Фак-

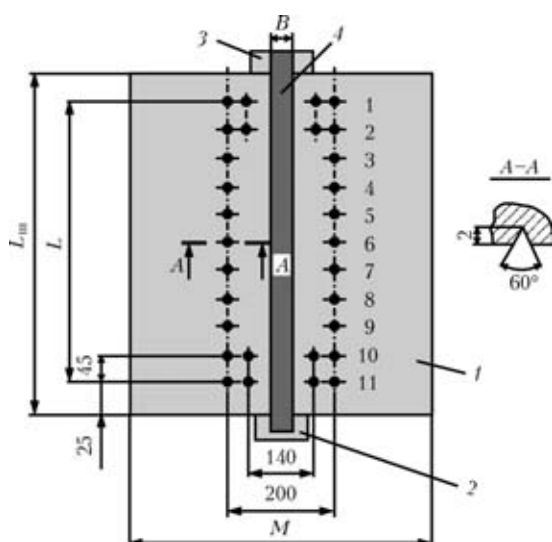


Рис. 2. Схема расположения контрольных меток (1–11) для
замеров поступательных перемещений свариваемых кромок:
1 — свариваемые детали; 2 — входной карман; 3 — выходная
планка; 4 — формирующая переычка; $L_{ш} = 500 \dots 650$ мм;
 $M = 1200 \dots 1400$ мм, $L = 450 \dots 600$ мм (B — сварной зазор)

тический угол поворота свариваемых частей β оп-
ределяли после наложения каждого слоя по из-
вестному выражению из работы [7]:

$$\beta = \frac{\Delta b_{ф.в} - \Delta b_{ф.н}}{L} [\text{рад}], \quad (1)$$

где $\Delta b_{ф.в}$, $\Delta b_{ф.н}$ — фактическое значение посту-
пательного перемещения кромок соответственно
вверху и внизу стыка, мм; L — расстояние между
точками замеров, мм.

Установлено, что поступательное перемеще-
ние и поворот деталей при ЭШС не взаимосвя-
заны. Поэтому поступательные перемещения и уг-
лы поворота деталей при выполнении МЭШС
измеряли на одних и тех же образцах по методике,
приведенной в работе [7].

Общий характер деформаций свариваемых
кромки аналогичен однопроходной ЭШС [5]. Од-
нако наличие установленных в зазоре формиру-
ющих металлических переычек, препятствующих
свободной усадке сварного шва, а также спосо-
б заполнения разделки присадочным металлом
вносят определенные изменения в характер де-
формирования заготовок.

На рис. 3 представлены результаты переме-
щений контрольных точек в зависимости от их
координат на кромке и координаты длины вы-
полненных слоев при наложении последних от
одного края стыка к другому. Вертикальная ось
является начальным положением кромки перед
выполнением первого слоя. По горизонтальной
оси отложено перемещение одной кромки, т. е.
половина измеренного значения. В отличие от од-
нопроходной ЭШС [5] в данном случае после вы-
полнения первого слоя наблюдается заметное рас-

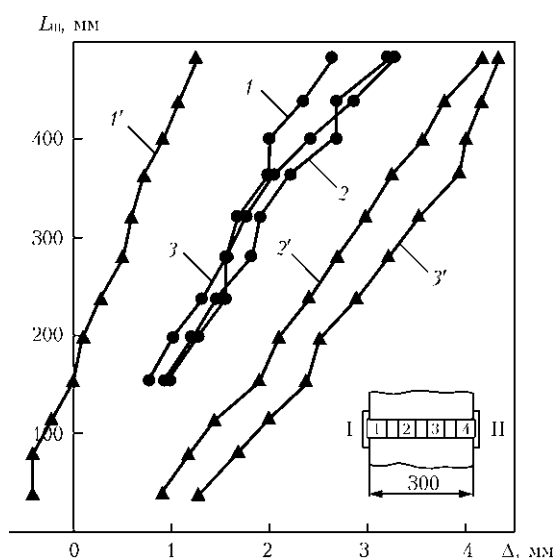


Рис. 3. Распределение перемещений свариваемых кромок Δ
при выполнении МЭШС с наложением слоев от одного края
стыка к другому: 1...3 — перемещение кромок с I стороны
после выполнения первого, второго и четвертого слоев; 1'...3'
— то же со II стороны

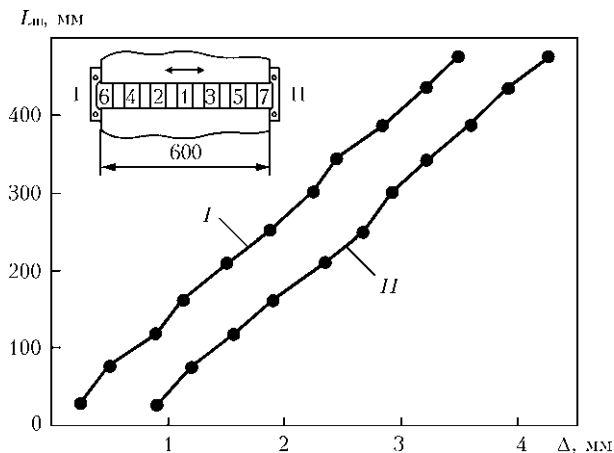


Рис. 4. Конечное распределение перемещений свариваемых кромок при выполнении МЭШС с наложением слоев от середины стыка к краям: I, II — номера сторон свариваемого стыка

крытие нижних кромок (см. рис. 3, кривая I'). Это можно объяснить следующими причинами. Так как толщина выполняемого слоя намного (в 4...15 раз) меньше толщины всего стыка, силы, возникающие при усадке металла первого слоя шва в верхней части стыка, преодолевают сопротивление начального участка слоя и раздвигают нижние кромки. При наложении последующих слоев сопротивление возрастает и нижние кромки вначале возвращаются в исходное (первоначальное) положение, а затем продолжают сближаться. Кроме того, при МЭШС практически отсутствуют перегибы кривой перемещения в начале и конце

шва (см. рис. 3), характерные для традиционной ЭШС [4, 5], т. е. по длине стыка при наложении каждого последующего слоя происходит равномерное (линейное) увеличение угловой деформации.

Из рис. 4 видно, что конечное перемещение кромок (после заварки всего стыка), расположенных с противоположных сторон стыка, различное.

Для возможности учета ожидаемой усадки и поворота кромок изучали поступательное перемещение нижних частей (контрольные метки II, рис. 2) соединяемых кромок Δb и их поворот β в зависимости от последовательности выполнения слоев и их количества.

При последовательном наложении слоев от одного края стыка к другому поступательное перемещение кромок (поперечная усадка) противоположных краев стыка происходит неодинаково (рис. 5, а). Усадка кромок, расположенных со стороны, где выполнялся первый слой, практически полностью завершается после наложения этого слоя и при наложении следующих слоев не изменяет своего значения (рис. 5, а, кривая I). В связи с этим конечная усадка указанных кромок невелика и не превышает 1,5 мм. Поступательное перемещение кромок, расположенных со стороны последнего накладываемого слоя многослойного шва, нарастает постепенно по мере увеличения количества слоев (рис. 5, а, кривая 2). Следует отметить, что после выполнения первого слоя наблюдается даже некоторое раскрытие кромок, вызванное их поворотом в результате усадки относительно продольной оси, проходящей через центр первого слоя. После наложения третьего слоя дальнейшего увеличения поступательного перемещения не происходит, что вызвано возросшим сопротивлением усадке металла ранее наложенных слоев. Поступательное перемещение указанных кромок при наложении последующих слоев не превышает 2,4...2,5 мм.

При выполнении МЭШС с наложением слоев от центра стыка к его краям перемещение кромок, расположенных с противоположных краев стыка, имеет более сложный характер. После заварки центрального отверстия усадка незначительна и достаточно равномерна с обеих сторон стыка, однако после выполнения второго (соседнего) слоя свариваемые кромки, со стороны которых наложен этот слой, сближаются, а противоположные расходятся (рис. 5, б). После наложения третьего слоя (с противоположной стороны от центрального) наблюдается обратная картина. Однако кромки, расположенные с I стороны (рис. 5, б, кривая I), раздвигаются значительно меньше, чем противоположные после наложения второго слоя. При этом абсолютная величина поступательного перемещения указанных кромок после наложения третьего слоя в несколько раз меньше переме-

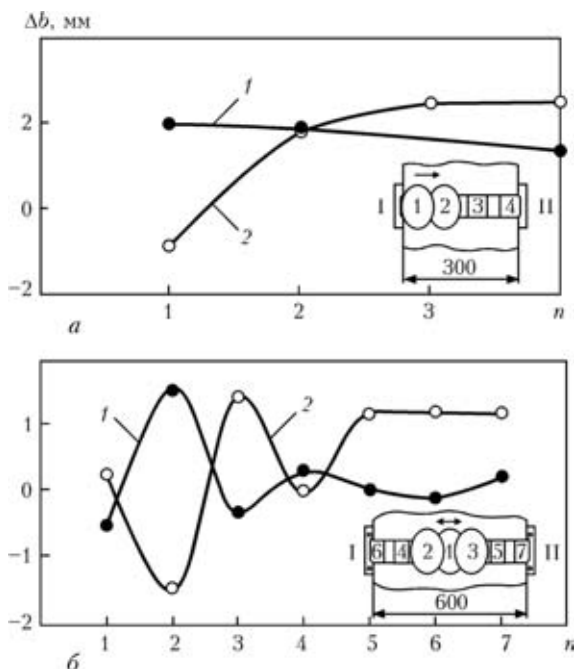


Рис. 5. Зависимость поперечной усадки Δb свариваемых кромок от количества n выполненных слоев МЭШС: а — наложение слоев от одного края стыка к другому; б — наложение слоев от середины стыка к краям (вразброс): 1 — перемещение нижних частей кромок с I стороны; 2 — то же со II стороны



щения противоположных кромок. Это связано с неодновременностью выполнения второго и третьего слоев. После наложения пятого и последующих слоев кромки, со стороны которых накладывали второй слой, возвращаются в исходное положение и остаются в нем до окончания заварки всего стыка (рис. 5, б, кривая 1). Поступательное перемещение кромок, противоположных указанным выше, после наложения пятого слоя достигает определенного значения и остается практически неизменным до окончания заварки всего стыка (рис. 5, б, кривая 2). После полного остывания заваренного образца усадка кромок, со стороны которых выполняли второй слой, составила 0,5 мм, а противоположных — 1,15 мм. После проведения высокого отпуска и полного остывания образца усадка кромок со стороны второго слоя составила 1 мм, а с другой стороны — 2,5 мм. Устранить разницу в усадке противоположных сторон сварного стыка и уменьшить ее абсолютное значение можно, выполнив одновременное наложение каждой пары слоев с противоположных сторон первого слоя, т. е. симметрично вертикальной оси, проведенной через центр стыка.

Экспериментальное исследование зависимости углового поворота кромок β (см. рис. 1) от времени сварки и количества выполненных слоев многослойного шва показало, что при наложении слоев от одного края стыка к другому поворот кромок наиболее интенсивно происходит при выполнении первых двух слоев (рис. 6). При наложении последующих слоев поворот кромок практически прекращается и остается неизменным до окончания всего цикла сварки, что является результатом возросшего сопротивления металла выполненным слоям. Таким образом, после заварки всего стыка суммарный угловой поворот кромок при толщине заготовок 300 мм и более составляет 0,0156 рад, что соответствует угловому повороту кромок при однопроводной ЭШС со значением удельного противодействующего момента 40 кг/см [1]. Установлено, что при выполнении МЭШС от середины стыка к его краям интенсивный угловой поворот кромок происходит во время выполнения первых четырех слоев (рис. 7). В этот период увеличение угла поворота кромок β находится практически в линейной зависимости от количества наложенных слоев (толщины заваренной части стыка). Наложение последующих слоев практически не изменяет угол поворота, достигнутый к моменту завершения выполнения четвертого слоя (рис. 7). Только после выполнения последних (наружных) слоев наблюдается незначительное увеличение β . Однако с учетом того, что к моменту выполнения последних слоев уже заварено 80 % всего свариваемого сечения (т. е. 480 мм толщины стыка), следует отметить, что указанное

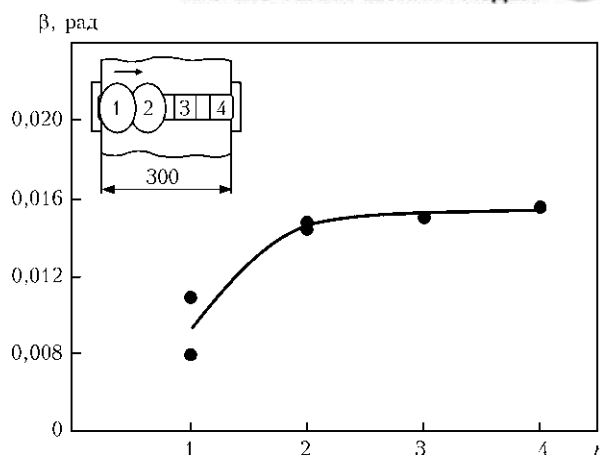


Рис. 6. Зависимость угла поворота свариваемых кромок β от количества наложенных слоев n многослойного электрошлакового шва, выполненного путем наложения слоев последовательно от одного края стыка к другому

выше увеличение β вряд ли может характеризовать фактическое значение взаимного поворота свариваемых заготовок после наложения наружных слоев. Вероятнее всего, в данном случае наблюдается местный изгиб наружных участков кромок в результате меньшей жесткости закрепления наружных поверхностей кромок. Кроме того, нужно учесть, что при замерах поступательных перемещений кромок во время выполнения наружных слоев могла появиться погрешность измерений в результате влияния нагрева кромок в области расположения контрольных точек.

Таким образом, суммарный угловой поворот заготовок после МЭШС, выполняемой в направлении от середины стыка к краям, для деталей толщиной 400 мм и более составит порядка 0,0134...0,0137 рад, что соответствует угловому повороту при однопроводной ЭШС со значением противодействующего момента равным 70...87 кг/см [7].

Исследование зависимости угла поворота кромок β от длины заваренного участка слоя и времени сварки показало, что при выполнении первого слоя происходит интенсивный взаимный поворот заготовок, вызывающий сближение кромок

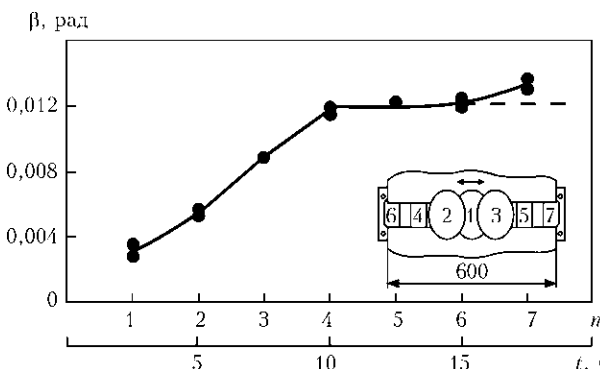


Рис. 7. Зависимость угла поворота свариваемых кромок β от времени сварки t и количества слоев n многослойного сварного шва при МЭШС с наложением слоев вразброс от середины стыка к его краям

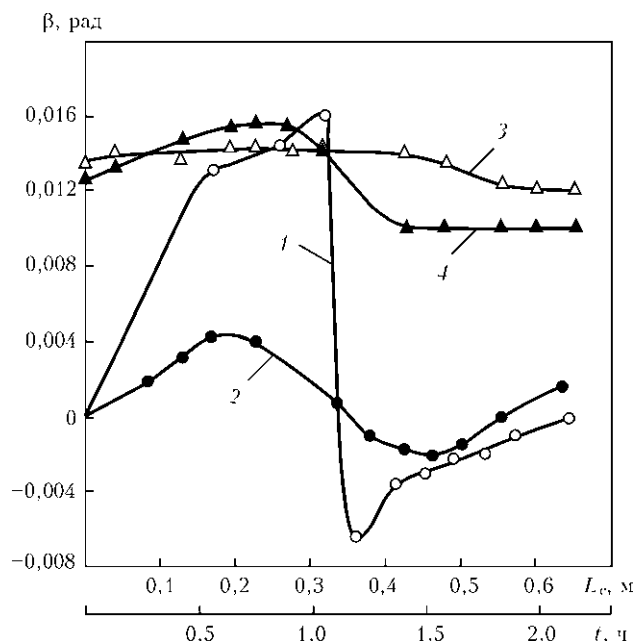


Рис. 8. Зависимость угла поворота свариваемых кромок β от длины слоя L_c и времени наложения t последнего при МЭШС с наложением слоев от середины стыка к его краям (вразброс): 1, 2 — угол поворота противоположных кромок при выполнении первого слоя; 3, 4 — то же при выполнении пятого слоя

вверху стыка (рис. 8). В период прохождения шлаковой ванны через середину длины стыка (глубины разделки) наблюдается обратный процесс (раскрытие кромок). После того, как шлаковая ванна минует середину глубины разделки, смена знака поворота происходит вновь и к моменту завершения выполнения первого слоя кромки свариваемых деталей возвращаются в исходное положение (рис. 8, кривые 1 и 2). По мере выполнения следующих слоев происходит достаточно равномерное увеличение β , достигающее к моменту наложения пятого слоя 0,013 рад. При выполнении пятого слоя угол поворота кромок вначале немного увеличивается, затем после заварки половины высоты стыка β начинает уменьшаться и к концу сварки стабилизируется (рис. 8, кривые 3 и 4). При выполнении последних слоев угол поворота кромок практически не изменяет достигнутого значения.

Как указано ранее, при МЭШС возможно появление углового поворота кромок γ в плоскости, перпендикулярной сварному многослойному шву (см. рис. 1), чему способствует неодновременность заполнения стыка по толщине присадочным металлом. Появление такого вида деформации может недопустимо изменить геометрические размеры крупногабаритного изделия, например, вызвать увеличенный развал бандаж и конусность по образующей, что впоследствии увеличит износ поверхности катания и уменьшит его эксплуатационную надежность. В связи с этим необходимо знать уровень остаточной угловой деформации

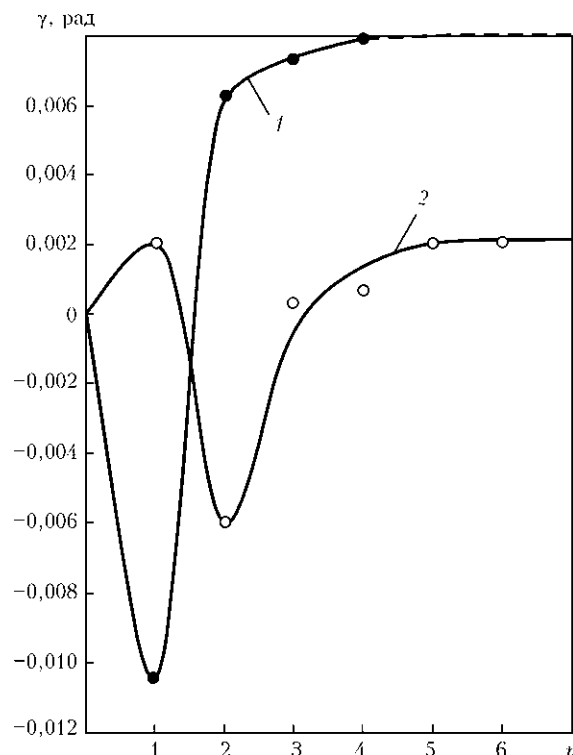


Рис. 9. Зависимость угла поворота свариваемых кромок γ в плоскости, перпендикулярной сварному многослойному шву, от порядка наложения слоев многослойного электрошлакового шва от одной кромок к другой (1) и от середины стыка к его краям (вразброс) (2)

для определения оптимальной формы разделки кромок под МЭШС.

Фактический угловой поворот свариваемых заготовок в плоскости, перпендикулярной сварному многослойному шву γ , определяли после окончания выполнения каждого слоя по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta b_1 - \Delta b_2}{S} [\text{рад}], \quad (2)$$

где Δb_1 , Δb_2 — фактические поступательные перемещения верхних частей кромок с противоположных сторон стыка (контрольные метки 1, рис. 2), мм; S — толщина свариваемого изделия, мм.

Результаты проведенных замеров показали, что при последовательном наложении швов от одного края стыка к другому происходит угловой поворот кромок со сменой направления поворота (рис. 9). После выполнения первого слоя произошло раскрытие зазора (поворот свариваемых заготовок относительно продольной оси первого слоя), а после наложения второго и последующих — сближение кромок. Суммарное значение углового поворота после МЭШС образца толщиной 300 мм составило 0,008 рад (рис. 9, кривая 1). Для компенсации рассматриваемого вида деформации необходимо учитывать ожидаемую разность усадки в процессе сборки заготовок под сварку, образовав, например, клиновидный зазор между свариваемыми кромками в горизонтальной



плоскости или осуществить предварительный подогрев той стороны стыка, где будет выполняться последний слой. Результаты замеров угла поворота кромок γ при наложении слоев в разделку от центра стыка к его краям (вразброс) показали, что при выполнении первых четырех слоев дважды наблюдалась смена направления поворота заготовок (рис. 9, кривая 2). После выполнения пятого слоя угол поворота γ достиг своего предельного значения и в дальнейшем практически не увеличивался. Это произошло в результате возросшего сопротивления повороту металла ранее наложенных слоев, а также благодаря выбранной наиболее благоприятной последовательности наложения слоев (вразброс от середины стыка).

Выводы

1. Установлено, что общий характер конечного распределения перемещений свариваемых кромок аналогичен однопроходной ЭШС. Однако при МЭШС после выполнения первого слоя наблюдается заметное раскрытие нижних кромок, а после наложения второго и последующих слоев — их сближение, которое постепенно увеличивалось до завершения цикла сварки всего образца.

2. При МЭШС практически отсутствуют перегибы кривой конечного распределения перемещений в начале и конце шва, характерные для традиционной ЭШС, т. е. по длине стыка при наложении каждого слоя происходит равномерное увеличение угловой деформации.

3. При выполнении многослойной ЭШС от середины стыка к его краям интенсивный угловой поворот кромок β происходит во время выполнения первых четырех слоев, а после наложения пятого слоя величина β стабилизируется и не изменяет своего значения до окончания сварки всего стыка.

4. Наименьшие значения деформаций (поступательного перемещения Δb , углового поворота кромок β и γ) можно получить при одновременном наложении пар слоев многослойного электрошлакового шва симметрично от центра стыка к его краям.

1. Суцук-Слюсаренко И. И. Метод получения точных размеров при электрошлаковой сварке. — Киев: УкрНИИН-ТИ, 1969. — 43 с.
2. Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию кристаллизационных трещин при ремонте бандажей обжиговых печей электрошлаковой сваркой // Автомат. сварка. — 2010. — № 1. — С. 41–43.
3. Винокуров В. А., Газарян А. С. Деформации при электрошлаковой сварке // Там же. — 1960. — № 9. — С. 3–11.
4. Винокуров В. А. Сварные деформации и напряжения. — М.: Машиностроение, 1968. — 235 с.
5. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
6. Звездин С. М., Бондаренко О. П., Поповский В. Ю. Информационно-измерительная система для контроля параметров процессов сварки и наплавки // Автомат. сварка. — 1985. — № 12. — С. 54–56.
7. Суцук-Слюсаренко И. И. Компенсация деформаций при электрошлаковой сварке // Там же. — 1964. — № 1. — С. 28–33.

Results of experimental estimation of the value and character of development of strains in multilayer electroslag welding are given. It is shown that the general character of final distribution of displacements of the weld edges is similar to that observed in single-pass electroslag welding.

Поступила в редакцию 26.07.2010



ОТДЕЛИМОСТЬ ШЛАКОВОЙ КОРКИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ (Обзор)

Ч. 1. МЕХАНИЗМ ХИМИЧЕСКОГО СЦЕПЛЕНИЯ ШЛАКОВОЙ КОРКИ С МЕТАЛЛОМ ШВА

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

Обзор посвящен анализу существующих представлений о механизме химического сцепления шлаковой корки с металлом шва при дуговой сварке. Сделана попытка детализировать указанный механизм с учетом имеющихся данных о влиянии фазового состава шлаковой корки на него. Отмечено, что устранение химического сцепления шлаковой корки с металлом шва может быть достигнуто подбором оптимального сочетания химического состава шлака и его окислительного потенциала.

Ключевые слова: автоматическая дуговая сварка под флюсом, многопроходная сварка, узкая разделка, легированные стали, шлаковая корка, делимость, химическое сцепление, фазовый состав, химический состав, окислительный потенциал

При разработке технологий сварки выбор сварочных материалов осуществляется с учетом комплекса сварочно-технологических свойств, из числа которых делимость шлаковой корки является ключевым.

Плохая делимость шлаковой корки снижает производительность сварочных работ и повышает вероятность образования экзогенных неметаллических включений в металле многопроходного шва. Характер делимости шлаковой корки иногда определяет практическую возможность технологии сварки, в частности получения толстостенных стыковых соединений в узкую разделку. Исходя из этого определение причин плохой делимости шлаковой корки и поиск способов улучшения этого процесса были предметом основательных исследований на протяжении последних 60 лет.

Настоящий обзор преследует цель выбора принципиального подхода к разработке флюса для сварки толстостенных стыковых соединений легированных сталей в узкую разделку, применение которого может обеспечить удовлетворительную делимость шлаковой корки.

В ряде работ [1, 2] в качестве одной из причин, обуславливающих трудное удаление шлаковой корки с поверхности сварного соединения, рассматривается химическое сцепление шлака с металлом шва. Механизм этого явления описан в работе [1], где предполагается его единство с известным механизмом сцепления оксидных систем с металлом, например, при эмалировании сосудов

или образовании пригара на поверхности слитков, отлитых в керамические формы. Одной из характерных особенностей указанного механизма является образование на поверхности металла тонкой пленки оксидов элементов металлической фазы [1, 3–5]. Еще одним процессом, который обуславливает сцепление шлаковой корки с металлом шва при сварке, часто считают эпитаксиальную кристаллизацию на оксидной пленке как на подложке фаз шлака, которые отвечают принципу структурного, ориентационного и размерного соответствия (СОРС) по отношению к оксидной пленке [1, 6, 7]. СОРС кристаллических веществ обеспечивается одинаковым типом их кристаллической решетки при условии, если размеры элементарной ячейки отличаются незначительно. Таким образом, согласно [1, 6, 7] при сварке сталей химическое сцепление шлаковой корки с металлом шва можно устранить, используя шлак с минимальной окислительной способностью, не содержащий соединений, которые отвечали бы принципу СОРС по отношению к оксидам на поверхности металла шва, выполненного на стали (например, шпинелей).

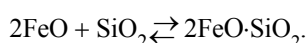
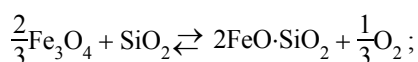
Проведены многочисленные исследования с целью определения наличия корреляции между фазовым (химическим) составом шлаковой корки и характером ее делимости [8–12]. Из указанных работ следует, что в случаях неудовлетворительной делимости шлаковой корки фазовые составляющие в ней не отвечают принципу СОРС по отношению к наиболее типичным оксидам, образующимся на поверхности металла шва. И наоборот, при хорошей делимости почти всегда можно определить, какие фазы в шлаковой корке соответствуют принципу СОРС. Данные работы [13] о влиянии содержания рутила в шлаке системы $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$ на делимость шлаковой корки противоречат полученным результа-



там [9]. Анализ результатов исследований [9–13] показал, что далеко не всегда можно установить четкую взаимосвязь между фазовым составом шлаковой корки и ее отделимостью от металла шва.

Одним из условий эпитаксиального роста оксидов на поверхности металла шва являются весьма малая скорость реакции [14], а также особенности прохождения диффузионных и релаксационных процессов в приповерхностных контактирующих слоях металла и шлака [15]. Эпитаксиальный рост оксидов — это следствие того, что химическое превращение на поверхности металла шва происходит при несущественных изменениях в конфигурации ионов в новой (оксидной) фазе по сравнению с исходной (металлической) фазой [14]. Некоторое несоответствие размеров их решеток компенсируется упругим подравниванием сросшихся граней кристаллов либо возникновением в зоне контакта дислокаций несоответствия [15], что является причиной, как правило, прочного сцепления тонких оксидных пленок с металлами. Однако можно предположить, что разнотипное образование условий окисления при сварке [8] и ее режимов [1] приводит к появлению в составе оксидной пленки высших оксидов с решетками различного типа, а также к значительному изменению толщины оксидной пленки. Все эти факторы способствуют сколу пленки и улучшению отделимости шлаковой корки. Следовательно, близость металла и сопряженных оксидов по принципу СОПС не всегда является предпосылкой для ухудшения отделимости шлаковой корки при сварке.

Необходимым условием соединения металлических материалов с оксидными системами авторы работы [16] считают установление на поверхности контактирующих материалов преимущественно координационно-ковалентных химических связей. При этом реагентами могут быть основные и кислые оксиды. Технология соединения металла со стеклом [17, 18] предусматривает образование на поверхности металла пленки основных оксидов, активных к главному компоненту стекла — ковару SiO_2 . Соединение стекла с коваром происходит при $T \cong 873 \dots 1473 \text{ K}$, при которой стекло размягчается. Из компонентов ковары основные оксиды, реагирующие с SiO_2 , образуют железо. Из работы [17] следует, что прочное соединение стекла с коваром обеспечивается следующими химическими реакциями:



Учитывая сходство физико-химических условий формирования высококачественных стекло-

металлических соединений и условий, имеющих место на поверхности контакта металла шва с размягченным шлаком при дуговой сварке, можно предполагать, что химическое сцепление шлаковой корки и металла могут в значительной степени обуславливать реакции, аналогичные указанным ниже. Кроме SiO_2 , флюсы, как правило, содержат и другие компоненты, реагирующие с Fe_2O_3 и FeO с образованием сложных оксидов типа $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$, $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и пр.

Обнаружено, что при плохой отделимости шлаковой корки поверхность шва, контактирующая со шлаком, приобретает характерный микрорельеф [10, 19]. Выступы образуются зернами металла шва, а их границам отвечают впадины. Зернограничные участки металла обогащены элементами, которые присутствуют в виде оксидов лишь во флюсе — алюминием, кальцием, магнием и натрием. Обнаружено также повышенное содержание активных элементов, перешедших из металла шва (титан, хром, ниобий, ванадий). При использовании шлаков, которые обеспечивают хорошую отделимость шлаковой корки, обогащения границ элементами, содержащимися только в шлаке, сегрегации легирующих элементов шва и наличия микрорельефа поверхности шва не наблюдалось. Основываясь на этих фактах, авторы работы [19] допускают, что химически сросшаяся с поверхностью металла шлаковая корка закреплена локально: основной ее массив имеет отщепления из неметаллического вещества, «укоренившиеся» на некоторую глубину в границы поверхностных зерен (рис. 1). При этом между шлаком и телом зерна (вдали от границ) сцепление отсутствует.

Свойства оксидной пленки определяются отношением объема оксида к объему металла, израсходованного на образование оксида, V_o/V_m [3–

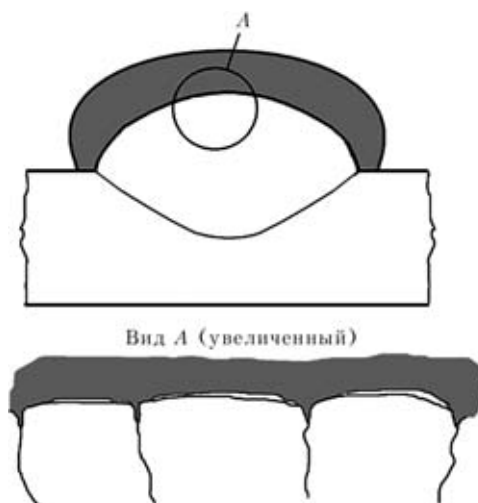


Рис. 1. Схема сцепления шлаковой корки с металлом шва вследствие опережающего окисления зернограничной фазы металла с «укоренением» неметаллического вещества в границы зерен

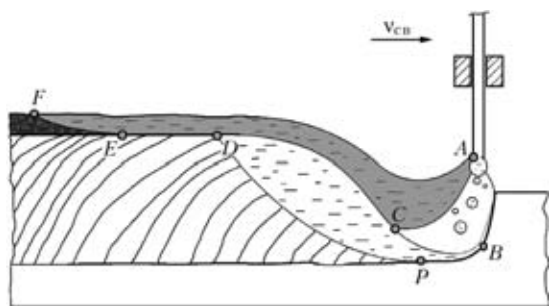


Рис. 2. Схема зон взаимодействия шлака и металла шва: *ABPC* — зона высокотемпературных химических реакций между шлаком и металлом; *ABC* — зона горения дуги и реакций между шлаком и металлом на стадии капли; *DPC* — зона низкотемпературных реакций на стадии сварочной ванны; *DP* — фронт кристаллизации сварочной ванны; *FE* — фронт затвердевания шлаковой ванны; *DC* — поверхность контакта расплавленного шлака и расплавленного металла; *ED* — поверхность контакта расплавленного шлака и закристаллизованного металла

5, 14]. Для многих металлов, которые могут быть компонентами сталей, $V_o/V_m = 1,5...2,0$ и более [3]. Поэтому с ростом толщины оксидная пленка может отслаиваться вследствие увеличения сдвиговых напряжений. У сталей, претерпевающих $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ -превращения, существенно изменяются параметры кристаллической решетки. Например, размер параметра a нелегированного γ -Fe при 900 °C составляет 0,3645 нм, тогда как у α -Fe при комнатной температуре $a = 0,28606$ нм. Эти и другие факторы, очевидно, не способствуют усилению физической связи оксидной пленкой с металлом шва.

Известно, что для границ зерен металла характерна аномально высокая диффузионная проницаемость веществ. Соотношение коэффициентов диффузии на границе и в объеме зерна Δ'/Δ достигает $1 \cdot 10^3...1 \cdot 10^5$, а при повышении температуры оно уменьшается. Для α - и γ -Fe существенное превышение значения Δ' над Δ сохраняется до температуры 1200 °C. Известно также об образовании на границах зерен канавок теплового травления вследствие поверхностных натяжения и диффузии [20, 21]. С учетом упомянутых выше фактов и результатов экспериментов [11] гипотеза о локальном характере закрепления шлаковой корки на металле шва [19] представляется весьма вероятной.

Исследования поверхности контакта шлак–металл шва микрорентгеноструктурным и электронографическим методами анализов показали, что тонкая (0,2 мкм) промежуточная оксидная прослойка, образующаяся между металлом шва и шлаковой коркой при плохой ее отделимости, может состоять из TiO , $(Fe, Mn)O \cdot Cr_2O_3$, $(Fe, Mn)O \cdot V_2O_3$, $(Fe, Mn, Ni)O \cdot (Cr, Fe)_2O_3$ и др. При хорошей отделимости шлаковой корки наличие промежуточной окисленной прослойки на поверхности металла шва не обнаружено [7, 8].

Аналогичные исследования, проведенные методом масс-спектрометрии вторичной ионной эмиссии, при сварке под флюсом АН-348-А стали со значительным содержанием ванадия, выявили, что промежуточная прослойка состоит из VO. Довольно высокая интенсивность потока таких ионов, как MnO^+ , Mn^+ , Fe^+ , FeO^+ , связана с дефектной структурой этой прослойки и «недостатком катионов ванадия» [22]. На поверхности шлаковой корки, сопряженной с металлом шва, интенсивность потока ионов Si^+ , FeO^+ , Mn^+ , выше, чем на внешней ее поверхности соответственно в 1,8, 3,7 и 9,7 раза. Это позволяет предположить наличие в прослойке комплексных оксидных соединений типа ванадатов, манганатов, силикатов, шпинелей и др.

Если шов легирован элементами с более высоким, чем у железа, сродством к кислороду (марганцем, хромом, ванадием и титаном), то оксидная пленка в зоне контакта размягченного шлака с закристаллизованным металлом образуется вследствие преимущественного окисления шлаком наиболее активного из легирующих элементов, что сопровождается формированием возле поверхности металла шва относительно широкой зоны с низким содержанием этого элемента [23]. В шве углеродистой стали при окислении шлаком возникают зоны, обедненные углеродом, марганцем и кремнием [1].

На основе приведенных выше результатов исследований механизм образования прочного соединения шлака с наплавленным металлом представляется следующим образом. На поверхности контакта размягченного шлака с закристаллизованным металлом шва (участок *ED* на рис. 2) за счет излишнего содержания ионов O^{2-} происходит реакция преимущественного окисления наиболее активных легирующих элементов сплава. Скорость диффузионных потоков катионов металла и анионов кислорода на границах зерна значительно выше, чем в теле зерна с относительно совершенной структурой, вследствие чего происходит опережающее окисление именно зернограничной фазы металла с образованием «укорененный» неметаллического вещества на некоторую глубину в границы зерен. Процесс образования оксидов сопровождается диффузией наиболее активных легирующих элементов из срединных объемов к границе металла шва со шлаком и образованием в металле зоны со сниженной концентрацией этих элементов. В поверхностных зернах существуют также диффузионные потоки из тела зерна к его границе, что и объясняет конечное распределение активного легирующего элемента, описанное в работе [10].

Одновременно с образованием оксиды одноактно реагируют с другими избыточными ионами шлаковой фазы. Продуктом взаимодействия яв-



ляются комплексные оксидные соединения (например, $\text{MeO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$, $\text{MeO} \cdot \text{MeO}_2$). Первая составляющая такого комплекса принадлежит оксидной пленке на металле шва, а вторая — содержит компонент шлаковой фазы. В свою очередь на поверхности прослойки, состоящей из комплексных оксидных соединений, формируется прочно с ним связанный основной массив шлаковой корки.

Несомненный интерес представляет связь между новообразованной прослойкой из комплексных оксидов и металлом шва. Можно предположить, что прочность этой связи определяется в значительной мере принципом СОРС.

У фаз, которые по принципу СОРС существенно отличаются от стального металла шва (например, титанатов $\text{MeO} \cdot \text{MeO}_2$), связь с последним нарушается или ослабевает сразу после образования оксидов, т. е. при температуре около 1100 °С.

В процессе охлаждения металла шва действуют многие упомянутые выше факторы, способствующие отслоению промежуточной комплексно-оксидной прослойки. Поэтому на значительной площади поверхности зерен (вдали от их границ) имеет место нарушение или существенное ослабление связи между шлаковой коркой и металлом шва. Особенно это касается прослойки, содержащей большое количество фаз, которые по своей структуре отличаются от металла шва. Однако «укоренения» оксидного вещества могут надежно удерживаться в зернограницных впадинах, поскольку объем оксида всегда больше объема металла, израсходованного на образование оксида, $V_o/V_m > 1$. Такой характер закрепления шлаковой корки на поверхности металла шва (практически за счет механического заклинивания «укоренений» оксидного вещества в зернограницных впадинах) является, по-видимому, дополнительной причиной плохой делимости шлаковой корки при сварке независимо от соотношения структурно-физических параметров металла и комплексно-оксидной прослойки.

В случае, если новообразовавшаяся фаза по структуре подобна металлу шва (например, шпинель $\text{MeO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$), прочность ее связи с металлом мало изменяется в сравнении с прочностью тонкой оксидной пленки и остается высокой. Некоторое несоответствие между решетками γ -фазы и шпинелей при высокой температуре может компенсироваться без ущерба для прочности связи за счет увеличения степени несовершенства решеток обеих фаз в зоне контакта.

Если энергия связи промежуточной прослойки с металлом шва выше, чем энергия, необходимая для возникновения дислокаций несоответствия в поверхностном слое металла, то в процессе охлаждения последнего (а также в ходе $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения) будет происходить увеличение плотнос-

ти дислокаций в тонком слое металла шва у поверхности его контакта со шлаковой коркой [15]. По-видимому, этот процесс компенсирует различие в термическом сокращении металла и прослойки, а также резкое изменение параметров решетки металла в ходе $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения, в результате чего связь между прослойкой и металлом шва сохраняется, обуславливая тем самым плохую делимость корки.

Но и в последнем случае, по-видимому, определенное сочетание особенностей дефектной структуры комплексно-оксидной прослойки, диффузия и активность кислорода в шлаке и легирующих элементов в металле шва, взаимная растворимость оксидов и другие факторы могут способствовать развитию на границе шлака с металлом шва процессов, конкурентных образованию шпинелей. Таким процессом может стать, например, образование высших оксидов типа Me_2O_3 , решетка которых по принципу СОРС отличается от металла шва. Последнее приводит к нарушению первоначально прочной связи шпинельной прослойки с металлом шва, а следовательно, улучшает делимость шлаковой корки.

Выводы

1. С помощью общепринятой трактовки механизма химического сцепления шлаковой корки с металлом шва не во всех случаях можно объяснить ее плохую делимость. В частности, значение структурно-размерного соответствия фаз шлака и оксидной пленки в металле шва, а также условия и роль эпитаксиальной кристаллизации фаз шлака требуют дальнейшего изучения и уточнения.

2. Фазовый состав шлака может быть неоднородным по высоте шлаковой корки. При сравнении фаз шлака и металла шва на предмет СОРС следует принимать во внимание не интегральный фазовый состав шлака, а его фазовый состав на поверхности шлаковой корки, контактирующей с металлом шва.

3. Целенаправленно влиять на механизм сцепления шлаковой корки и металла шва можно путем изменения прочности химической связи между промежуточной прослойкой и металлом шва, толщины и фазового состава промежуточной прослойки, что может быть достигнуто изменением химического состава шлака и его окислительного потенциала.

1. Об делимости шлаковой корки при автоматической сварке под флюсом / Д. М. Рабкин, Ю. Н. Готальский, Е. С. Куделя, В. В. Подгаецкий // Автомат. сварка. — 1950. — № 3. — С. 10–27.
2. Подгаецкий В. В. Механическое удерживание шлака на шве при автоматической сварке // Там же. — 1950. — № 6. — С. 30–40.
3. Баландин Г. Ф., Васильев В. А. Физико-химические основы литейного производства. — М.: Машиностроение, 1971. — 224 с.



4. Цибрик А. Н. Физико-химические процессы в контактной зоне металл-форма. — Киев: Наук. думка, 1977. — 212 с.
5. Литвинова Е. И. Металл для эмалирования. — М.: Металлургия, 1975. — 208 с.
6. Готальский Ю. Н., Стретович А. Д. Способ улучшения отделимости шлаковой корки при газоэлектрической сварке аустенитной проволокой // Свароч. пр-во. — 1975. — № 9. — С. 22–23.
7. Готальский Ю. Н., Стретович А. Д. О механизме сцепления шлаковой корки с металлом шва // Там же. — 1977. — № 10. — С. 48–50.
8. Механизм сцепления шлаковой корки с поверхностью шва / И. К. Походня, И. Р. Явдошин, В. И. Карманов, В. Г. Войткевич // Автомат. сварка. — 1974. — № 5. — С. 5–9.
9. Wittung L. Some physical and chemical properties of welding slags and their influence on slag detachability // Weld pool chemistry and metallurgy: Intern. conf., London, Apr. 15–17, 1980. — London, 1980. — Vol. 1. — P. 83–92.
10. Уточнение механизма сцепления шлаковой корки с наплавленным металлом / А. В. Ершов, Ю. С. Волобуев, Н. Н. Потапов, Ю. В. Бобриков // Автомат. сварка. — 1983. — № 8. — С. 48–50.
11. Исследование отделимости шлака при антикоррозионной наплавке ленточным электродом / Ю. С. Волобуев, А. В. Ершов, Н. Н. Потапов, Ю. В. Бобриков // Свароч. пр-во. — 1984. — № 6. — С. 30–32.
12. Отделимость шлаковой корки от аустенитного металла шва / И. В. Павлов, А. А. Косенко, В. И. Гуревич, А. Ю. Мышкин // Там же. — 1986. — № 7. — С. 37–38.
13. Мойсов Л. П., Митряшин Л. Л., Бурылев Б. П. Влияние фазового состава шлака на его отделимость // Автомат. сварка. — 1990. — № 9. — С. 70–71.
14. Окисление металлов. Т. 1. Теоретические основы / Под ред. Ж. Бенара. — М.: Металлургия, 1967. — 499 с.
15. Походня И. К., Карманов В. И., Войткевич В. Г. Исследование особенностей механизма сцепления шлаковой корки с металлом шва, легированного титаном и ванадием // Автомат. сварка. — 1976. — № 6. — С. 1–4.
16. Шорищев М. Х., Красулин Ю. Л. О природе физико-химических явлений в сварных и паяных соединениях // Свароч. пр-во. — 1967. — № 12. — С. 1–3.
17. Хоменко Н. Н., Котельников Д. И. Подготовка поверхности ковара к сварке-пайке со стеклом // Автомат. сварка — 1978. — № 7. — С. 63–65.
18. Бачин В. А., Казаков Н. Ф. Распределение элементов в зоне соединения при диффузионной сварке металлов с керамикой и стеклом // Там же. — 1985. — № 9. — С. 39–41.
19. К вопросу о влиянии температурного коэффициента линейного расширения на отделимость шлаковой корки / О. С. Волобуев, Н. Н. Потапов, Ю. С. Волобуев, А. В. Ершов // Свароч. пр-во. — 1989. — № 8. — С. 37–39.
20. Шьюмон П. Диффузия в твердых телах. — М.: Металлургия, 1966. — 196 с.
21. Металловедение и термическая обработка стали: В 3 т. Т. II. Основы термической обработки / Под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. — М.: Металлургия, 1983. — 368 с.
22. Исследование границы раздела шлак-металл методом масс-спектрометрии вторичной ионной эмиссии / И. К. Походня, В. Г. Устинов, В. И. Карманов, В. Г. Войткевич // Автомат. сварка. — 1976. — № 5. — С. 16–18.
23. Кинетика образования промежуточного слоя между металлом шва и шлаковой коркой / И. К. Походня, Л. И. Демченко, И. Р. Явдошин и др. // Там же. — 1977. — № 2. — С. 1–4.

The paper gives a review of works on studying the mechanism of chemical adhesion of slag to weld metal in arc welding. An attempt has been made to make it more detailed, taking into account the available data on phase composition influence on this mechanism. It is noted that elimination of chemical adhesion of the slag crust to weld metal can be achieved by selection of an optimum combination of slag composition and its oxidizing potential.

Поступила в редакцию 06.09.2010



«ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛС-2011» II Санкт-Петербургская научно-техническая конференция

23–26 мая 2011

г. Санкт-Петербург

Основные направления конференции:

1. Технологии ЭЛС
2. Работоспособность сварных конструкций
3. Оборудование для ЭЛС
4. Моделирование физических процессов ЭЛС и работы электронно-оптических систем установок
5. Экономические аспекты применения ЭЛС

Санкт-Петербургское общество
научно-технических знаний

Центр дополнительных образовательных программ
191023 С.-Петербург, Невский просп., 54

тел. (812) 570-59-23, 571-18-71, тел./факс: 570-55-58, 394-14-61

E-mail: techonovalb@yandex.ru ontz@peterlink.ru, www.ontz.kop.ru



КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА И ДИОКСИДА АЗОТА В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, **А. О. ЛУКЬЯНЕНКО**, инж.

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

Ю. О. ПОЛУКАРОВ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Представлены результаты исследований зависимостей концентраций вредных газов (оксида углерода и диоксида азота), поступающих в воздух рабочей зоны при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, от расстояния до сварочной дуги в различных условиях вентилирования (с общеобменной и местной вентиляцией и без нее). Получены соответствующие аналитические уравнения, позволяющие прогнозировать концентрации вредных газов в различных точках рабочей зоны в зависимости от мощности сварочной дуги.

Ключевые слова: дуговая сварка, покрытые электроды, вредные газы, оксид углерода, диоксид азота, вентиляция, содержание газов в воздухе, прогнозирование

Одним из отрицательных следствий электродугового процесса является образование и накопление в воздухе рабочей зоны сварочных аэрозолей и газов. Защита работающих и производственной среды от их воздействия осуществляется с помощью различных видов систем вентиляции, которые должны обеспечить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не выше предельно допустимой концентрации (ПДК). Для выбора необходимой вентиляции и повышения ее эффективности на рабочих местах сварщиков необходимы экспериментальные данные о содержании вредных веществ в воздухе рабочей зоны при различных видах вентиляции. В литературе имеется достаточно большое количество данных по исследованию загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами в виде аэрозолей, образующихся при сварке покрытыми электродами (например, [1]), но данные по вредным газам отсутствуют. Это объясняется тем, что получение таких данных по общепринятым методикам [2, 3] является довольно длительной и трудоемкой задачей. Так, отбор одной пробы газов только в одной точке воздушного пространства рабочей зоны сварщика при применении конкретной марки сварочного материала длится практически в течение рабочей смены. При этом относительная погрешность получаемых данных в соответствии с требованиями [4] должна составлять $\pm 25\%$, что позволяет обеспечить избирательное определение содержания вещества на уровне не выше 0,5 ПДК. На сегодня надежные газоанализаторы газов, которые бы позволили обеспечить высокую достоверность определения их концентрации в воздухе

рабочей зоны, отсутствуют. Поэтому возникла необходимость в получении таких данных расчетным путем, основанным на экспериментальных данных.

К вредным газам, образующимся в атмосфере дуги при сварке покрытыми электродами, относят оксид углерода, диоксид азота, фтористый водород и озон. Состав образующихся газов в значительной мере определяется составом электродного покрытия [5]. Причиной образования ядовитого диоксида азота преимущественно является высокотемпературное и фотохимическое окисление азота воздуха [6]. Уровень образования этих газов зависит от мощности сварочной дуги.

Цель данной работы — исследование зависимостей концентраций оксида углерода и диоксида азота в различных точках воздуха рабочей зоны при дуговой сварке низколегированными покрытыми электродами от мощности сварочной дуги, расстояния до места сварки (сварочной дуги) и вида системы вентиляции.

Опыты выполняли в Институте электросварки им. Е. О. Патона на типичном рабочем месте ручной дуговой сварки с использованием общеобменной и местной вентиляции, а также без вентиляции. Пробы газов отбирали вокруг дуги в трех точках на разном расстоянии от дуги: 55 см (зона дыхания сварщика), 100 и 150 см (рабочая зона). Для сравнения эффективности как общеобменной, так и местной вентиляции ее производительность выбрали одинаковой — $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$. В системе общеобменной вентиляции использовали типичный осевой вентилятор, а в местной — типичный стол сварщика с вмонтированным вытяжным устройством типа наклонной панели [1].

Пробы газов отбирали в процессе наплавки покрытыми электродами общего назначения марки АНО-36 диаметром 4 мм на пластины стали СтЗсп. Использовали постоянный ток обратной

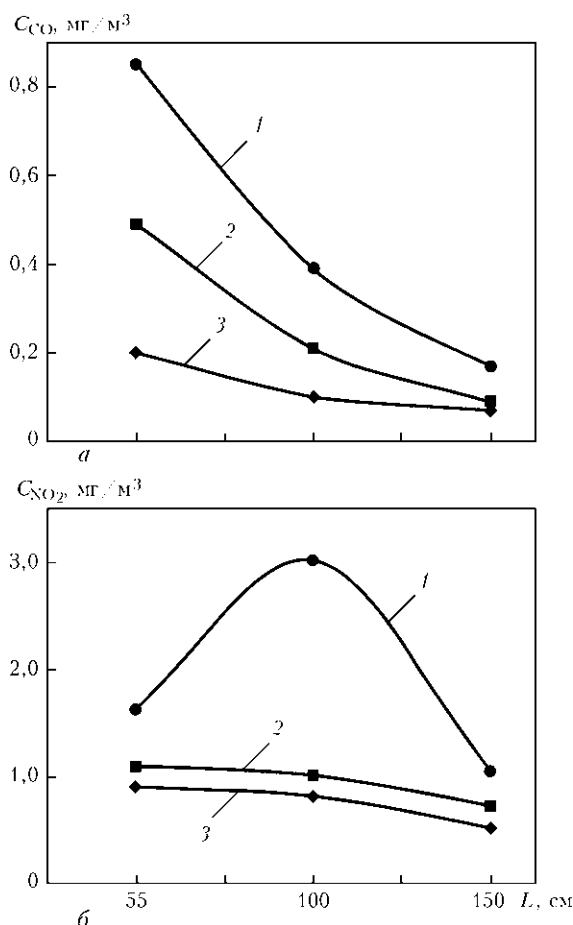
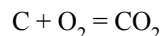


Рис. 1. Зависимость концентрации оксида углерода C_{CO} (а) и диоксида азота C_{NO_2} (б) в воздухе рабочей зоны от расстояния L к сварочной дуге при сварке без вентиляции (1), с общеобменной (2) и местной (3) вентиляцией

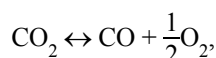
полярности. Для установления зависимости концентрации газов в воздухе рабочей зоны сварочный ток изменяли в пределах 130...230 А, напряжение дуги — 24...40 В. Определение концентраций оксида углерода СО в воздухе рабочей зоны выполняли с помощью газоанализатора «Аквилон-1-1», диоксида азота NO_2 — «Аквилон-1-2». Достоверность полученных экспериментальных данных проверяли в соответствии с принятыми методическими указаниями [4]. Аналитическую и статистическую обработку установленных зависимостей выполняли с использованием разработанной в Национальном НИИ промышленной безопасности и охраны труда специальной программы с помощью заложенного в ней метода регрессионного анализа [7, 8].

Исследования зависимостей концентраций оксида углерода от расстояния до сварочной дуги (рис. 1, а) свидетельствуют о том, что они максимальны при сварке без вентиляции, минимальны при местной вентиляции и уменьшаются с увеличением расстояния к дуге, но во всех случаях не превышают ПДК (20 мг/м³). Причиной образования оксида углерода во время сварки покрытыми электродами преимущественно является

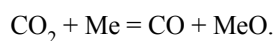
окисление углерода, который содержится в металле и покрытии электродов, кислородом воздуха на первой стадии



и диссоциация диоксида углерода в результате высокой температуры сварочной дуги на второй стадии

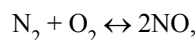


а также восстановление углерода из его диоксида металлом

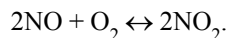


Кроме того, источником образования оксида углерода в незначительных количествах может быть наличие диоксида углерода в атмосферном воздухе в количестве 0,03...0,04 % [9], который разлагается при высокой температуре дуги до оксида углерода в результате химической реакции (2). Поэтому низкая суммарная концентрация оксида углерода в воздухе рабочей зоны объясняется незначительным содержанием углерода в составе свариваемого металла и атмосферном воздухе. При сварке электродами с целлюлозным или карбонат-содержащим покрытием оксид углерода также образуется в результате термической диссоциации этих газшлакообразующих компонентов покрытия. В этих случаях в воздух рабочей зоны поступает повышенное количество оксида углерода.

Зависимости концентрации диоксида азота в воздухе рабочей зоны от расстояния до сварочной дуги имеют более сложный вид, особенно при сварке без вентиляции (рис. 1, б). Это объясняется последовательным окислением азота воздуха по двум стадиям. Сначала в ближней зоне в результате высокотемпературного окисления азота воздуха, окружающего дугу, появляется оксид азота



затем под влиянием ультрафиолетового излучения дуги оксид азота со временем и отдалением от дуги окисляется кислородом воздуха до ядовитого диоксида азота [6, 10]



Поэтому на определенном расстоянии от дуги (около 1 м) при сварке без вентиляции концентрация диоксида азота вследствие его накопления в воздухе увеличивается, а с дальнейшим отдалением от дуги (до 1,5 м) вследствие рассеивания уменьшается.

Следует отметить, что при применении как местной, так и общеобменной вентиляции концентрации диоксида азота в рабочей зоне не превышают ПДК (2 мг/м³). Во время сварки без вен-



тиляции на расстоянии приблизительно от 80 до 130 см к сварочной дуге концентрация диоксида азота превышает ПДК (см. рис. 1, б).

При применении местной или общеобменной вентиляции повышенное содержание диоксида азота в ближней к сварочной дуге зоне объясняется более активным окислением азота, чем в отдаленной от нее зоне. Это и приводит к образованию в зоне дыхания большего количества оксидов азота, а с увеличением расстояния от сварочной дуги интенсивность окисления азота воздуха, естественно, снижается.

Из зависимостей содержания оксида углерода и диоксида азота в воздухе рабочей зоны от мощности сварочной дуги видно, что концентрации этих газов в воздухе увеличиваются с повышением мощности дуги (рис. 2).

Аналитическая и статистическая обработка установленных зависимостей (см. рис. 1) с учетом влияния расстояния до сварочной дуги и ее мощности (рис. 2), выполненная с помощью метода регрессионного анализа [7, 8], позволила получить следующие зависимости:

зависимость концентрации СО (C_{CO}) от мощности ($I_{св} U_{д}$) сварочной дуги и расстояния до дуги L (м) при сварке

без вентиляции

$$C_{CO} = -0,197 + 2,178 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} + 0,071 L - 1,192 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L, \quad (1)$$

с общеобменной вентиляцией

$$C_{CO} = -48,099 \cdot 10^{-2} + 2,929 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} + 34,679 \cdot 10^{-2} L - 3,268 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L + 0,902 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L^2, \quad (2)$$

с местной вентиляцией

$$C_{CO} = -2,657 \cdot 10^{-2} + 0,439 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} - 0,857 \cdot 10^{-2} L - 0,177 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L; \quad (3)$$

зависимость концентрации NO_2 от мощности сварочной дуги и расстояния до дуги при сварке

без вентиляции

$$C_{NO_2} = -4,991 \cdot 10^{-2} + 0,414 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} + 0,942 \cdot 10^{-2} L - 0,11 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L, \quad (4)$$

с общеобменной вентиляцией

$$C_{NO_2} = 1,344 \cdot 10^{-2} + 0,209 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} - 4,014 \cdot 10^{-2} L, \quad (5)$$

с местной вентиляцией

$$C_{NO_2} = 2,195 \cdot 10^{-2} + 0,162 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} - 4,182 \cdot 10^{-2} L. \quad (6)$$

Значения относительных погрешностей и коэффициентов суммарной корреляции полученных зависимостей представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, значения относительных погрешностей не превышают установленного методическими указаниями значения (25 %) [4]. Коэффициенты суммарной корреляции данных зависимостей имеют значения от 0,940 до 1,0 (см. табл. 1), что свидетельствует о том, что полученные математические зависимости можно использовать для вычисления содержания оксида углерода и диоксида азота в зоне дыхания сварщика и в рабочей зоне с целью санитарно-гигиенической оценки условий труда.

С целью проверки корректности математических зависимостей (1)–(6) для других марок электродов, отличающихся составом покрытия, были проведены сравнительные исследования концентрации данных газов в различных точках пространства при сварке другими известными марками электродов без применения вентиляции. Эти результаты показали, что среди указанных в табл. 2 и 3 марок электродов средние концентрации определяемых газов не выходят за пределы допустимой погрешности (25 %) только при сварке электродами АНО-4. Таким образом, можно сделать вывод, что математические зависимости (1)–(6) можно использовать для прогнозирования загрязнения воздуха рабочей зоны, по крайней мере,

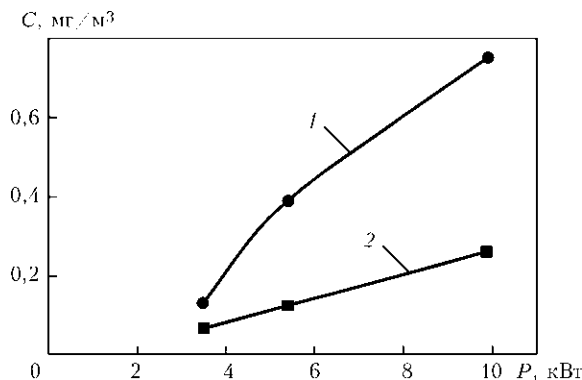


Рис. 2. Зависимость концентрации газов оксида углерода (1) и диоксида азота (2) в воздухе рабочей зоны на расстоянии 100 см до сварочной дуги от мощности дуги

Таблица 1. Значения относительных погрешностей и коэффициентов суммарной корреляции зависимостей (1)–(6)

Зависимость	Относительная погрешность, %	Коэффициент суммарной корреляции
(1)	18,0	0,940
(2)	18,2	0,986
(3)	19,2	0,939
(4)	5,00	1,00
(5)	10,0	0,074
(6)	11,5	0,960



Таблица 2. Концентрация оксида углерода в воздухе рабочей зоны

Марка электрода	Расстояние до места сварки L , м		
	0,55	1,00	1,50
	Минимально и максимально возможная концентрация CO , мг/м^3		
	0,64...1,06	0,29...0,49	0,13...0,21
АНО-36	0,85	0,39	0,17
АНО-4	0,65	0,43	0,13
АНО-24	0,40	0,22	0,10
УОНИ-13/55	1,23	0,29	0,50
АНО-6	1,19	0,02	0,73

при сварке электродами с рутиловым и рутил-целлюлозным покрытием.

Результаты исследований зависимостей концентраций оксида углерода и диоксида азота при ручной дуговой сварке покрытыми электродами должны учитываться при проведении санитарно-гигиенической оценки условий труда. При этом необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ 12.1.005–88 [11], согласно которому для предупреждения возможности превышения ПДК в воздухе рабочей зоны для веществ одностороннего действия учитывается их суммарное действие на организм человека. Поэтому, учитывая, что оксид углерода и диоксид азота имеют одностороннее общетоксическое действие [11], гигиеническая оценка воздуха рабочей зоны и выбор системы вентиляции в данном случае должны проводиться с соблюдением следующего условия:

$$\frac{C_{\text{CO}}}{\text{ПДК}_{\text{CO}}} + \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} \leq 1. \quad (7)$$

Расчеты, полученные по формуле (7) на основании данных рис. 1, показали, что в зависимости от условий выполнения сварочных работ (наличия или отсутствия вентиляции), расстояния до сварочной дуги и режима сварки результат суммарного действия оксида и диоксида азота может принимать различные значения, т. е. может быть

Таблица 3. Концентрация диоксида азота в воздухе рабочей зоны

Марка электрода	Расстояние до места сварки L , м		
	0,55	1,00	1,50
	Минимально и максимально возможная концентрация NO_2 , мг/м^3		
	1,22...2,04	2,26...3,78	0,79...1,31
АНО-36	1,63	3,02	1,05
АНО-4	1,56	2,60	1,23
АНО-24	0,85	1,42	1,37
УОНИ-13/55	2,34	1,58	1,33
АНО-6	2,40	1,78	1,98

больше или меньше 1, что и является основанием для выбора вида и производительности вентиляции.

1. Левченко О. Г., Лукьяненко А. О., Полукаров Ю. О. Экспериментальное и расчетное определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны при дуговой сварке покрытыми электродами // Автомат. сварка. — 2010. — № 1. — С. 31–34.
2. МУ 1924–78. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
3. МУ 4945–88. Определение вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
4. МУ 3936–85. Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. — М.: Минздрав СССР, 1985. — 18 с.
5. Походня И. К. Газы в сварных швах. — М.: Машиностроение, 1972. — 225 с.
6. Press H. Formation des oxydes d'azote lors du soudage aux gaz. Mesures pour la prevention d'atteintes a la sante // Soudage et techn. connexes. — 1981. — № 516. — P. 207–212.
7. Орловский П. Н. Системный анализ. — Киев: Изд. Мин-ва образования Украины, 1996. — 360 с.
8. Ферстер Е., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 365 с.
9. Основи охорони праці / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець та ін. — К.: Основа, 2000. — 416 с.
10. Sipek L. Emission of gases pollutants during GTA welding of yorcalbro brass. — [1988]. — 16 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. VIII-1443–88).
11. ГОСТ 12.1.005–88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — Введ. 01.01.89.

The paper presents the results of investigations of dependencies of concentrations of noxious gases (carbon oxide and nitrogen dioxide) released into work zone air in coated-electrode manual arc welding, on distance to welding arc under different ventilation conditions (with general ventilation, local ventilation and without ventilation). Respective analytical equations are derived that allow forecasting noxious gas concentrations in different points of the work zone, depending on welding arc power.

Поступила в редакцию 07.04.2010



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

А. В. ВЛАДИМИРОВ, В. А. ХАБУЗОВ, кандидаты техн. наук

(ООО «Лаборатория электронных технологий», г. Санкт-Петербург, РФ),

В. А. ЛЕБЕДЕВ, С. Ю. МАКСИМОВ, доктора техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

А. А. ГАЛЫШЕВ, инж. (Санкт-Петербург. ин-т машиностроения ПИМАШ, РФ)

Рассмотрена новая конструкция универсального инверторного источника тока применительно к механизированным процессам дуговой сварки, наплавки сталей и сплавов алюминия. Источник отличается возможностью оперативной и контролируемой установки многих параметров сварочного процесса и регулирования любого вида внешних статических вольт-амперных характеристик и динамических свойств, а также реализацией импульсных режимов в широком диапазоне.

Ключевые слова: дуговая сварка, наплавка, плазменная резка, источник питания, выпрямитель, инвертор, характеристики, программное обеспечение, конструкция

В настоящее время в сварочном производстве используются как традиционные выпрямители, так и инверторные источники питания. Источники с регулируемыми выпрямителями тиристорного типа или нерегулируемыми выпрямителями еще долгое время будут востребованы на рынке благодаря сравнительной простоте, надежности и относительной дешевизне. Они могут использоваться в современных эффективных сварочных процессах, например при способе сварки с вынужденными короткими замыканиями (ВКЗ), разработанном компаниями ИТС и СЭЛМА (РФ–Украина) [1]. В настоящее время все более интенсивно в сварочное производство внедряют инверторные источники питания разной степени сложности. Для качественного выполнения сварочно-наплавочных работ, достижения высокой производительности и выполнения задач энерго- и ресурсосбережения потребители будут выбирать именно такие источники питания.

При создании инверторных источников питания можно отметить две тенденции. Первая направлена на снижение массогабаритных характеристик оборудования, повышение его КПД [2], вторая — на реализацию управления переносом электродного металла [3]. При этом последнее из обозначенных направлений требует наличия «интеллектуальных» источников, которые уже созданы или создаются и производятся различными фирмами. Их особенность состоит в возможности реализации алгоритмов управления переносом электродного металла таких, как STT (перенос металла силами поверхностного натяжения) и CMT (холодный перенос металла).

Следует отметить, что несмотря на привлекательность разработок сварочных источников питания инверторного типа с использованием интеллектуального потенциала их программных средств до сих пор остаются нерешенным или решенными частично следующие основные задачи:

обеспечение достаточно надежных конструкторских решений по защите источников при их работе в реальных условиях производства;

реализация блочно-модульного построения силовой части для обеспечения широкого диапазона значений номинальных токов и различных уровней выходного напряжения;

оптимизация обслуживания, дополнительного программирования или перепрограммирования с целью получения качественно новых процессов сварки и наплавки, соответствующих условиям современного производства, новым технологиям и др.

Цель настоящей работы — ознакомить специалистов сварочного производства с разработкой, выполненной фирмой ООО «Лаборатория электронных технологий» (г. Санкт-Петербург, РФ) при технико-консультационной помощи специалистов ИЭС им. Е. О. Патона.

Предлагаемая к рассмотрению разработка основана на принципе разделения силовой и информационных компонент источника питания, обеспечивающего универсальность и высокий уровень унификации оборудования, а также позволяющего решить ряд проблем, связанных с управлением дуговыми процессами при сварке и резке.

Универсальность рассматривается в нескольких аспектах: возможность ведения ряда процессов сварки и наплавки, а также достижения эффективного управления процессом сварки или наплавки. Например, при механизированной сварке с короткими замыканиями (КЗ) можно обеспечить перенос электродного металла с минимальным



уровнем его потерь и качественным формированием шва. Немаловажным в плане универсальности источника питания является обеспечение его работы в разных производственных условиях. При дуговом и плазменно-дуговом процессах сварки необходимо наличие широкого диапазона значений сварочного тока ($I_{\text{св}} = 10 \dots 1500 \text{ А}$) и напряжения на дуге ($U_{\text{д}} = 16 \dots 260 \text{ В}$).

Наиболее простой путь создания универсального оборудования для сварки — это разработка мощного источника питания, обеспечивающего требуемый диапазон значений сварочного тока и напряжения для резки. Для большинства потребителей такой источник питания будет избыточным по комплектации и реализуемым характеристикам. Кроме того, он будет дорогим, а следовательно, не будет иметь ожидаемого широкого применения.

Поэтому в рассматриваемой разработке задача универсальности оборудования решена путем применения одного типового силового функционально законченного блока — модуля с минимально необходимыми параметрами, который обеспечивает высокие значения КПД, надежность, а также требуемые нагрузочные и динамические характеристики.

Управление модулем цифровое и предусматривает наличие в оборудовании энергонезависимой памяти для хранения сварочных программ и параметров настройки источника.

Каждый модуль выполнен таким образом, что радиаторы его силовых ключей расположены внутри модуля, а вся электроника — снаружи. При такой компоновке воздух проходит сквозь модуль, не соприкасаясь с электроникой и не загрязняя ее. Это особенно актуально для реальных условий эксплуатации (при высокой запыленности, наличии электропроводной среды и др.). Разработан вариант установки источника в пластиковый водонепроницаемый корпус, который можно эффективно использовать при создании нового комплектного оборудования для подводной дуговой сварки и резки металлов плавящимся электродом. Выбор силовых характеристик источника (тока и напряжения) осуществляется путем параллельного (при сварке) и последовательного (при определенных режимах сварки и резки) включения модулей. Организация требуемых для сварочного процесса внешних характеристик источника питания и их безаварийная работа осуществляется с помощью специальной компьютерной программы.

Разработанная система управления обеспечивает на выходе источника питания необходимые для каждого способа сварки динамические и вольт-амперные характеристики (ВАХ). Система управления определяет множество состояний тока и напряжения, которые могут реализоваться в

процессе работы. При этом актуальным является ясный и удобный интерфейс для ввода и коррекции характеристик источника питания.

Продemonстрируем работу системы управления источника питания на примере графического проектирования внешней ВАХ. Обычно ВАХ представляют в виде кривых, которые при пересечении с осями определяют ток КЗ и напряжение холостого хода. Их существует множество, и по заданию заказчика можно составить базу пользования.

ВАХ источника питания сварочного тока во многих аспектах определяют возможность реализации процесса сварки, его качество [4] и даже возможность получения определенного вида переноса электродного металла, как, например, упомянутый процесс с ВКЗ. Общепринятой формой представления ВАХ является график, поэтому ввод и коррекция ВАХ реализованы в графическом виде специальным редактором на ПК, подключенном через USB интерфейс к источнику питания.

С помощью специально разработанного графического редактора на экране компьютера можно нарисовать кривую требуемой ВАХ, а затем передать ее на исполнение в аппарат. Вид экрана программы редактора и кривые ВАХ представлены на рис. 1. Ввод ВАХ в большинстве случаев необходим для общей настройки аппарата в условиях производства и начального программирования, а также для исследовательской и технологической практики, что мы считаем наиболее важным. Память источника позволяет хранить сотни ВАХ, и сварщику остается только выбрать наиболее подходящую из них для конкретных условий сварки, сварочных материалов и режимов.

Известно [5], что дуговая сварка плавящимся электродом является сложным динамическим процессом, который включает как быстротекущие (например, формирование и перенос капель), так и длительные (например, формирование сварного шва) процессы. Для качественного выполнения сварки необходимо в равной степени хорошо управлять этими процессами на любой стадии их прохождения. Разная продолжительность сварочных процессов требует и различных способов управления ими.

Важность динамической характеристики источника состоит в обеспечении скорости и характера реагирования источника питания на внесение в нагрузку возмущения (изменение нагрузки). Классическое решение состоит в использовании дросселей, которые путем изменения индуктивности нагрузки регулировали скорость нарастания и спада тока в сварочной цепи. Применение дросселей неудобно, поскольку регулировка их индуктивности должна быть ступенчатой, что требовало выключения аппарата для выполнения коммутации. В большинстве новых разработок источников питания сварочного тока из-

вестных фирм (например, реализация функции QSet-автоматический выбор оптимальной частоты КЗ данной комбинации газ/проволока в последней разработке шведского концерна ESAB) необходимые скорости нарастания и спада тока достигаются с помощью средств электроники, так называемых электронных дросселей.

В большинстве случаев продолжительность нарастания (спада) тока при сварке составляет приблизительно нескольких миллисекунд. В рассматриваемой нами разработке подобные задачи решаются также за счет программируемых средств электроники, при этом энергетические возможности модуля позволяют достигать максимальных значений сварочного тока на порядок быстрее. Следовательно, система управления даже для наиболее быстрого реагирования на внесение возмущения должна «тормозить» модуль, замедляя быстрый рост тока. Это можно сделать, например, посредством выдачи системой управления через 0,1 мс команды на увеличение тока на 10 % целевого значения. Таким образом изменяют скорость нарастания тока и в необходимых для сварки и резки диапазонах получают требуемые динамические характеристики источника питания.

В источнике питания, в котором достаточно просто регулируются динамические и выходные ВАХ, можно реализовать любой из известных алгоритмов управления переносом электродного металла, что, как следует из анализа сварочного оборудования известных фирм-производителей, является приоритетной задачей, решение которой обеспечивает качественное и эффективное ведение сварочных процессов. Заметим, что при апробировании системы графического проектирования характеристик сварочного процесса возникло несколько новых алгоритмов управления, в числе которых управление on-line регулированием фронтов нарастания и спада импульсов, а также совместное управление источником питания и приводом импульсной подачи электродной проволоки [6]. Последнее решение, по нашему мнению, является одним из направлений дальнейшего совершенствования источника питания сварочного тока и комплектного оборудования для механизированной и автоматической сварки в целом.

В настоящее время разработаны практически все уровни управления процессами сварки и способы их реализации. В источнике питания прошли апробацию все известные алгоритмы управления импульсно-дуговым процессом с широким диапазоном параметров изменяемых характеристик (уровня, скважности, частоты и формы импульсов) [7].

Система управления источником питания содержит встроенные датчики тока и напряжения, которые используются как для решения внутренних задач, связанных с управлением параметрами

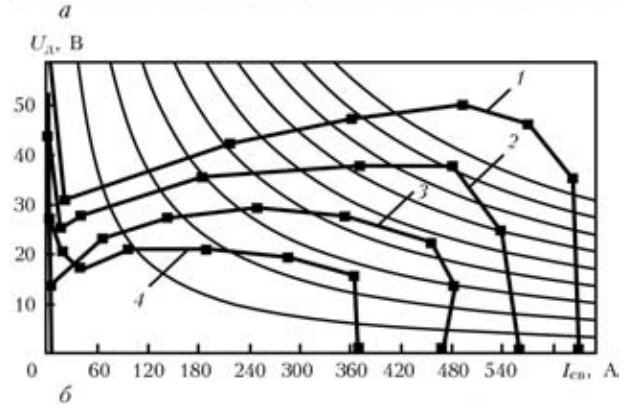
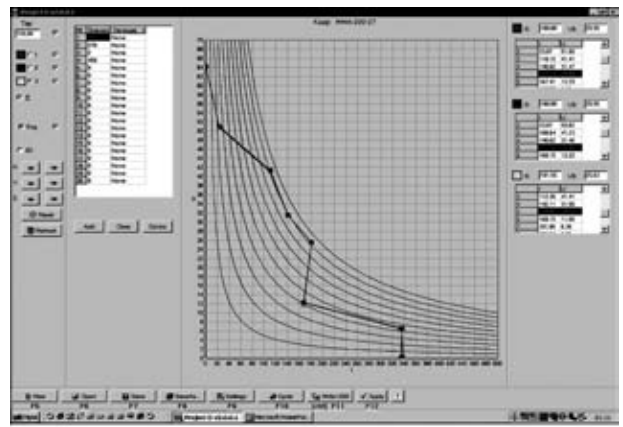


Рис. 1. Вид экрана программы-редактора для ввода ВАХ в источник питания (а) и кривые ВАХ, полученные при механизированной сварке на различных режимах (б): 1 — $I_{св} > 250$; 2 — 150...250; 3 — 100...150; 4 — 50...150 А

дугового процесса, так и передачи информации внешним устройствам.

Все возможности системы управления источником питания обеспечиваются цифровой обработкой текущего состояния, поэтому можно говорить о полном цифровом управлении сварочным процессом (ЦУСП). При этом уместно оперировать таким понятием, как графическое проектирование характеристик источника питания для любого возможного способа дуговой сварки с параметрами, которые технологи считают необходимыми и наиболее эффективными.

Для удобства пульт управления источником питания выполнен с использованием графического дисплея, с помощью которого по специальной программе реализуются различные интуитивно понятные алгоритмы управления и контроля.

Можно также отметить две важные особенности новой разработки. Модернизация существующих и освоение новых сварочных технологий существенно упрощаются, поскольку есть возможность подбора ВАХ и динамических характеристик источника питания в лабораторных условиях на достаточно высоком уровне. Эти характеристики можно передать через Интернет или по почте для установки на любой источник питания. Как показал опыт, простота встраивания их в существующие производственные системы



Рис. 2. Вариант конструктивного исполнения источника сварочного тока ЛЭТ 350 с металлической обшивкой и дисплеем сенсорного типа

не вызывает трудностей. Еще одним преимуществом новой разработки, которое, однако, пока не реализуется отечественными потребителями при выполнении сварки, является возможность дистанционного объективного контроля за выполнением сварного соединения. Это осуществляется двумя способами: либо источник питания записывает в свою память все параметры процесса, а затем отправляет отчет о произведенной работе в архив, либо передает их на специальный сервер, производящий контроль и учет выполненной работы.

Следует отметить, что по согласованию с заказчиком источник питания может иметь клапан газового отсека и регулируемые электроприводы постоянного тока для механизма подачи электродной проволоки с необходимыми элемен-

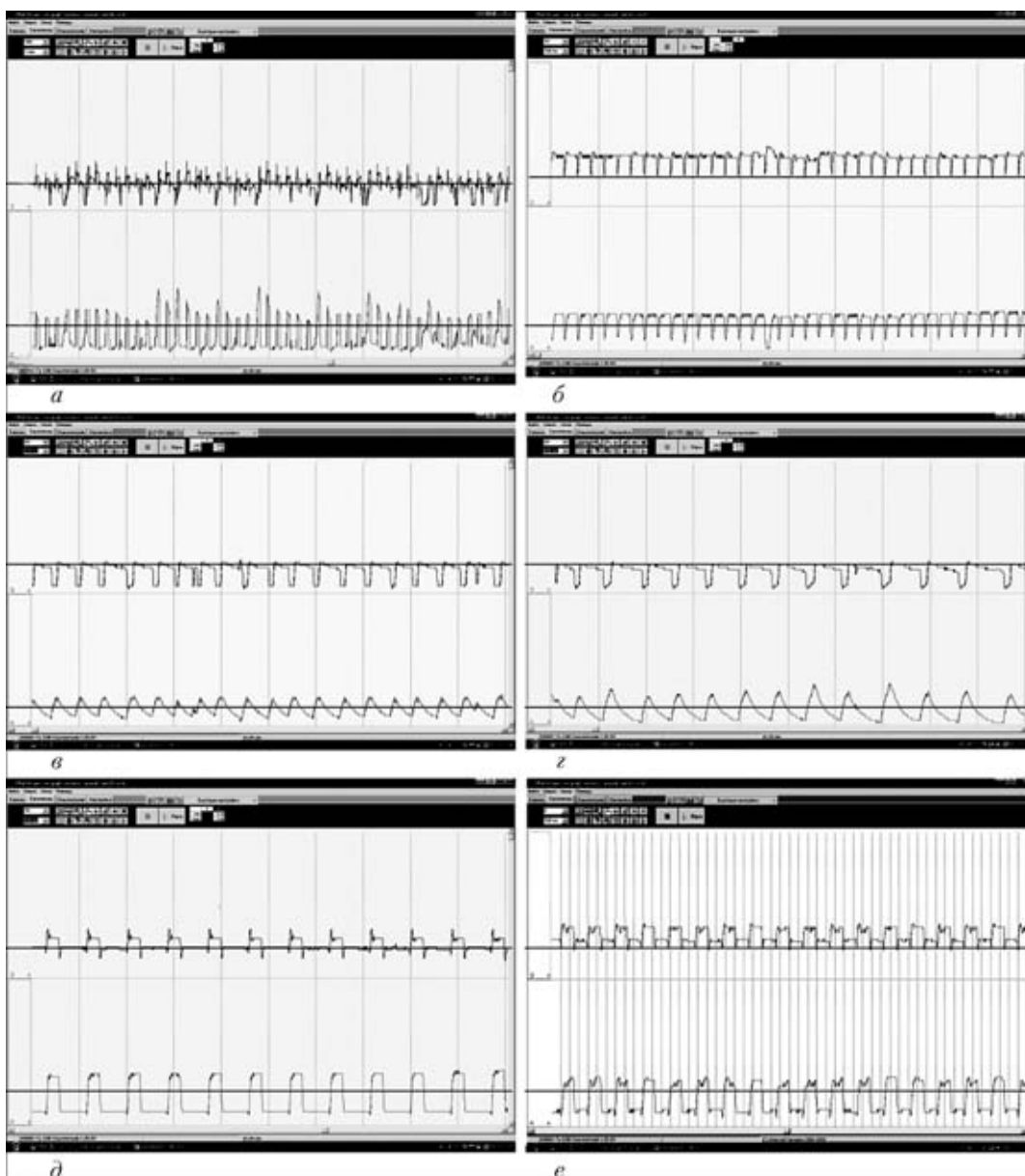


Рис. 3. Осциллограммы сварочного тока (верхняя кривая) и напряжения на дуге (нижняя кривая) процесса сварки, реализуемого с применением источника ЛЭТ (масштаб взят по осциллограмме): а–е — см. в тексте

тами их программного включения по циклу сварки.

При оценке возможностей новой разработки специалистами ООО «Лаборатория электронных технологий» и ИЭС им. Е. О. Патона в течение нескольких рабочих дней на источнике ЛЭТ 350 (см. рис. 2) со стандартным подающим механизмом типа ПДГО-510, горелка которого закреплена в клицу сварочной тележки, выполнен комплекс исследований с изменением ВАХ, динамических характеристик источника питания, а также с применением импульсных воздействий и пр. Все параметры источника устанавливались в режиме оп-
line и оценивались по качеству валиков наплавленного металла, осциллограммам тока и напряжения. При этом использовали электродную проволоку Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Защитной средой являлся углекислый газ. Основные режимы были выбраны по рекомендациям работы [4].

Для примера рассмотрим несколько вариантов процессов сварки. Сварку выполняли на сварочном токе 90...140 А и напряжении на дуге 18...24 В. На рис. 3, а показана осциллограмма сварочного процесса с относительно небольшим значением индуктивности в сварочной цепи (менее 0,1 мГн) при равномерной жесткой ВАХ и отсутствии импульсного режима работы источника питания. Значение напряжения на дуге находилось на нижнем пределе рекомендуемого диапазона. Видно, что процесс сварки протекал с КЗ, при этом перенос электродного металла был достаточно хаотичным. При повышении индуктивности процесс сварки с точки зрения переноса упорядочивается и стабилизируется. При этом можно четко фиксировать периоды горения дуги и КЗ, что хорошо видно на рис. 3, б. Далее при повышении индуктивности сварочной цепи частота КЗ снижается и меняется скважность цикла переноса, что можно проследить по осциллограммам на рис. 3, б-г. В результате появляется возможность регулирования тепловложений в сварочную ванну за счет программного изменения индуктивности. Осциллограммы на рис. 3, д, е также показывают возможность управления переносом электродного металла за счет использования различных ВАХ источника питания и применения импульсной составляющей напряжения с параметрами, близкими к параметрам естественного переноса. В данном случае сварку выполняли на комбинированной ВАХ по типу, представленному на рис. 4, при этом изменяли параметры А, В и В. На рисунке также видны изменения в скважности цикла переноса.

Таким образом, очевидно, что, изменив по определенным алгоритмам два параметра источника питания сварочного тока (постоянную времени сварочной цепи за счет динамических характеристик и форму ВАХ), можно существенно влиять на пе-

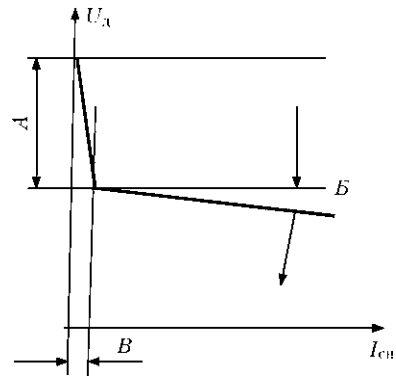


Рис. 4. Комбинированная ВАХ источника сварочного тока: А — напряжение холостого хода источника сварочного тока; В — жесткость внешних ВАХ; В — зона действия повышенного напряжения

ренос электродного металла, стабилизируя его и управляя его энергетическими характеристиками, а следовательно, коэффициентом расплавления электрода и проплавлением основного металла.

К настоящему времени составлена программа исследования возможностей, которые предоставляют конструкцию источника питания ЛЭТ и системы программирования. На первом этапе исследований предполагается определить влияние индуктивности, ВАХ, импульсных алгоритмов на сварочный процесс и формирование сварного соединения, а на втором — различных структур обратных связей и использование силовых воздействий на перенос электродного металла.

Выводы

1. ЦУСП обеспечивает качественную настройку оборудования на конкретную работу, быстрое воспроизводство настроек и их повторяемость. Основным преимуществом разработки ООО «Лаборатория электронных технологий» [8] является обеспечение качества сварного соединения на основе принципов цифрового синтеза сварочного процесса.

2. Реализация концепции универсального аппарата для сварки и резки с ЦУСП упрощает и удешевляет сложившиеся системы проектирования, производства и эксплуатации сварочного оборудования, при этом обеспечивается высокое качество сварки.

3. Универсальность источников питания выгодна для крупных производств, на которых работают сотни сварочных аппаратов различного назначения и мощности за счет упрощения их эксплуатации и возможности маневра с одной площадки на другую, с одного способа сварки на другой. Эксплуатация оборудования одного типа, состоящего из нескольких типовых блоков, гораздо проще и дешевле, чем различного оборудования от разных производителей [9].

4. Будущее сварки и резки состоит именно в применении ЦУСП. Сварочные производства, ко-



торые раньше начали использовать изложенные здесь принципы, получают естественное преимущество перед конкурентами в плане себестоимости и качества выпускаемой продукции.

1. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах / М. В. Карасев, Е. М. Вышемирский, В. И. Беспалов, Д. Н. Работинский // Автомат. сварка. — 2004. — № 12. — С. 38–41.
2. Особенности применения инверторных источников сварочного тока и направления их совершенствования / И. А. Рубан, Н. А. Горайнов, В. А. Лебедев, С. И. Притула // Междунар. конф. «Сварка и родственные технологии в третье тысячелетие», Киев, 24–26 нояб. 2008 г. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2008. — С. 104–105.
3. Можайский В. А. Колупанов О. В., Квасов Ф. В. Сварочное оборудование фирмы «Lincoln Electric» // Свароч. пр-во. — 1998. — № 8. — С. 37–41.

4. Потаповский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. — М.: Машиностроение, 1974. — 240 с.
5. Львов Н. С., Гладков Э. А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. — М.: Машиностроение, 1982. — 302 с.
6. Патон Б. Е., Лебедев В. А., Микитин Я. И. Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке // Свароч. пр-во. — 2006. — № 8. — С. 27–32.
7. Стабилизация процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом / Б. Е. Патон, П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, Ю. О. Шимановский // Автомат. сварка. — 2003. — № 8. — С. 3–6.
8. Vladimirov A., Khabuzov V. Development concept for arc welding equipment // Proc. of the IIW Intern. conf., Graz, 2008. — Graz, 2008. — P. 227–228.
9. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф. Выбор оборудования для механизированной дуговой сварки, наплавки и резки // Автомат. сварка. — 2000. — № 2. — С. 50–55.

A new design of an all-purpose inverter current source is considered for mechanized processes of arc welding and surfacing of steels and aluminium alloys. The source features the capability of fast and controllable setting of many parameters of the welding process and as regulation of any appearance of external static volt-ampere characteristics and dynamic properties, as well as realization of pulsed modes in a wide range.

Поступила в редакцию 01.02.2010

KYIV TECHNICAL TRADE SHOW 2011

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ

12–14 апреля 2011 г.



Одновременно пройдут выставки



СВАРКА. РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ-2011 ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ-2011 НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ-2011

Оргкомитет: ООО «ТДС-Экспо»

Тел./факс: (+38044) 596-93-08, 596-91-84, 596-92-20

E-mail: olga@welding.kiev.ua, exhibit@welding.kiev.ua



УДК 621.791.75.042

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОВОДОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ С ДВУХСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ В СТРАНАХ СНГ (Обзор)*

А. Е. МАРЧЕНКО, Н. В. СКОРИНА, кандидаты техн. наук

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

В. П. КОСТЮЧЕНКО, инж. (ОАО «Межгосметиз-Мценск», г. Орел, РФ)

Обобщена информация о свойствах низководородных электродов с двухслойным покрытием и характеристиках выполненного ими металла швов, в том числе электродов марки АНОД-1, технология производства которых ориентирована на доступные виды сырья.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочные электроды, двухслойные покрытия, разработка, производство

Двухслойное покрытие является одним из действенных средств повышения сварочно-технологических свойств электродов с основным покрытием, в котором один из основных деионизаторов дуги — фторид кальция — вынесен в его периферийный слой [1]. Наружный слой покрытия, отдаленный от центральной, высокотемпературной области дуги, в меньшей степени подвержен перегреву, составляющие его компоненты менее интенсивно испаряются и диссоциируют и в меньшей мере влияют на состав атмосферы дуги. Именно эта часть покрытия перетекает в сварочную ванну, меньше взаимодействуя с каплей на торце электрода [2]. Вынесение фторидов за пределы внутреннего слоя уменьшает вероятность протекания экзотермических твердофазных реакций в этом слое покрытия. В нем проходят преимущественно реакции диссоциации карбонатов. Будучи эндотермическими по своей природе, они «подстуживают» стержень, изменяя профиль поверхности его плавления с выпуклого на вогнутый, что уменьшает опасность выхода капли за пределы чехольчика из неоплавившегося покрытия и вероятность коротких замыканий.

В работах [3–5] показано, что применение электродов с двухслойным покрытием обеспечивает мелкокапельный перенос электродного металла, а также хорошее формирование и высокое качество металла шва, в том числе при сварке на малых токах. Последнее обстоятельство имеет большое значение при сварке в монтажных условиях, а также при использовании электродов со стержнями из высоколегированной проволоки,

когда для предотвращения перегрева стержня и уменьшения тепловложения в сварочную ванну часто ограничивают допустимый сварочный ток. Поэтому двухслойное покрытие имеют также некоторые электроды, предназначенные для сварки высоколегированных сталей.

Применение двухслойного покрытия позволяет повысить стабильность горения дуги при сварке на переменном токе при использовании трансформаторов с невысоким напряжением холостого хода [6].

Первый известный патент на электроды с двухслойным покрытием появился в Чехословакии [7]. Составы покрытий и техника изготовления двухслойных электродов с использованием обычных прессов запатентованы в Финляндии, Швейцарии, Норвегии [8–10]. Фирма «Oerlikon» запатентовала технологии изготовления двухслойных электродов на прямоточных прессах [11]. Имеются патенты на электроды с покрытием, количество слоев в которых превышает два [10, 12] или работающих от двух источников тока [13, 14].

Двухслойная конструкция покрытия расширяет технологические возможности регулирования производительности, сварочно-технологических характеристик электродов, показателей стабильности горения дуги, химической структуры и механических свойств наплавленного металла и др. Для этого традиционные пути, основанные на изменении вещественного состава покрытия, дополняются распределением составляющих покрытия между наружным и внутренним слоями и изменением соотношения площадей сечения внутреннего и наружного слоев, которое, судя по патентным и информационным данным, в зависимости от решаемых задач может изменяться в пределах от 1:1 до 2:1.

Электроды с двухслойным покрытием достаточно широко применяют во многих странах в промышленности и строительстве. Производство

* По материалам доклада, представленного на V международной конференции «Сварочные материалы. Конкурентоспособность» (г. Артемовск, 7–11 июня, 2010 г.).

**Таблица 1. Характеристика электродов с двухслойным покрытием по каталогу фирмы «Oerlikon», предназначенных для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей**

Марка электрода	Диаметр, мм	Код по		Механические свойства шва				
		EN ISO 2560	AWS 5.1	σ_T , МПа, не более	σ_B , МПа	δ_5 , %, не более	KCV , Дж/см ² при T , °C	
							+20	–60
Extra	2,5...6,0	E424 B32 H10	E7016	420	500...640	20	150	90**
Spezial	2,0...6,0	E382 B12 H10	E7016	380	470...600	20	150	100*
Tenax 50	2,5...5,0	E426 B32 H5	E7016-1	420	500...640	20	250	100
Tenacito	2,5...6,0	E426 B32 H5	E7016-1	420	500...640	20	180	70
Tenacito 38R	2,5...6,0	E466 1Ni B42 H5	E7018-G	460	530...680	20	190	70
Tenacito 65	2,5...6,0	—	E9018-G	560	630...720	20	160	70
Tenacito 65R	2,5...6,0	E506 1NiMo B42 H5	E9018-G	510	620...720	20	170	55
Tenacito 70	2,5...5,0	E506 1Ni B42 H5	E8018-G	510	590...690	23	200	60
Tenacito 70B	2,5...5,0	E466 2Ni B42 H5	E8018-G1	480	550...700	22	170	100
Tenacito 75	2,5...6,0	—	E11018-G	700	780...940	17	120	55
Tenacito 80	2,5...6,0	—	E11018-G	700	800...960	16	120	60
Tenacito 100	2,5...5,0	—	E12018-G	890	980...1080	14	70	60***
BOR-SP6	4,0...6,0	E506 B34 H10	—	460	530...680	18	160	60

*, **, *** — приведенные данные по работе удара относятся соответственно к температуре испытаний –20, –30 и –40 °C.

Таблица 2. Характеристика двухслойных электродов фирмы «Oerlikon», предназначенных для сварки легированных теплоустойчивых сталей

Марка электрода	Тип по DIN8575	$T_{экс}$, °C	Содержание в наплавленном металле, %				
			C	Si	Mn	Cr	Mo
Molycord Kb	EMoB20+	550	0,06	0,5	0,8	—	0,5
Cromocord Kb	ECrMo1B20+	570	0,06	0,6	0,8	1,0	0,5
Citochrom 2	ECrMo2B26+	600	0,06	0,5	0,8	2,4	1,0

электродов с двухслойным покрытием в разное время наладили фирмы Швейцарии («Oerlikon»), Швеции (ESAB), Японии («Kobe Steel»), Австрии («Boehler»), ФРГ («Thyssen Draht», UTP), Нидерланды («Philips»), США («Selectrode») и др. Фирма «Oerlikon», в числе первых получившая патент на состав покрытия и способ изготовления двухслойных электродов на прямоточных прессах [11], на своем предприятии в г. Айзенберг (Германия) изготавливала почти 50 % низкоуглеродистых

электродов с двухслойной конструкцией покрытия от общего выпуска электродов основного типа.

Фирма «Oerlikon» представляет в своем каталоге 19 марок двухслойных электродов разного назначения (табл. 1–3). В этом перечне приведены низкоуглеродистые электроды общего назначения, а также предназначенные для сварки высокопрочных, жаропрочных и нержавеющей сталей. В ряде разработок реализован комплекс методов раскисления и легирования наплавленного металла, при котором обеспечивается максимальный выход игольчатого феррита в структуре наплавленного металла, благодаря чему достигается исключительно высокая ударная вязкость швов при отрицательных температурах (исследования, выполненные Г. Эвансом).

Двухслойные электроды фирмы «Oerlikon» используются для сварки и ремонта таких объектов

Таблица 3. Характеристика двухслойных электродов фирмы «Oerlikon», предназначенных для сварки высоколегированных нержавеющей сталей

Марка электрода	Тип по DIN8575	$T_{экс}$, °C	Содержание в наплавленном металле, %					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb
Basinox 308L	E199L B20+	350 (800*)	0,03	0,4	1,0	19,0	10,0	—
Basinox 347	E199Nb B20+	400 (800*)	0,03	0,4	1,0	19,0	10,0	0,4
Basinox 326 L	E19123L B20+	400	0,03	0,4	1,0	18,5	11,5	(2,7Mo)

* Температура, до которой не наблюдается образование окалины.

атомной энергетики, как защитная оболочка реактора (Tenacito 60, 65R, 70, Extra), корпус реактора, паровой котел и основной насос (Tenacito 65R).

Электроды с двухслойным покрытием применяются в энергетике, нефтяном и энергетическом машиностроении и т. п. Как правило, это электроды малого диаметра, при сварке которыми особенно важно иметь контрагированную, жестко ориентированную в пространстве дугу, а также надежный провар корня шва. Имеются исключения, когда двухслойная конструкция покрытия используется для электродов всех диаметров (от 2 до 6 мм).

В табл. 4 приведены марки электродов с двухслойным покрытием, поставляемые на рынок европейскими фирмами, в том числе такими, которые не располагают прессовым оборудованием, позволяющим реализовать метод изготовления, запатентованный фирмой «Oerlikon». Эти фирмы используют метод двукратного нанесения покрытия: сначала на стержень (внутренний слой), а затем на предварительно высушенный электрод с внутренним слоем (наружный слой) [8, 9].

В разработке электродов серии Tenacito используются следующие принципы [15]:

- обоснованные системы легирования, базирующиеся на обширной технологической базе данных, теперь распространенные на всю серию;

- оптимизация системы раскисления с целью достижения подходящей морфологии включений и, следовательно, достижения максимально высокой очистки и ударной вязкости наплавленного металла;

- чрезвычайно высокая чистота углерод-марганцевой кипящей стали для электродных стержней при строжайшем контроле уровня примесных элементов;

- тщательный подбор минеральной составляющей покрытия с целью достижения нужной степени его основности для электродов типа E XX18;

- специальное связующее для минимизации гигросорбционной способности покрытия с целью достижения как можно более низкого содержания водорода в наплавленном металле (не более 0,2 % адсорбированной H_2O в течение девятичасовой экспозиции электродов в атмосфере с относительной влажностью воздуха 80 % при 27 °C);

- оптимизация оперативных характеристик электродов при сварке корневых проходов многослойных швов путем использования электродов с диаметром 3,25 мм и меньше.

В 1970-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона был разработан низководородный электрод общего назначения с двухслойным покрытием марки АНО-Д (тип Э50А по ГОСТ 9467–75) [16, 17]. На его основе создали модификацию — электроды АНО-Дс [18, 19], предназначенные для свар-

Т а б л и ц а 4. Марки двухслойных электродов, выпускаемых фирмами, не располагающими прямоточными прессами

Фирма	Марка электрода	Диаметр, мм	Код по	
			EN 499	AWS 5.1
ESAB	OK 53.05	2,5...4,0	E424 B22 H10	E7016
	OK 53.16	2,5...4,0	E382 B32 H10	E7016
«Thyssen Draht»	Phoenix Spezial D	2,5...5,0	E423 B12 H10	E7016
«Boehler»	Fox EV 50A	2,5...6,0	E423 B12 H10	E7016
UTP	Spezial Z	2,5...5,0	—	E7016
«Selelectrode»	1162	2,5...5,0	E382 B12	E7016

ки изделий судостроения. Была разработана технология промышленного производства электродов с двухслойным покрытием для заводов, укомплектованных прямоточными электродаообразующими прессами. На Ростовском опытно-экспериментальном заводе НПО «Атомкотломаш» Министерства энергомашиностроения и Николаевском заводе «Океан» Министерства судостроительной промышленности СССР были выпущены и испытаны промышленные партии новых электродов. Испытания подтвердили преимущества электродов АНО-Д перед электродами УОНИ-13/55 и другими марками аналогичного назначения. По результатам испытаний электроды АНО-Д и АНО-Дс были аттестованы Госгортехнадзором и Морским регистром судоходства для сварки ответственных изделий АЭС из стали 22К, а также судовых конструкций.

В покрытии электродов АНО-Д и АНО-Дс использовали уникальные компоненты — синтетическую слюду АНС-1 и низкремнистый гранулированный ферросилиций марки Фс-15гс, что позволило решить ключевые проблемы технологии их конвейерного производства. В настоящее время эти виды сырья не изготавливаются.

В связи с этим состав покрытия этих электродов модернизировали с ориентацией на доступные виды сырьевых материалов, а также расширение сферы их использования с учетом опыта производства и применения двухслойных электродов в нашей стране и за рубежом. Модернизированные таким образом электроды марки АНОД-1, относящиеся к типу Э50А по ГОСТ 9467–75, предназначены для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Сварку ведут во всех пространственных положениях, исключая вертикальные швы способом сверху вниз. Используют постоянный ток любой полярности или переменный от источников питания с напряжением холостого хода больше 65 В.

Условное обозначение электродов АНОД-1 по ДСТУ ISO 2560: А Е 424 В22 Н5 или А Е 424



Таблица 5. Типичные показатели плавления электродов АНОД-1

Отношение диаметра стержня к диаметру покрытия, мм	Коэффициент массы покрытия, %	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Производительность наплавки, г/мин	Выход наплавленного металла, %
3/5,2	$\frac{60,9; 61,5; 61,9}{61,4}$	$\frac{9,6; 9,9; 9,9}{9,8}$	$\frac{19,3; 19,6; 19,8}{19,6}$	$\frac{109,2; 110,2; 110,4}{109,9}$
4/6,8	$\frac{55,5; 56,5; 56,5}{56,2}$	$\frac{9,5; 9,6; 9,7}{9,6}$	$\frac{28,2; 29,0; 29,0}{28,7}$	$\frac{104,9; 106,5; 107,9}{106,4}$

Таблица 6. Взаимосвязь напряжения дуги, при котором образуются поры в металле шва, с содержанием газов и характеристиками переноса электродного металла

Марка электрода (диаметр, мм)	Содержание газов в наплавленном металле, %			$\tau_{к.з.}, \text{мс}$	$U_H/U_{пр}, \text{В}$	$\frac{U_H - U_H}{U_H}, \%$
	[H] _{сум}	[N]	[O]			
УОНИ-13/55 (Ø3,0)	4,7	0,022	0,043	3,6	21,5/25,5	18,6
ЦЛ-39 (Ø2,5)	4,8	0,018	0,040	3,2	23,0/29,5	28,2
ЦУ-5 (Ø2,5)	5,4	0,014	0,039	2,7	23,5/30,0	27,7
АНОД-1 (Ø2,5)	3,9	0,013	0,037	2,3	21,5/30,0	39,5
АНОД-1 (Ø3,0)	4,5	0,016	0,034	2,2	22,0/31,0	40,9

Примечания. 1. Содержание диффузионного водорода (в миллилитрах на 100 г расплавленного металла), определяемое хроматографическим методом [21], дает данные, сравнимые с показателем ртутного метода МИСа. 2. Содержания кислорода, азота и остаточного водорода определяли методом вакуумной плавки. 3. Среднестатистическую продолжительность коротких замыканий определяли прибором ТХ-5000 при сварке в нижнем положении короткой дугой.

В22 Н10 в зависимости от диаметра электрода [20].

Типичные показатели плавления электродов АНОД-1 представлены в табл. 5, а содержание газов в наплавленном металле — в табл. 6.

Как следует из данных, приведенных в табл. 6, электроды АНОД-1 характеризуются мелкокапельным переносом электродного металла и его надежной защитой от окружающего воздуха. У них достаточно низкое номинальное U_H и, что очень важно, весьма высокое пороговое U_H напряжение дуги, достижение которого в процессе удлинения дуги вызывает образование пор в шве. Так, для электродов УОНИ-13/55, удлиняя дугу, можно лишь на 18 % повысить напряжение дуги, не опасаясь возникновения пористости. Электроды ЦУ-5 и ЦЛ-39, специально разработанные для теплоэнергетики, позволяют удлинить дугу, не опасаясь пористости, до тех пор, пока напряжение дуги не возрастет на треть по сравнению с их номинальным напряжением. Для электродов АНОД-1 этот показатель достигает 40 %.

Результаты выполненной в лаборатории Минздрава Украины оценки санитарно-гигиенических свойств электродов АНОД-1, включая расчетные показатели интенсивности воздухообмена, обеспечивающей безопасную концентрацию вредных веществ в зоне дыхания сварщика, следующие: выделение твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) — 17,0 г/кг и 0,64 г/мин; удельные выделения фтористых соединений — 0,83 г/кг растворимых фторидов и 1,37 г/кг малораствори-

мых; удельные выделения марганца — 0,78 г/кг. Класс по рекомендуемой интенсивности воздухообмена (NHL) — 1(3000 м³/ч); предельно допустимая концентрация (ТССА) в зоне дыхания сварщика — 4,5 мг/м³; интенсивность выделения ТССА — 40 г/ч.

Технология промышленного производства электродов АНОД-1 на прямоточных прессах фирмы «Oerlikon» освоена ОАО «Межгосметиз-Мценск». Разработан, изготовлен и отлажен двухпозиционный брикетировочный пресс: на одной позиции прессуется брикет для внутреннего, а на другой — для наружного слоя. Вкладывая одну заготовку в другую, получают двухслойный брикет, который закладывают в рабочий цилиндр электроодобразочного пресса.

При изготовлении двухслойных электродов в рамках освоенной технологии могут применяться все приемы обеспечения технологических и эксплуатационных характеристик электродов и свойств металла шва, которые используются при производстве низководородных электродов с традиционной конструкцией покрытия.

1. Baach H., Bossard U., Bertolaso B. U. Moeglichkeiten zur beeinflussung des Schweißverfahrens durch neue Erkenntnisse bei der Umhüllung von Stabelectroden // Oerlikon Schweissmitteilungen. — 1981. — № 95. — S. 11–15.
2. Ерохин А. А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки. — М.: Машиностроение, 1964. — 254 с.
3. Некоторые пути улучшения характеристик переноса металла при сварке электродами с основным покрытием / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко и др. // Автомат. сварка. — 1985. — № 1. — С. 33–36.

4. Пути улучшения сварочно-технологических свойств фтористокальциевых электродов для монтажной сварки / В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко, А. Е. Марченко, В. Д. Макаренко // Тр. Всесоюз. конф. по сварочным материалам. — Киев: Наук. думка, 1982. — С. 92–95.
5. Essers W. G., Jermorini G., Tichelaar G. W. Metal transfer from coated electrodes // Metal Construction and British Welding J. — 1971. — № 4. — Р. 151–154.
6. Баах Х. Возможности влияния новых достижений на сварочно-технологические свойства покрытых электродов // Сварочная промышленность. Эрликон Бюрле А. О. Швейцария: Материалы симпозиума. — Киев, 1980. — С. 1–10.
7. Пат. 84786 Чехословакия, кл. 21h, 30/16, 49h, 36/01. Obalene kovove elektrody na svarovani nebo navarovani elektickyim obloukem a zpusob jejich vyroby / J. Cabelka, S. Horvat. — Приор. от 30.02.54. — Оpubл. 01.10.55.
8. Пат. 36806 Финляндия, кл. 21h, 30/16, /H05b/. Tapa valmistaa valokaarihitsaukseen sopiva hitsauspuikko, jossa on kahdesta kerroksesta muodostuva paaelyste. — Приор. от 16.02.56. — Оpubл. 15.03.68.
9. Пат. 353471 Швейцария, кл. 21 h, 30/16. Verfahren zur Herstellung vjn Elettroden fuer die elertrische Lichtbogenschiessung mit einer aus zwei Schichten bestehenden Umhuellung / J. M. Magnusson, P. E. Petersen. — Оpubл. 15.05.61.
10. Пат. 116330 Норвегия, кл. 21h, 30/16, /B23k, 35/04/. Fremgangsmate for fremstilling av sveiseelektroder med flere dekkskikt / E. Kolstad. — Приор. от 30.10.67. — Оpubл. 21.06.69.
11. Пат. 349354 Швейцария. Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mehrschichtigen Pressmanelektroden / K. Gloor. — Оpubл. 30.11.60.
12. Пат. 10927 Япония, кл. 12В105, 2, /В23 к/. Электрод для дуговой сварки с трехслойным покрытием / Омори Нихэй, Мияо Нобуаки. — Приор. от 03.12.66. — Оpubл. 19.03.71.
13. Пат. 25973 Япония, кл. 12В105, 3, /В23 к/. Двойные электроды с покрытием для дуговой сварки / Омори Нихэй, Мияо Нобуаки. — Приор. от 03.12.66. — Оpubл. 27.08.70.
14. Пат. 32140 Япония, кл. 12В105, 3, /В23 к/. Электрод для дуговой сварки с двойным покрытием, использующий два источника тока / Омори Дзимпэй, Мияо Нобуаки. — Приор. от 03.06.64. — Оpubл. 12.03.66.
15. Evans G. M. Basic low-alloy steel covered arc welding electrodes according to AWS A 5.5–81 // Oerlicon Schweissmittelungen. — 1987. — 113, № 2. — Р. 22–23.
16. А. с. 792745 СССР, кл. К 23к 35/10. Электродное покрытие / И. К. Походня, А. Е. Марченко, С. С. Миличенко и др. — Оpubл. 17.04.79.
17. Электроды основного типа с улучшенными сварочно-технологическими свойствами / И. К. Походня, С. С. Миличенко, В. Н. Горпенюк и др. // Свароч. пр-во. — 1984. — № 7. — С. 33–34.
18. О результатах испытаний электродов АНО-Д при сварке изделий судостроения / И. К. Походня, С. С. Миличенко, А. Е. Марченко и др. // Технология судостроения. — 1987. — № 9. — С. 9–12.
19. Электроды АНО-Дс с основным покрытием для сварки изделий судостроения / И. К. Походня, С. С. Миличенко, А. Е. Марченко и др. // Свароч. пр-во. — 1986. — № 12. — С. 6–7.
20. Проценко Н. А., Марченко А. Е. Основные положения ДСТУ ISO 2560:2004 «Покрытые электроды для ручной дуговой сварки нелегированных и мелкозернистых сталей» // Сварщик. — 2006. — № 5. — С. 42–45.
21. Походня И. К., Пальцевич А. П. Хроматографический метод определения количества диффузионного водорода в сварных швах // Новые сварочные материалы: Материалы к краткосроч. сем., 2–3 февр. 1978. — Л., 1978. — С. 36–40.

The article gives generalised information on properties of low-hydrogen electrodes with a double-layer covering, as well as characteristics of metal of the welds made by using the above electrodes, including electrodes of the ANOD-1 grade, the technology of manufacture of which is oriented to the available feedstock.

Поступила в редакцию 01.10.2010

11-я международная специализированная выставка
«Оборудование, приборы и инструменты
для металлообрабатывающей промышленности»

МЕТАЛЛООБРАБОТКА



Центральный
выставочный комплекс
«Экспоцентр»
Москва, Россия

24–28 мая 2010

ЦВК «Экспоцентр»:
123100, Россия, Москва, Краснопресненская наб., 14
Дирекция машиностроительных выставок
Тел.: (499) 795-28-21, 795-26-60
Факс: (495) 609-41-68
E-mail: metobr@expocentr.ru
Интернет: www.metobr-expo.ru, www.expocentr.ru

Российская Ассоциация
производителей станкоинструментальной продукции
«Станкоинструмент»:
125009, Россия, Москва, ул. Тверская, 22а, стр. 2, а/я 3
Тел.: (495) 650-59-21, 650-58-04
Факс: (495) 650-59-21, 650-38-11
E-mail: slass@tsr.ru, slass.expo@tsr.ru
Интернет: www.stankoinstrument.ru



УСТРОЙСТВА ДЛЯ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНОГО ШВА В ПРОЦЕССЕ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

А. С. ПИСЬМЕННЫЙ, И. В. ПЕНТЕГОВ, доктора техн. наук, **В. М. КИСЛИЦЫН, Е. П. СТЕМКОВСКИЙ, Д. А. ШЕЙКОВСКИЙ**, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены варианты подвески сварочного электрода для термомеханической обработки металла сварного шва непосредственно в процессе сварки. Предложена конструкция сварочной головки с ударным приложением усилия сжатия и вариант циклограммы практической реализации процесса сварки металлов малых толщин.

Ключевые слова: точечная контактная сварка, конструкционные стали, металл шва, ударная нагрузка, усилие сжатия, устройство для проковки, циклограмма процесса сварки

Результаты экспериментов по качественной оценке влияния термомеханической обработки сварного шва, проводимой непосредственно в процессе сварки, на прочность сварного соединения, изложенной в работе [1], указывают на перспективность использования высокоскоростного (ударного) усилия сжатия на этапе охлаждения металла сварной точки.

Металлографический анализ сварных швов показывает, что ударное воздействие на металл сварной точки непосредственно в процессе точечной контактной сварки приводит к заметному измельчению микроструктуры и повышению механической прочности сварных соединений. Особенно заметно повышение прочностных свойств в случае многократного приложения ударного усилия сжатия, что связано скорее всего с ударным воздействием на металл шва в определенном температурном интервале. Последний достигается в определенный момент времени, который устанавливается с недостаточной степенью точности из-за несовершенства применяемой аппаратуры измерения температуры сварной точки при продолжительности нагрева менее десяти полупериодов переменного тока.

Целью настоящей работы является выбор оптимального варианта устройства для ударной обработки металла сварных швов в процессе точечной контактной сварки.

Исходя из результатов испытаний на прочность сварных и паяных соединений, изготовленных при газопламенном нагреве и нагреве электросопротивлением, установлено, что метод нагрева не является определяющим фактором повышения механической прочности. Основными параметрами, влияющими на формирование мелкокристаллической структуры сварной точки, являются тем-

пературный интервал пребывания металла шва в момент приложения ударного усилия сжатия и количество импульсов ударного воздействия.

Актуальность проведения исследований способа сварки с термомеханической обработкой сварного шва непосредственно в процессе сварки просматривается в возможности применения этого технологического приема в процессах соединения конструкций из тонколистового металла и таких материалов, для которых в большинстве случаев невозможно использование традиционных способов сварки. Идея проковки металла в процессе его соединения известна еще из способов кузнечной сварки, но в вариантах ее использования в настоящее время упущены преимущества ударного и многократного приложения кованного усилия при температуре нагрева соединяемых металлов, близкой к температуре их плавления.

Известно, что при ударной обработке материалов поглощение энергии удара в областях неоднородностей кристаллического строения приводит к повышению уровня напряжений сжатия почти на два порядка. При этом дополнительное выделение энергии на участках контактирования соединяемых металлов интенсифицирует процессы взаимной диффузии через поверхность соприкосновения и ускоряет миграционную способность атомов металла в областях повышенного уровня механических напряжений [2–4].

Высокоскоростная деформация металла сопровождается наклепом, степень которого характеризуется энергией удара, реализуемой на измельчение крупных поликристаллических зерен металла и формирование более однородной мелкокристаллической структуры, сходной со строением основного металла [5, 6].

Термомеханическая обработка металла шва непосредственно в процессе сварки в основном используется в процессах точечной контактной сварки с циклом «проковки» [7, 8]. Однако инерционность пневматических систем перемещения

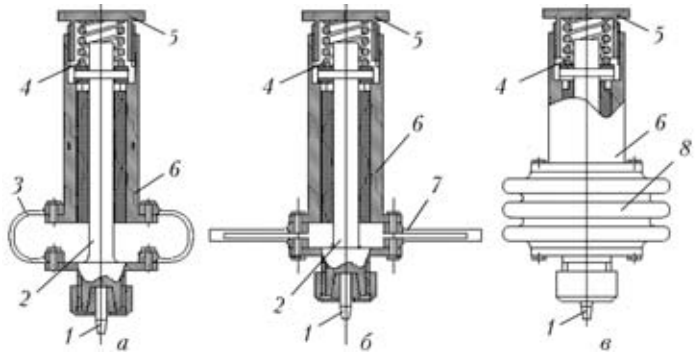


Рис. 1. Схемы вариантов снижения инерционности подвески сварочного электрода: *а* — пружинного; *б* — электродинамического типа; *в* — с использованием электрогидравлического эффекта (1 — электрод; 2 — подвижная часть подвески; 3, 7 — соответственно гибкие и упругие токоподводы; 4 — пружина; 5 — регулятор усилия предварительного сжатия; 6 — корпус сварочной головки; 8 — сильфон)

сварочного электрода ставит под сомнение не только возможность практической реализации «проковки» сварной точки, но и приводит к существенным и нежелательным отклонениям усилия сжатия в процессе образования сварной точки. Это объясняется тем, что в начале цикла нагрева из-за инерционности узла перемещения электрода в зоне соединения деталей создается повышение усилия сжатия из-за резкого расширения металла при его нагреве, а затем электрод как бы «зависает» и не успевает отслеживать почти мгновенное снижение прочности металла в момент его плавления, что способствует появлению дефектов сварных соединений и ухудшению прочностных характеристик сварного соединения.

Для снижения инерционности узла перемещения электрода обычно используют многосвязную систему крепления электрода [9], например, путем размещения на нижнем торце штока пневмоцилиндра дополнительного подвижного элемента с меньшей массой, соединенного со штоком подвеской пружинного типа (рис. 1, *а*), или электродного узла с использованием электродинамических, электромагнитных сил, электрогидравлического эффекта и других видов преобразования энергии.

В подвеске электродинамического типа (рис. 1, *б*) электрический ток протекает через две токоподводящие поверхности, расположенные на минимальном расстоянии перпендикулярно оси электрода, что вызывает появление в них электродинамических сил, которые создают дополнительное усилие сжатия, значение и время воздействия которого совпадают с формой сварочного импульса.

Существенного повышения ударного давления сжатия можно достичь при использовании электрогидравлического эффекта, например, в результате воздействия высоковольтного электрического разряда между электродами, погруженными в какую-либо жидкость, находящуюся в сильфоне (рис. 1, *в*) [10].

Анализ преимуществ и недостатков рассмотренных вариантов исполнения электродного узла показывает, что система с электродинамическим вариантом приложения ударного усилия сжатия более предпочтительна по сравнению с системой пружинной подвески электрода, так как при этом появляется возможность расширения диапазона усилия сжатия и синхронизации импульса усилия сжатия с импульсом сварочного тока.

По сравнению с системой электродинамического типа электродный узел электромагнитной системы позволяет устанавливать заданную задержку включения импульса ударного воздействия относительно импульса сварочного тока, т. е.

проводить термомеханическую обработку металла сварного шва при заданной температуре нагрева.

К преимуществам электродного узла с использованием электрогидравлического эффекта относится возможность использования более высокой скорости приложения дополнительного усилия сжатия, что должно сопровождаться появлением новых технологических эффектов. Однако на первом этапе проведения экспериментальных технологических работ для подтверждения выявленных преимуществ ударной термомеханической обработки непосредственно в процессе сварки металлов была выбрана схема с электромагнитным приложением ударного усилия сжатия, позволяющая сократить затраты и сроки изготовления электродного узла.

Таким образом, в состав лабораторной установки для проведения исследований влияния термомеханической обработки на свойства сварного шва были включены следующие узлы и блоки: сварочный трансформатор, сварочная головка с узлом приложения предварительного и ударного усилия сжатия, командоаппарат и механизм перемещения сварочной головки (или свариваемых листов) на требуемое расстояние между сварными точками.

К основным функциям командоаппарата относится обеспечение выполнения последовательности следующих этапов реализации процесса сварки: включение заданного количества периодов сварочного тока; включение импульсов ударного усилия сжатия после момента завершения импульсов нагрева (через некоторое время после выключения тока сварки); включение механизма перемещения сварочной головки или сварочного стола с закрепленными на нем свариваемыми деталями на заданное расстояние.

Конструктивная схема узла ударного приложения усилия сжатия представлена на рис. 2. Как видно из циклограммы, включение импульсов

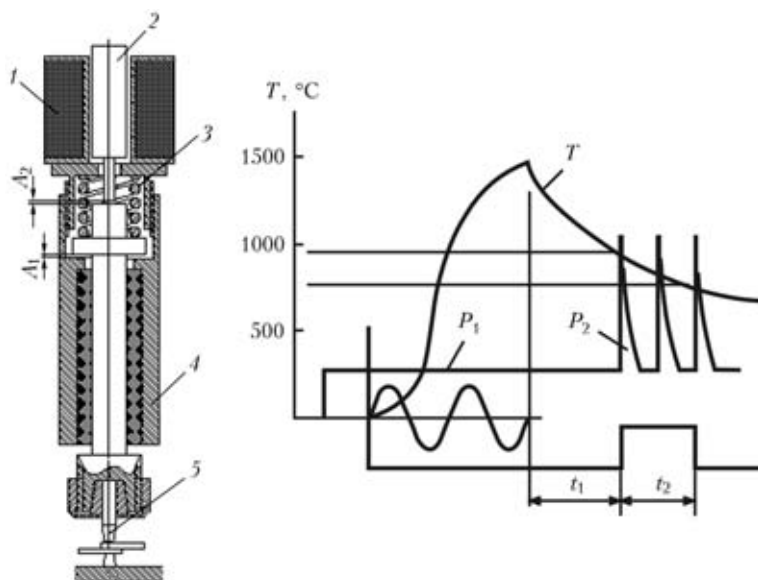


Рис. 2. Схема сварочной головки с ударным приложением усилия сжатия и циклограмм процесса: 1, 2 — соответственно обмотка и сердечник соленоида; 3 — пружина, обеспечивающая усилие предварительного сжатия; 4 — корпус; 5 — сварочный электрод

нагрева свариваемых образцов происходит после приложения к ним предварительного усилия сжатия P_1 , значение которого регулируют изменением расстояния A_1 сжатия пружины 3.

Воздействие импульсов ударного приложения усилия сжатия P_2 происходит через заданный интервал времени t_1 после момента окончания нагрева. Количество импульсов ударного приложения усилия сжатия определяется интервалом времени t_2 , задаваемым командоаппаратом и инерционностью подвижной части электродного узла.

Энергия импульсов ударного сжатия корректируется установкой зазора A_2 между торцом сердечника соленоида и штоком с цангой крепления сварочного электрода.

Выбор момента времени t_1 имеет первостепенное значение, так как эффективность приложения импульсов ударного усилия сжатия снижается как при его минимальном значении (т. е. при температуре сварной точки, близкой к точке плавления свариваемого металла), так и при его завышении из-за резкого возрастания упругих свойств металла в процессе его охлаждения.

Результаты проведенных экспериментов по определению температуры, при которой приложение импульсов ударного усилия сжатия приводит к максимальному повышению прочностных свойств сварного соединения, указывают на интервал 950...750 °С. Однако, исходя из технической сложности непосредственного измерения температуры металла сварной точки в течение нескольких долей секунды, на этапе разработки данного способа использовали косвенный метод контроля по интервалу времени, отсчитываемому после момента окончания нагрева, принимая за начальные условия стабильность параметров нагрева и условий теплоотвода.

При необходимости выполнения шовной сварки листовых материалов установка снабжена механиз-

мом перемещения свариваемых деталей на требуемое расстояние между сварными точками.

Полученные результаты испытаний сварочной головки с электромагнитной системой приложения ударного усилия сжатия позволяют предположить возможность перехода от точечной контактной сварки к варианту сварки с косвенным нагревом соединяемых деталей, что представляет интерес с точки зрения сварки неметаллических материалов. Для реализации варианта косвенного нагрева свариваемых деталей сварочную головку достаточно укомплектовать плазмотроном или газопламенной горелкой. Тогда командоаппарат выдает непрерывную последовательность команд на ударную обработку сварной точки, а вместо регулирования интервала времени t_1 подбирают расстояние между источником косвенного нагрева и сварочной головкой ударной термомеханической обработки в зависимости от мощности источника нагрева и скорости перемещения сварочной головки.

При этом способе сварки соединение листового металла выполняется в виде последовательности отдельных сварных точек с некоторым перекрытием, причем каждая сварная точка подвергается ударному воздействию усилия сжатия для создания в ней механических напряжений сжатия, достаточных для пластического деформирования металла сварного шва.

Выводы

1. Результаты проведенных испытаний рассмотренного варианта сварочной головки указывают на перспективность использования электромагнитной системы ударного воздействия усилия сжатия при сварке сталей толщиной порядка 1 мм, причем для сварки металлов больших толщин, вероятнее всего, необходим переход к конструкции

электродного узла с использованием электрогидравлического эффекта.

2. Представленная конструкция сварочной головки для обработки сварного шва может стать основой для разработки нового способа сварки металлов, для которых затруднено или исключено использование существующих способов соединения.

1. Письменный А. С., Кислицын В. М. Влияние ударной обработки металла шва на прочность сварного соединения // Автомат. сварка. — 2010. — № 1. — С. 47–50.
2. Райнхард Дж., Пирсон Дж. Поведение металлов при импульсных нагрузках: пер. с англ. — М.: Энергия, 1958. — 464 с.
3. Ударная сварка в вакууме. Физика твердого тела // Энциклопедический словарь / Под ред. В. Г. Барьяхтара. — Киев: Наук. думка, 1998. — Т.2. — 398 с.

4. Ударная сварка в вакууме алюминия с медью / Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко, В. В. Арсенюк, Б. В. Половецкий // Автомат. сварка. — 2002. — № 9. — С. 50–51.
5. Гуляев А. П. Металловедение. — М.: Оборониздат, 1951. — 130 с.
6. Гриднев В. Н., Гаврилюк В. Г., Мешков Ю. Я. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. — Киев: Наук. думка, 1974. — 498 с.
7. Оборудование для контактной сварки: Справ. пособие / Под ред. В. В. Смирнова. — С.-Пб.: Энергоатомиздат, 2000. — 848 с.
8. Моравский В. Э., Ворона Д. С. Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки. — Киев: Наук. думка, 1985. — 272 с.
9. Новые технологические процессы в точном приборостроении / Под ред. Р. Зевига: Пер. с нем. — М.: Энергия, 1973. — 450 с.
10. Попилов Л. Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. — М., 1969. — 432 с.
11. Липа М., Голасик Я. Контактная рельефная сварка. — Киев: Техніка, 1970. — 324 с.

Variants of suspensions of welding electrodes for thermomechanical treatment of the weld metal directly during the welding process are considered. Design of the welding head with impact application of the compression force and a variant of the cycle pattern for practical implementation of the thin metal welding process are offered.

Поступила в редакцию 31.05.2010

НКМЗ ПОСЕТИЛИ ЧЛЕНЫ АССОЦИАЦИИ РЕКТОРОВ ВЫСШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ УКРАИНЫ

В состав делегации, посетившей 6 декабря Новокраматорский машиностроительный завод (Краматорск Донецкой обл.), вошли ректоры 43 высших технических учебных заведений страны, а также исполнительный директор Ассоциации технических университетов Российской Федерации В. К. Болтян.

Посещение НКМЗ состоялось в рамках X заседания ассоциации, на котором обсуждались вопросы повышения качества высшего технического образования в Украине и улучшения взаимодействия между вузами и предприятиями.

Совершив экскурсию по цехам, побывав на учебных полигонах отдела развития персоналом и управления знаниями (ОРП и УЗ), гости выразили восхищение технической мощью завода и высоким уровнем системы подготовки персонала.



В ходе встречи с руководителями предприятия председатель совета ассоциации, ректор Киевского национального технического университета М.З. Згуровский отметил, что модель, аналогичную сотрудничеству НКМЗ и ДГМА, он встречал разве что в Ахенском техническом университете и концерне Mercedes, однако для Украины это редчайшее исключение. «Деятельность ассоциации ректоров высших технических учебных заведений Украины направлена, в том числе, на то, чтобы такие исключения стали правилом», — заявил М.З. Згуровский.

Ректор Донецкого национального технического университета А.А. Минаев отметил, что «работа НКМЗ в освоении сложной науки управления знаниями — пример, заслуживающий подражания и всяческой поддержки на государственном уровне». С ним согласились все его коллеги.

Пресс-служба НКМЗ



НОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ О «СТАРЫХ» ЭЛЕКТРОДАХ*

И. Р. ЯВДОЩИН, канд. техн. наук, О. И. ФОЛЬБОРТ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведена информация о модернизации электродов АНО-4 и АНО-21 с целью расширения сортамента и максимально возможного использования сырья украинского производителя. Содержатся сведения о корректировке нормативной документации на электроды АНО-4 и УОНИ-13/45 для их аттестации на соответствие требованиям РД 03-613-03 «Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов».

Ключевые слова: сварочные электроды, модернизация электродов, нормативная документация, сооружение и монтаж опасных производственных объектов

Для современных рыночных условий характерны быстрое изменение окружающей деловой среды и возрастание конкуренции. В связи с этим необходимо оперативно и адекватно реагировать на возникающий при этом риск. Следуя концепции «постоянных изменений для достижения стабильности», ИЭС им Е. О. Патона в течение последних лет не только создавал новые марки электродов, но и совершенствовал разработки прошлых лет для удовлетворения постоянно изменяющихся требований их изготовителей и потребителей.

В настоящей работе изложена суть проведения модернизации электродов трех марок — АНО-21 и АНО-4 (разработка ИЭС им. Е. О. Патона) и УОНИ-13/55 (ЦНИИМ, РФ).

Универсальные электроды марки АНО-21 с рутиловым покрытием разработаны для сварки угловых, стыковых, нахлесточных соединений из металла толщиной 1...5 мм во всех пространственных положениях, включая выполнение вертикальных швов способом сверху вниз. Электроды выпускали со стержнем диаметром от 2,00 до 3,25 мм. Опыт применения электродов марки АНО-21 указанных диаметров показал, что они имеют высокие сварочно-технологические свойства: дуга легко зажигается и стабильно горит при сварке как на переменном, так и постоянном токе любой полярности; шлак отделяется самопроизвольно; формирование металла шва мелкочешуйчатое; полученный шов плоский, плотный, равномерный. Применение этих электродов обеспечивает необходимую плотность шва даже при увлажнении покрытия, а также при сварке металла со следами ржавчины и различными загрязнениями. Высокая устойчивость горения дуги при малом значении тока позволяет использовать быто-

вые трансформаторы с низким напряжением холостого хода. С указанными электродами легко работать даже сварщикам невысокой квалификации.

Модернизация электродов марки АНО-21 проведена с целью расширения сортамента, а также в расчете на максимально возможное использование сырья украинских производителей.

Электродам АНО-21 в новом исполнении диаметром от 2 до 5 мм присвоены следующие условные обозначения:

Э46-АНО-21-Ø 2,00...3,25 -УД
Е432(3)-P11

ГОСТ 9466-75,
ТУУ 05416923.001-95

Э46-АНО-21-Ø 4-УД
Е432(3)-P21

ГОСТ 9466-75,
ТУУ 05416923.001-95

Э46-АНО-21-Ø 5-УД
Е432(3)-P31

ГОСТ 9466-75,
ТУУ 05416923.001-95

Из них следует, что увеличение диаметра электродов марки АНО-21 приводит к ограничению пространственных положений, в которых может осуществляться сварка. При этом другие сварочно-технологические показатели электродов остаются практически неизменными.

С учетом результатов проведенных исследований откорректирована нормативная документация на электроды АНО-21, включая технические условия и технологическую инструкцию, получено заключение санитарно-гигиенической экспертизы и освоена технология производства электродов на оборудовании электродного цеха ЗАО «Артемовский машиностроительный завод «Вистек».

Модернизация электродов АНО-4 и УОНИ-13/55 вызвана необходимостью выполнения требований, предъявляемых Национальным агентством контроля и сварки РФ (НАКС) к продукции, которая поставляется этой стране зарубежными производителями. Модернизации предшествовали работы по адаптации производства электродов указанных марок к сырью украинских производителей, а также по аттестации изготовителем электродов АНО-4 и УОНИ-13/55 на соответствие требованиям РД 03-613-03 «Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических уст-

* По материалам доклада, представленного на V международной конференции «Сварочные материалы. Технологии. Производство. Качество. Конкурентоспособность» (г. Артемовск, 7-11 июня 2010 г.).



ройте для опасных производственных объектов». Результаты выполненных работ отражены в документации на указанные марки электродов, включая изменение в технических условиях Украины на электроды АНО-4 и УОНИ-13/55, которые поставляются в РФ.

В частности, в разделе, касающемся требований к электродам, изложено, что они используются при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах. В разделе, касающемся свойств электродов, ограничены (на уровне 0,75 от требований ГОСТ 9466–75) значения предельно допустимой разнотол-

щинности покрытия, кривизны электродов, введены дополнительные требования к нанесению маркировки на каждый электрод и ионизационного слоя на зажигательный торец каждого электрода, а также к ударной вязкости наплавленного металла при температуре – 40 °С.

На ярлыке, наклеенном на упаковку, а также в сертификате качества наряду с другими сведениями приводится «Свидетельство об аттестации НАКС №от.....».

Перечисленные работы выполнены по инициативе ЗАО «Артемовский машиностроительный завод «Вистек».

Information is given on improvement of electrodes ANO-4 and ANO-21 to widen the range of the products, relying on the maximum possible utilisation of feedstock from the Ukrainian manufacturers. The article contains data on amendments to the regulatory documents for electrodes ANO-4 and UONI-13/45 in order to certify the above electrodes to their conformity with standard RD 03-613-03 «Procedures for using welding consumables in manufacture, assembly, repair and reconstruction of technical devices for hazardous industrial facilities».

Поступила в редакцию 21.06.2010

Уважаемые читатели журнала!

Обращаем Ваше внимание на наличие в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины нового современного оборудования, расширяющего возможности проведения исследований материаловедческого направления. Среди них:



Установка «GLEEBLE-3800



Оже-микроскоп «JAMP-9500F»

установка «GLEEBLE-3800» — высокотехнологический комплекс, позволяющий проводить физическое имитирование процессов сварки, горячей деформации металлов (ковка, прокат, осадка), а также имитировать термическую обработку металлов с разными скоростями нагрева и охлаждения;

оже-микроскоп «JAMP-9500F» (JEOL Ltd) — многофункциональный аппарат с высокими параметрами технических характеристик. Представляет собой электронно-сканирующий микроскоп с высокой пространственной разрешающей способностью и оже-спектрометр с высокой чувствительностью и энергетическим разрешением на уровне рентген-фотоэлектронной спектроскопии.

**Приглашаем заинтересованных лиц
к проведению совместных научно-исследовательских работ.
Контакты: тел./факс: (+38044) 287 88 80.**

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

С 5 по 8 октября 2010 г. на кафедре сварки Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА) проходила Вторая международная научно-техническая конференция «Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития». По сравнению с предыдущей конференцией в 2009 г. значительно расширилось число ее участников. Так, кроме ДГМА и НКМЗ, активное участие в ее работе приняли специалисты Азовмаша (г. Мариуполь), завода автогенного оборудования ДОН-Мет (г. Краматорск) и ряд ведущих ученых в области сварочного производства: К. А. Ющенко, академик НАН Украины, зам. директора по научной работе ИЭС им. Е. О. Патона, Г. С. Маринский, д-р техн. наук, зам. генерального директора НТК ИЭС им. Е. О. Патона, Г. К. Харченко, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой Черниговского ГТУ, С. К. Фомичев, д-р техн. наук, проф., декан сварочного факультета НТУУ «КПИ», В. Д. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой восстановления деталей машин НТУУ «КПИ», В. В. Чигарев, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой металлургии и технологии сварочного производства ПГТУ (г. Мариуполь), А. А. Кайдалов, д-р техн. наук, международный инженер-сварщик, В. Ф. Мазанко, д-р физ.-мат. наук, начальник отдела Института металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины и многие другие.

Пленарное заседание открыл ректор ДГМА, профессор В. Федоринов, который пожелал участникам плодотворной работы.

Выступление А. Кайдалова было посвящено деятельности Общества сварщиков Украины, направленной на поддержание и укрепление сотрудничества специалистов в области сварки как в Украине, так и за ее пределами, проведение аттестации сварщиков в Украине, обеспечение издания литературы по сварочному производству, организацию конкурсов среди сварщиков и др.

Заместитель главного сварщика НКМЗ Ю. Окунев в своем выступлении рассказал о внедрении научных разработок в области сварки на ЗАО «НКМЗ». Подробно остановился на проблемах электрошлаковой сварки и наплавки, разработке мероприятий по снижению энергоемкости сварки и др.; кроме того, представил разработки специалистов завода в данном направлении.

Ряд докладов был посвящен научно-техническим вопросам дуговой, плазменной, диффузионной, электроконтактной и других способов сварки и наплавки. Особый интерес вызвали проводимые



Рабочий момент пленарного заседания

ИЭС им. Е. О. Патона исследования по сварке разнородных материалов с использованием нанослоев меди (докладчик Г. К. Харченко). Наносимые на поверхность соединяемых деталей нанослои обладают особыми свойствами и после незначительной активации обеспечивают выделение весьма большого количества теплоты, используемой для создания контакта, при этом появляется возможность соединения трудносоединяемых и несоединяемых другими способами материалов, причем в различных условиях — в космосе, под водой и т. д.

Большой интерес вызвал доклад В. Мазанко, посвященный способу сварки, при котором для получения соединения используется энергия удара. Авторами отмечено, что во время ударного воздействия на свариваемые детали происходят явления, изучение которых открывает новое в знании



Обмен мнениями в кулуарах конференции



Во время посещения завода автогенного оборудования «Донмет»

ях о свойствах металлов и о природе происходящих в них процессов. За рамками конференции была проведена лекция для студентов, магистров и аспирантов академии, которая была посвящена актуальным на сегодня вопросам создания наноматериалов и придания им необходимых свойств, а также при-

менению нанотехнологий при сварке на производстве.

Был заслушан доклад по совместной с Магдебургским университетом (Германия) научно-исследовательской работе в области диагностики и ремонта сварных конструкций. В рамках данной работы делегация ДГМА и НКМЗ посетила Магдебургский университет и промышленные предприятия Германии, где были согласованы будущие направления сотрудничества в области сварки.

Помимо работы на конференции, участники посетили НКМЗ, побывали также на предприятии «Донмет», где их ознакомили с ассортиментом выпускаемого оборудования для газовой сварки, резки и пайки металлов, другой продукцией завода, посетили Святогорскую лавру.

Участники конференции выразили пожелание ежегодно проводить в ДГМА международный форум ученых в области сварочного производства, что позволит чаще обсуждать теоретические и практические наработки, послужит хорошей школой для молодых ученых.

В. А. Пресняков, канд. техн. наук

УДК 621.791:061.2/4

СЕМИНАР «СУПЕРКОНДЕНСАТОР — ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ФИРМЫ «ЮНАСКО-УКРАИНА»

18 октября 2010 г. Аэрокосмический институт Национального авиационного университета проводил семинар на тему «Суперконденсатор — высокоэффективный источник питания». Со вступительным словом о перспективах использования суперконденсаторов в аэрокосмической области выступил директор института д-р техн. наук, проф. В. Н. Шмаров, который подчеркнул широкие возможности использования этих устройств для повышения надежности и улучшения режимов эксплуатации средств авиационной техники.

Генеральный директор «Юнаско-Украина» Ю. М. Зелинский ознакомил слушателей с основным направлением деятельности фирмы в области исследования и разработки технологии производства современных модулей суперконденсаторов, а также привел данные по вопросам их использования в различных отраслях народного хозяйства.

Научный руководитель фирмы «Юнаско-Украина» д-р хим. наук, проф. Ю. А. Малетин остановился на технологических особенностях создания суперконденсаторных модулей. Он показал, что наилучшие характеристики изделий фирмы по низкому внутреннему сопротивлению, высокой удельной

энергии по отношению к мощности достигаются благодаря применению специальных методов обработки нанопористых углеродных материалов. При этом существенную роль играют новые технологические приемы создания коллекторов тока. Ключевые технологии фирмы находятся в стадии оформления патентов, а наиболее важные технологические процессы отнесены к категории «ноу-хау». Часть технологических установок создана сотрудниками фирмы и не имеет мировых аналогов.

Проф. Ю. А. Малетин в ответах на вопросы подчеркнул, что пока суперконденсатор не может соперничать с традиционными аккумуляторными по уровню запасаемой энергии, но он превосходит их в значительной степени (на 3–4 порядка) по уровню импульсной мощности, которую способен отдать в «нагрузку» или принять от другого генератора энергии. В этом смысле целесообразны гибридные накопители энергии, особенно они перспективны для электротранспорта.

В области сварки суперконденсаторы позволяют создать высокоэффективные технологические процессы, их применение существенно снизит материалоемкость сварочного оборудования. Особенно это

относится к оборудованию для точечной сварки. В настоящее время уже имеется опыт позитивного сотрудничества Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ с фирмой «Юнаско-Украина», в результате которого созданы опытные образцы источников для точечной контактной сварки.

Участники семинара были ознакомлены с характеристиками современных модулей, которые в настоящий момент могут быть предложены разработчикам технологического оборудования.

А. Е. Коротынский, д-р техн. наук

УДК 621.791.061.2/4

ОТРАСЛЕВОЕ СОВЕЩАНИЕ-КОНФЕРЕНЦИЯ «СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ГАЗПРОМ»

15–19 ноября 2010 г. в Москве в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проходило V Отраслевое совещание-конференция «Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром».

В работе конференции приняли участие ученые и ведущие специалисты научно-исследовательских институтов и учебных заведений России, специалисты по эксплуатации, диагностике и ремонту газопроводов, а также производители сварочного оборудования, включая зарубежные.

Всего на конференции было заслушано 88 докладов — на пленарном заседании 16 и на двух секциях 72. К качеству работы конференции был издан сборник тезисов докладов.

Открыл конференцию, а также выступил с приветственной речью генеральный директор ООО «Газпром ВНИИГАЗ» П. Г. Цыбульский. Он пожелал участникам успешной работы, делового сотрудничества, кратко изложил задачи конференции и организационные вопросы.

В пленарных докладах освещены стратегические проблемы развития газотранспортной системы (ГТС) ОАО «Газпром», а в секционных следующие: секция

А — сварка и родственные процессы при эксплуатации и ремонте объектов добычи и транспорта газа; секция В — сварка и родственные процессы при строительстве объектов добычи и транспорта газа.

Одними из главных приоритетных направлений развития ГТС ОАО «Газпром» России являются обеспечение надежности транспортировки и хранения газа, целостность и заданный уровень технического состояния объектов ГТС, экономическая и промышленная безопасность при эксплуатации ГТС. Достижение поставленной цели предполагается путем решения следующих задач:

— создания системы управления техническим состоянием и целостностью объектов ГТС на основе анализа рисков;

— проведения комплексного технического диагностирования, анализа и прогнозирования технического состояния объектов ГТС, осуществляемых на основе методов и технологий, наиболее эффективных с технической и экономической точек зрения;



— анализа природных, техногенных, управленческих и финансовых рисков эксплуатации ГТС;

— внедрения новых (инновационных) энергоэффективных технических решений, материалов, технологий и оборудования.

Решение указанных задач особое значение приобретает применительно к новым магистральным газопроводам, проходящим через труднодоступные или экстремальные по природно-климатическим условиям районы (шельфовые зоны северных морей, высокая сейсмическая активность) и требующие конструктивных нестандартных схем газопроводов и технологий изготовления, включая специальные способы охлаждения, теплоизоляции и сейсмозащиты.

Отмечается, что обеспечение высокой надежности ГТС в значительной степени определяется уровнем сварочного производства ОАО «Газпром». В его повышении важную роль играют «Целевая комплексная научно-техническая программа развития сварочного производства ОАО «Газпром» и Координационный совет, определяющий, в частности, разработку новых нормативных документов по сварочному производству.

В России в последние годы наметились положительные тенденции в разработке новых отечественных технологий сварки в строительстве, при реконструкции и ремонте магистральных газопроводов. Здесь важными являются исследования по завершению разработки научно обоснованных расчетных норм оценки качества сварных соединений.

Применительно к новым инновационным проектам требуется проведение квалификационных испытаний технологий автоматической, механизированной и ручной сварки, а также разработка технических требований к сварным соединениям. При этом отмечается, что установление требований должно основываться не только исходя из условия обеспечения заданного уровня работоспособности, но и экономической целесообразности.

Специалисты Института электросварки им. Е. О. Патона ознакомили участников совещания с новым подходом к оценке соответствия назначению кольцевых сварных соединений трубопроводов, выполненных автоматической контактной стыковой сваркой оплавлением. Этот подход заостряет внимание специалистов на необходимости разработки требований к механическим свойствам соединений с учетом их особенностей формирования в зависимости от используемого способа сварки и качества получаемого соединения.

В ближайшие годы в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» планируется создание на опытно-экспериментальной базе лабораторного комплекса для исследований и механических испытаний образцов и изделий трубной продукции, а также аттестации технологий сварочного производства. Его предполагается оснастить современным испытательным и сварочным оборудованием, приборами неразрушающего и раз-



рушающего методов контроля качества сварных соединений. Впервые в практике ОАО «Газпром» в полном объеме реализована процедура инженерной оценки критического состояния кольцевых сварных соединений морских газопроводов при строительстве, включающая аттестацию технологии сварки, автоматизированного ультразвукового контроля кольцевых стыков. При этом, наряду с оценкой ударной вязкости металла соединений, определялись показатели механики разрушения — критические значения раскрытия вершины трещины (CTOD) и J-интеграла (JIC). На основе выполненных исследований напряженно-деформированного состояния кольцевых стыков при укладке труб и их вязкости разрушения (CTOD, JIC) сформулированы требования к допустимым размерам дефектов. Такой подход отвечает современному уровню обеспечения работоспособности сварных соединений, выполняемых дуговыми способами сварки, в которых вероятность образования трещиноподобных дефектов, включая трещины, достаточно высока.

Для обеспечения требуемого сегодня уровня квалификации специалистов сварочного производства в г. Гагарин (Смоленская область) открыт крупнейший технический центр по комплексной подготовке сварочно-монтажных бригад на территории, составляющей 6 га. В состав комплекса входят аудитории, цеха и площадки, укомплектованные таким же оборудованием, как при строительстве трубопроводов. Развернут уникальный 200-метровый полигон, имитирующий реальные трассовые условия при строительстве трубопровода диаметром 1220 мм. На полигоне выполняется весь комплекс сварочно-монтажных работ.

Участникам совещания-конференции были продемонстрированы технологии автоматической, механизированной и ручной сварки для строительства и ремонта газопроводов, а также оборудование и технологии подготовки, резки, сборки, нагрева и термической обработки сварных соединений. При этом было показано сварочное и другое оборудо-

вание таких российских и зарубежных фирм, как ЗАО «Псковэлектросвар» (тяжелое электросварочное оборудование для сварки труб разных диаметров); завод «ТехноТрон» (производитель сварочного оборудования инверторного типа); ЗАО «Урал-

термосвар» (производитель широкого спектра сварочного оборудования); «Lincoln Electric» (официальный дистрибьютор Weldsol); KEMPPi the Joy of Welding.

В. И. Кирьян, чл.-кор. НАН Украины

УДК 621.791:061.2/4

ОТЧЕТНО-ВЫБОРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОБЩЕСТВА СВАРЩИКОВ УКРАИНЫ

25 ноября 2010 г. в Киеве состоялась очередная отчетно-выборная конференция Общества сварщиков Украины (ОСУ), на которой присутствовали полномочные представители всех отделений общества.

С отчетом о работе совета общества за 2006–2010 гг. выступил президент ОСУ канд. техн. наук В. Г. Фартушный. В докладе был дан краткий анализ современного состояния сварочного производства в Украине и результаты деятельности совета. В сварочном производстве Украины занято более 80 тыс. ученых, инженеров и рабочих. Предприятий и фирм, производящих сварные конструкции, насчитывается около 2 тыс., производителей сварочного оборудования — 39, производителей сварочных материалов — 64. В структуре общества образовано 17 отделений (5 региональных и 12 областных). Совет общества состоял из 17 человек. В президиум совета входило 9 человек. Вице-президентами общества были канд. техн. наук В. М. Илюшенко (он же исполнительный директор) и канд. техн. наук Б. В. Юрлов. ОСУ как отдельный экспонент участвовал во всех национальных и ряде региональных выставок по сварке. Общество выступало соорганизатором и активным участником ряда международных и национальных конференций и семинаров как в Украине, так и за рубежом. Ежегодно на базе Одесского отделения ОСУ проводились конкурсы сварщиков-профессионалов Украины. В последние два года они стали международными: в них наряду со сварщиками Украины принимали участие сварщики Российской Федерации и Республики Беларусь. По рекомендации совета ОСУ издано 4 книги. В журнале «Сварщик» введена рубрика «Зарубежные коллеги», публикуется информация о состоявшихся мероприятиях общества, памятных датах и юбилеях, налажен обмен информацией с некоторыми зарубежными журналами по сварке. В части международного сотрудничества подписан договор о сотрудничестве со Словацким сварочным обществом, проведены предварительные переговоры со сварочными обществами Румынии, Чехии, ФРГ. Советом общества учреждена почетная награда — медаль Н. Н. Бенардоса, которой награждаются ученые и специалисты, внес-

шие большой вклад в развитие сварочного производства в Украине и в развитие ОСУ.

С отчетом ревизионной комиссии выступил заместитель председателя комиссии В. В. Рогожинский.

В прениях по докладам и в порядке дискуссии выступили В. И. Дегтярь (г. Одесса), А. А. Кайдалов (г. Киев), М. А. Лактионов (г. Сумы), Н. Г. Ефименко (г. Харьков), П. П. Проценко (г. Киев), А. В. Краско (г. Киев), Ю. В. Бутенко (г. Николаев), Б. В. Юрлов (г. Киев), А. Н. Воробьев (г. Одесса). Все выступавшие одобрили деятельность совета, внесли много предложений по совершенствованию деятельности общества на следующий отчетный период.

Был избран новый состав совета ОСУ в количестве 21 человека: А. А. Абрамов, канд. техн. наук, председатель Хмельницкого областного отделения ОСУ; Ю. В. Бутенко, главный сварщик НПКТ «Зоря»-«Машпроект»; Н. В. Высоколян, председатель Полтавского областного отделения ОСУ; В. И. Дегтярь, канд. техн. наук, директор НПЦ «Сварка»; Н. И. Дуда, генеральный директор ОАО «ЖЗМК»; Н. Г. Ефименко, д-р техн. наук, председатель Харьковского областного отделения ОСУ; В. М. Илюшенко, канд. техн. наук; А. А. Кайдалов, д-р техн. наук; А. И. Комиссар, генеральный директор ООО «Фрониус-Украина»; Н. М. Кононов, председатель Днепропетровского областного отделения ОСУ; А. М. Костин, канд. техн. наук, председатель Николаевского областного отделения ОСУ; В. Т. Котик, канд. техн. наук, директор УАКС; А. В. Краско, председатель Центрального регионального отделения ОСУ; М. А. Лактионов, канд. техн. наук, председатель Сумского областного отделения ОСУ; Я. И. Микитин, председатель Херсонского областного отделения ОСУ; Г. В. Павленко, председатель Крымского регионального отделения ОСУ; В. Н. Палаш, канд. техн. наук, председатель Западного регионального отделения ОСУ; П. П. Проценко, канд. техн. наук, директор МУАЦ ИЭС им. Е. О. Патона; В. Г. Фартушный, канд. техн. наук; К. П. Шаповалов, председатель Донецкого областного отделения ОСУ; Б. В. Юрлов, канд. техн. наук.



В состав ревизионной комиссии были выбраны А. Н. Воробьев, С. В. Олексенко, В. В. Рогожинский.

Президентом ОСУ избран канд. техн. наук В. Г. Фартушный, вице-президентами — д-р техн. наук

А. А. Кайдалов и канд. техн. наук Б. В. Юрлов, исполнительным директором — канд. техн. наук В. М. Илюшенко.

В. М. Илюшенко, канд. техн. наук

УДК 621.791:061.2/4

ПЯТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР «НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СВАРКИ ЖИВЫХ МЯГКИХ ТКАНЕЙ»

26–27 ноября 2010 г. в Киеве в Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины был проведен Пятый международный семинар «Новые направления исследований в области сварки живых мягких тканей», в работе которого приняло участие более 130 человек (хирурги, представители областных управлений МОЗ Украины, дистрибьюторских компаний, ученые и специалисты в области биологических и медицинских наук, разработчики медицинской техники) из 16 областей Украины, Российской Федерации, Республики Беларусь, Болгарии, Польши, Македонии и США. Организаторами семинара выступили ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ и «Международная ассоциация «Сварка».

Первый день семинара был посвящен рассмотрению результатов выполненных в последнее время работ по использованию электрической сварки в медицине рядом участников семинара. Во второй день всем желающим была предоставлена возможность испытать технологию и новые разработки ИЭС им. Е. О. Патона непосредственно в ходе эксперимента на животном. Зарубежные и украинские хирурги, принявшие участие в этой практической части семинара, отмечали важность приобретения навыков непосредственно от разработчиков, смогли глубже понять особенности применения сварки живых тканей и ее основные преимущества перед коагуляцией. На семинаре было заслушано 30 докладов, касающихся теоретических и экспериментальных аспектов способа высокочастотной (ВЧ) электросварки живых мягких тканей, разработки оборудования и инструментария, а также опыта клинического применения этой новой хирургической технологии.

Открывая семинар, академик Б. Е. Патон отметил, что ценностью этих семинаров является возможность обмена опытом по применению этой новейшей технологии в различных направлениях современной хирургии. Совместное обсуждение и экспериментальная работа позволяют ...«отыскивать узкие места в изучаемой области и вносить соответствующие коррективы». Мы ставим перед собой задачу не останавливаться на достигнутом и идти дальше, повышая качество и расширяя сферу при-

менения тканесохраняющей ВЧ-электросварочной технологии». Академик Б. Е. Патон отметил также, что за десятилетний период развития этой передовой технологии остается много проблем с производством и восстановлением соответствующего электрохирургического инструментария, что значительно ограничивает ее распространение.

На семинаре был заслушан ряд выступлений. В докладе д-ра техн. наук Г. С. Маринского (ИЭС им. Е. О. Патона) было отмечено, что к настоящему времени ИЭС им. Е. О. Патона совместно с Международной ассоциацией «Сварка» в рамках инновационного проекта разработан источник питания нового поколения для ВЧ-электросварки мягких живых тканей. Новая модификация создана с учетом опыта эксплуатации ранее применяемого оборудования и в основном учтены рекомендации и предложения хирургов различных специальностей. Этот источник, получивший предварительное название ЕКЗ-300-5, находится в стадии лабораторных испытаний и готовится к серийному выпуску. Одновременно в ИЭС им. Е. О. Патона ведутся работы по созданию массового производства новых инструментов для ВЧ-электросварки мягких живых тканей. Доклад канд. техн. наук О. Н. Ивановой и Д. Д. Кункина (Международная ассоциация «Сварка») был посвящен совершенствованию контрольно-измерительной системы для регистрации электрических параметров при сварке живых тканей. На базе этой системы был создан диагностический комплекс оценки качества получаемого сварного





соединения непосредственно в ходе хирургической операции в режиме реального времени. В докладе чл.-кора АМНУ М. П. Захараша (Национальный медицинский университет им. О. О. Богомольца, г. Киев), посвященного биоэтическим аспектам электросварки живых органов и тканей в хирургии, в частности, отмечено, что важным биоэтическим аспектом и приоритетом ВЧ-электросварочной технологии органов и тканей является возможность ее использования для оказания неотложной хирургической помощи в максимально короткие сроки большому количеству пострадавших в зоне боевых конфликтов, в террористических актах, природных катастрофах, авариях на угольных шахтах, транспортных и других происшествиях. Доклады проф. А. В. Макарова и канд. техн. наук А. В. Линчевского (Киевская городская клиническая больница № 17) были посвящены особенностям применения технологии для сваривания паренхиматозных органов при их разрывах. При этом отмечалось, что главным недостатком оборудования является полное или частичное отсутствие инструмента для лапароскопических операций, что не позволяет осуществлять малоинвазивные хирургические вмешательства. Кроме того, в своем докладе проф. А. В. Макаров обосновывает необходимость обеспечения благоприятных условий энерговоздействия на ткань, которые были документально зафиксированы с помощью разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона диагностического комплекса оценки качества получаемого сварного соединения. Воспроизведение этих условий энерговоздействия в дальнейшем позволяет значительно уменьшить вероятность перекоагуляции ткани. В докладе В. Р. Зарембы (зав. хирургическим отделением областной детской больницы, г. Житомир) указывается, что несмотря на очевидные преимущества сварки, возможности этой технологии не могут быть использованы в полной мере. В частности, из-за неудовлетворительного уровня культуры производства инс-

трумента и, как следствие, его малого срока эксплуатации (в среднем 156,2 операции, а в случае с лапароскопическим инструментом — не более 20 операций). Кроме того, отсутствие фиксации давления рабочих частей инструмента усугубляет влияние человеческого фактора и приводит к нестабильному результату соединения ткани, особенно при использовании ручного режима. Доклад представителя компании-дистрибьютора оборудования для сварки живых тканей ЕК-300М1 В. К. Цапа затронул проблемы распространения технологии на рынке Украины. Он отметил, в частности, что емкость рынка составляет свыше 8000 стационаров, а количество задействованных аппаратов на нем не превышает 100 шт. Причинами такого низкого распространения отечественного оборудования являются: недостаточное бюджетное финансирование объектов МОЗ Украины и неконструктивный подход к освоению выделяемых средств; отсутствие специальных государственных программ внедрения этой технологии; недостаточная информативная база и консерватизм хирургов.

В заключение академик Б. Е. Патон отметил, что «...с тех пор, как 10 лет назад эта технология впервые была применена в клинических условиях на человеке, было разработано около 130 хирургических методик, которые нашли применение в более чем в 50 клиниках Украины. В настоящее время выполнено более 65 тысяч операций и все успешно! Однако необходимо продолжать научные исследования с целью дальнейшего совершенствования и создания новых образцов оборудования и инструментов для реализации этой новейшей технологии, разработки новых методик, а также поиска методов прецизионного энергетического воздействия на живые структуры.

На наш взгляд, каждый хирург должен владеть новой тканесохраняющей технологией. Для этого необходимо создать национальную программу по улучшению оказания неотложной хирургической помощи с использованием новой электрохирургической технологии.

Термин «электросварка» завоевывает популярность в мире производителей медицинской техники как на западе, так и у нас в Украине. Нам приятно такое признание. Однако зачастую использование этого термина не всегда гарантирует высокое качество сварного соединения. Мы, основоположники этого процесса, знаем, что требуется, чтобы гарантировать это качество и насколько это ответственно, когда речь идет о человеческой жизни».

О. Н. Иванова, канд. техн. наук
Д. Д. Кункин, инж.



III ПАТОНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ-2010



27 ноября 2010 г. в Волгодонске в Информационном центре Волгодонской АЭС состоялись III Патоновские чтения-2010 — встреча молодого поколения, учащихся студентов, будущих сварщиков, металлургов-технологов с учеными и специалистами, рабочими и педагогами, изобретателями и общественными деятелями. Это событие проходило под

знаком патоновского феномена, проявившегося почти на вековом пути развития металлургии и сварки, который охватывает множество междисциплинарных направлений науки и производства. За последние 80 лет тысячи ученых и специалистов сделали патоновские сварочные и металлургические технологии главными инновационными факторами прогресса для многих предприятий металлургии, энергомашиностроения, атомного машиностроения, самолетостроения, аэрокосмической отрасли, судостроения, нефтяной и газовой отраслей, сельхозмашиностроения, транспортного машиностроения, что позволило выйти на новый уровень материаловедения, конструирования, получения материалов и нового качества сварочных и металлургических процессов.

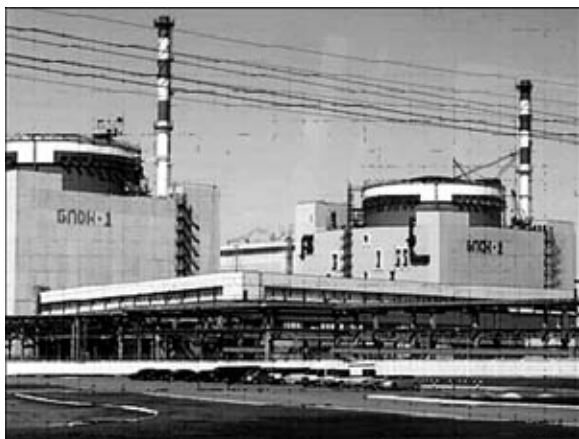
На участие в Патоновских чтениях откликнулись многие ученые и специалисты как высшей школы, в том числе Омского государственного технического университета, Липецкого государственного технического университета, среднего профессионального образования, в том числе Волгодонский политехникум — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»: НИИ и КБ, включая ВНИИАЭП, КБ спецметаллургии ФГУП «Торий», Металлургический центр им. П. А. Юдина, ЗАО «НТЦ» и НПФ «СКИБР» (Москва–Дубна); предприятия атомноэнергомашиностроительного комплекса, включая «АТОММАШЭКСПОРТ» с образовательным Центром подготовки и аттестации сварщиков, Школа В. Тудвасева (ОП «ЦПиАС»), ОАО «Атоммашэкспорт», Белгородский завод энергетического машиностроения (БЗЭМ «Энергомаш»), завод «Энергомаш-Атоммаш» с Инженерным центром «Энергомашкорпорации», Липецкое СМУ ЗАО «Кислородмонтаж», Сварочно-монтажная фирма «MONREM», Служба главного инженера Волгодонской/Ростовской АЭС по ремонту и эксплуатационной надежности, Волгодон-

ский завод металлургического и энергетического оборудования, предприятия бизнеса и менеджмента, рабочие-сварщики с 40–50-летним стажем, специалисты сварочных центров, студенты и учащиеся, актив Ядерного общества России.

На чтениях с докладами и сообщениями выступили специалисты сварочного производства, преподаватели и студенты, руководители творческих коллективов и производств, общественный актив.

Прежде всего обсуждались сварочные стандарты, в том числе СНИПы, кадровые, научно-технические и технологические инновации в связи со стратегией атомной генерации и строительства энергоблоков АЭС в период до 2020 г., вопросы международного сотрудничества, сырьевого тренда экономики, тормозящего развитие сварочных, энергомашиностроительных, металлургических, строительных мощностей, вопросы модернизации управления и инновационной экономики. Были заслушаны доклады на следующие темы: «Патоновский мировой исторический опыт создания сварочно-металлургических производств и междисциплинарного сотрудничества ученых и специалистов», «Подготовка сварочных кадров для атомной индустрии в рамках ядерной стратегии России до 2020–2030 гг.», «Организация работ по сварочным технологиям восстановительного ремонта и реинжиниринга по эксплуатационной надежности оборудования АЭС», «Почему я выбрал профессию сварщика», «Оборудование для электрошлаковой сварки корпусных деталей и изделий оборудования атомноэнергетического назначения», «Применение российских ремонтных триботехнологий для модернизации авиационных двигателей вертолетов и самолетов транспортной авиации России и инструментальных производств Украины, Белоруссии и Казахстана», «Координация инженерно-технических работ и подготовки сварочного производства при выполнении ответственных заказов ином фирм и изготовления элементов трубопроводов для ТЭС, АЭС и нефтегазового комплекса», «Инновационное оборудование для уменьшения теплоотдачи в процессе дуговой сварки», «Проектное сопровождение сварочно-монтажных работ на строящихся энергоблоках Ростовской АЭС», «Научно-технологический комплекс про-





изводства современных материалов и технологий специальной металлургии» и многие другие.

В ходе докладов развернулась интересная дискуссия и обмен опытом в таких вопросах, как практическая сварка без «коммерческих секретов», сложности дефектоскопии, освидетельствования и сертификации новейших технологий в области спецметаллургии и быстрого обучения тонкостям сварочного дела, проблемы с переучиванием дипломантов.

В докладах отмечалось, что развитие сварочной науки характеризуется широким использованием достижений смежных отраслей знания: физики твердого тела и химии, электротехники и электроники, металловедения и металлургии, механики, математики. В рыночных условиях представляется необходимым многие сварочные и термические установки проектировать и конструировать мобильными для использования в полевых условиях, в транспортабельном варианте при оснащении оборудованием передвижных лабораторий, способных всемерным способом обслуживать потребителей, не имеющих возможности перевооружаться ради производства единичных изделий, но способных изыскивать средства для выполнения разовых работ (услуг) с использованием высокопроизводительных агрегатов на колесах или на быстроходных судах.

Опираясь на достижения естественных и технических наук, ученые-сварщики успешно решают задачи, связанные с совершенствованием технологии сварки металлических и неметаллических материалов, с созданием сварных соединений, узлов и конструкций, надежно работающих в самых сложных и разнообразных условиях современного производства.

Техническое состояние сварочного производства России определяет развитая сварочная подотрасль. В ней еще немало ведущих центров сварочной на-

уки и промышленности: Институт сварки России (ВНИИЭСО), Металлургический центр им. П. А. Юдина, ВНИИ ЭТО, ЦНИИТМАШ, Санкт-Петербургский электротехнический университет, «Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона», ВНИИ ТВЧ им. В. П. Вологодина, ЦНИИ КМ «Прометей», Плазма-Центр, Лазерная ассоциация СНГ, Технологический центр «Тена», Псковский завод сварочного оборудования, ФГУП «Торий», Новозыбковский «Индуктор», Новочеркасский завод сварочных электродов, Национальный аттестационный комитет по сварке и многие другие, большой потенциал у металлургической отрасли, сохранившейся мощности спецметаллургии и новые производства лазерно-плазменных технологий металлообработки.

Все участники чтений убеждены в необходимости возрождения наставничества при подготовке классных сварщиков, так как теоретического багажа выпускникам часто недостаточно для выполнения ответственных работ. Для проведения кадровой образовательной, технологической модернизации необходимо преодолеть сырьевое «заложенность», финансовые просчеты.

Несмотря на кризисные тиски экономики в России происходит модернизация управления во всех сферах, включая науку, образование, промышленность, экономику. Нынешние Патоновские чтения прошли в канун выхода на проектную мощность II энергоблока Волгодонской АЭС. Многие сварщики востребованы сегодня и будут востребованы в последующие годы для создания оборудования и сооружения III–IV энергоблоков ВАЭС.

Н. И. Бакумцев,
организатор чтений и научный координатор программы

В. И. ГАЛИНИЧУ — 75



В январе 2011 г. исполнилось 75 лет со дня рождения известного ученого в области создания сварочных флюсов, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, заведующего отделом сварочных материалов Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, директора государ-

ственного внешнеторгового производственного предприятия «Фирма ИНПАТ» ИЭС Владимира Илларионовича Галинича.

Вся творческая и практическая деятельность В. И. Галинича, начиная с 1958 г., непрерывно связана с Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Здесь он прошел славный путь от инженера до известного ученого в области металлургии и технологии сварки под флюсом. Выполненные им исследования по разработке и усовершенствованию сварочных плавящихся флюсов внесли весомый вклад в создание теоретических основ сварки плавлением. Разработанные с его непосредственным участием плавящиеся флюсы нашли самое широкое применение в СССР, в том числе и в Украине.

В. И. Галинич формировался в научной среде, созданной д-ром техн. наук В. И. Подгаецким, он же является достойным продолжателем традиций, заложенных своим учителем.

Под руководством В. И. Галинича создана технология, позволяющая с высокой эффективностью рафинировать флюсы от вредных для сварки примесей (серы и фосфора), значительно уменьшать энергетические затраты на изготовление флюсов, снизить требования к качеству сырья и улучшать экологические показатели при производстве флюсов. Это позволило значительно повысить конкурентоспособность флюсов, изготавливаемых в Украине. Следует отметить, что Украина является основным поставщиком плавящихся сварочных флюсов в страны СНГ.

В настоящее время в связи с мировой тенденцией применения агломерированных флюсов при участии В. И. Галинича проведены большие работы по отработке отечественных составов таких флюсов. Производство названных флюсов налаживается на Запорожском заводе сварочных флюсов и стеклоизделий с годовым выпуском 5 тыс. т флюса.

Характерным для В. И. Галинича является широта его интересов. В отделе, руководимом В. И.

Галиничем, созданы, например, технология и оборудование для сварки рельсов закладным электродом, использованные при строительстве линии скоростного трамвая в Киеве. Отдел работает также над созданием нового типа графитированных фтильных электродов для дуговых сталеплавильных печей, применение которых позволит существенно повысить экономические показатели выплавки стали данным способом. Такие исследования и конкретные разработки осуществляются впервые в мире.

В отделе сосредоточены и объединены в единый комплекс и технологии сварки металла с графитом, и сварки закладным электродом, применение которых на предприятиях, производящих первичный алюминий, позволит существенно снизить расход электроэнергии (около 20%). Часть из указанного комплекса технологий уже использована при строительстве 5-й очереди Иркутского алюминиевого завода.

В отделе ведется также разработка и исследование новых экономнолегированных сталей мартенситного класса, содержащих хром и вольфрам, закаливающихся при медленном охлаждении, для корпусов бурового инструмента.

Помимо работы в отделе сварочных материалов, В. И. Галинич успешно выполняет и обязанности директора государственного внешнеторгового производственного предприятия «Фирма ИНПАТ» ИЭС (практически со дня ее основания). И здесь он признан авторитетным специалистом среди партнеров во многих странах.

В. И. Галинич принимал активное участие в общественной жизни института, много лет входил в состав редколлегии журнала «Автоматическая сварка» и выполнял обязанности заместителя главного редактора.

В. И. Галинич является автором 220 опубликованных работ, 5 монографий, имеет многочисленные авторские свидетельства на изобретения и патенты.

Владимир Илларионович полон энергии, сил, новых научных планов, поисков и устремлений.

Сотрудники Института электросварки им. Е. О. Патона сердечно поздравляют Владимира Илларионовича со славным юбилеем и от всей души желают ему крепкого здоровья, бодрости, творческой энергии и новых достижений в развитии отечественной сварочной науки и производства.

КАЛЕНДАРЬ ВЫСТАВОК И КОНФЕРЕНЦИЙ в 2011 г. (СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ)

Дата	Место проведения мероприятия	Мероприятие	Организатор (контакты)
17–20.01	Шарья, ОАЭ	Выставка и семинар «Производство стали «STEELFAB 2011»	Expo Centre Sharjah steel@expo-centre.ae
17–21.01	Вильпент, Франция	Международный семинар МИС	Генеральный секретариат МИС тел.: +33149903608 c.mayer@iiwelding.org
22–24.02	Мюнхен, ФРГ	39-я тематическая конференция по сварке в аппарато- и судостроении	SLV Muenchen, Niederlassung der GSI mbH Тел.: 49 89 126 802 23 (Frau Kloiber) факс: 49 89 123 939 11
15–17.03	С.-Петербург, Россия	Петербургская техническая ярмарка	Тел./факс: (812) 3209676, 3208092 autopr@restec.ru
16–18.03	Ташкент, Узбекистан	Международная специализированная выставка металлоизделий, оборудования и инструментов для металлообработки, машиностроительного и сварочного оборудования	IEG Uzbekistan
22–24.03	Москва, Россия	10-я Юбилейная международная выставка и конференция приборов и оборудования для неразрушающего контроля и технической диагностики в промышленности «NDT RUSSIA-2011»	ООО «ПромЭкспо»
22–24.03	Кельце, Польша	6-я Международная выставка «Технология и оборудование для сварки»	Тел.: 413651220 факс 413651312 pawelec.p@targikielce.pl
22–25.03	Новосибирск, Россия	13-я Международная промышленная выставка металлоизделий, техники, оборудования, инструментов, технологий для обработки металла. Сварка, сварочное оборудование, материалы	ПГЕ «Сибирская ярмарка»
22–25.03	Минск, Беларусь	11-я Международная специализированная выставка «Сварка и резка» с международным специализированным салоном «Защита от коррозии. Покрyтия»	МинскЭкспо тел./факс: +375172269858 e_fedorova@solo.by
06–07.04	Бремен, Германия	Международный семинар по термическому деформированию и сварочным напряжениям	Тел.: +49421220202 факс +494212202609 info@hotel-munte.de www.hotel-nunte.ob
12–14.04	Киев, Украина	Промышленные выставки «ПатонЭкспо-2011» с разделом «Сварка. Родственные технологии»	ВЦ «КиевЭкспоПлаза» www.weldexpo.com.ua тел./факс: +380445969308 olga@welding.kiev.ua
12–14.04	Екатеринбург, Россия	8-я Международная специализированная выставка «UralMetalExpo» и 2-я Международная специализированная выставка «UralWeldExpo»	ВЦ «КОСК «Россия» тел.: (495) 9214407 info@rtl-expo.ru
Апрель	Львов, Украина	Международная конференция «Титан-2011» в СНГ	Ассоциация «Титан»
05–08.05	Дели, Индия	Индийская выставка «Оборудование и инструменты»	K and D Communication Limited info@imtos.com, info@engimach.com
10–13.05	Гельсингборг, Дания	16-я международная конференция по соединению материалов «JOM»	JOM Тел.: 45 48 35 54 58 jom_aws@post10.tele.dk
22–27.05	Киото, Япония	12-я Международная конференция по ползучести и разрушению строительных материалов и конструкций	Creep2011@material.tohoku.ac.jp
23–26.05	С.-Петербург, Россия	II Санкт-Петербургская научно-техническая конференция «Технологии и оборудование ЭЛС-2011»	СПБ ОНТЗ тел./факс: (812) 5705558, 3941461 www.ontz.kop.ru
23–26.05	Москва, Россия	4-я Международная специализированная выставка «Сварка. Резка. Наплавка»	ООО «Мессе Дюссельдорф Москва» тел.: (499) 2591723 kiseleva@messedi.ru
24–27.05	пос. Качивели, Крым, Украина	5-я Международная конференция «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов»	Тел.: (38044) 2008277 факс (38044) 5292623, 2874677

Дата	Место проведения мероприятия	Мероприятие	Организатор (контакты)
I половина июня	пос. Агай, Краснодарский край, Россия	2-й Научно-практический семинар по сварочным материалам «Дуговая сварка. Материалы. Качество» (к 20-летию Ассоциации «Электрод»)	Ассоциация «Электрод» тел./факс: 38(044) 2877235
09–25.06	Пекин, Китай	12-я Международная конференция по титану	www.ti-2011.com
19–24.06	Майями, США	Международный конгресс по морским и полярным технологиям «ISOPE-2011»	Тел.: +16502541871 факс +16502542038
21–24.06	Нижний Новгород, Россия	10-я Международная специализированная выставка «Машиностроение. Станки. Инструмент» и 15-я Международная специализированная выставка «Сварка-2011»	Всероссийское ЗАО «Нижегородская ярмарка» Тел.: (831) 2775496 факс (831) 2775586 kaa@yarmarka.ru
17–22.07	Чэннаи, Индия	64-я Ассамблея Международного института сварки и международная конференция	c.mayer@iiwelding.org iiw2011india@gmail.com
29.06–03.07	С.-Петербург, Россия	Международный военно-морской салон с разделом «Новые материалы и технологии»	ЗАО «Морской салон» тел.: (812) 764-66-33 info@navalshow.ru
31.08–02.09	Будапешт, Венгрия	6-я Европейская конференция по стальным и композиционным покрытиям	Asszisztencia Congress Bureau Тел.: +361 350 1854 факс: +361 350 0929 eurosteel@asszisztencia.hu
21–23.09	Комо, Италия	7-я Европейская конференция по нержавеющей стали	www.aimner.it aim@aimnet.it
25–28.09	Корнс, Австралия	6-й Региональный азиатско-тихоокеанский международный конгресс МИС	Тел.: +61(0) 297484443 c.mayer@iiwelding.org info@wtia.com.au
26–29.09	Гамбург, Германия	Конгресс по технологиям соединений, резки и нанесения покрытий	Тел.: +49(0) 2111591303 факс +49(0) 2111591300 engel@corroconsult.de
04–06.10	Новокузнецк, Россия	7-й Сибирский промышленный форум с разделами «Машиностроение. Металлургия. Сварка»	Кузбасская ярмарка
05–07.10	Бремен, Германия	Европейская конференция по алюминиевым сплавам «ЕСАА2011»	DGM тел.: +49(0) 6975306747 факс +49(0) 6975306733
12–14.10	Анталья, Турция	Международный конгресс МИС «AWST 2011» по достижениям в области сварки и технологий	c.mayer@iiwelding.org
18–21.10	Москва, Россия	11-я Международная выставка Weldex/Россварка	ЭЦ «Сокольники» weldex.ru тел./факс: (495) 9253482 mns@mvk.ru
26–29.10	Уфа, Россия	13-я Межрегиональная специализированная выставка сварочного оборудования, технологий и материалов	БашЭкспо
23–24.11	Санлис, Франция	4-я международная конференция по расчетному прогнозу разрушений	Тел. 333 446 736 82 fatiguedesogn@cetim.tr www.fatiguedesign.org
23–25.11	Волгоград, Россия	11-я Межрегиональная специализированная выставка «Промышленная неделя-2010»	Царицынская ярмарка
29.11–01.12	Екатеринбург, Россия	11-я Международная специализированная выставка-конференция «Контроль и диагностика-2011» и «Сварка-2011»	Уральские выставки
07–09.12	Казань, Россия	6-я Специализированная выставка «TechnoСварка-2011»	ОАО «Казанская ярмарка»

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
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 09.12.2010. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,14. Усл.-отт. 9,97. Уч.-изд. л. 10,42 + 2 цв. вклейки. Цена договорная.

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

VIRTUAL WELDING: ПРОСТОТА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБУЧЕНИЯ

Во время выставки «Сварка и резка» в сентябре 2009 г. в Эссене на совместном стенде Немецкого сварочного общества и Международного общества сварки были представлены существующие электронные системы обучения сварщиков (сварочные тренажеры) различных компаний-производителей.

«Я был приятно удивлен функциональными возможностями современных сварочных тренажеров. Особо хочу выделить систему Virtual Welding от компании «Fronius», которая имеет потрясающее интуитивное управление и максимально точно воспроизводит реальные сварочные процессы», — делится впечатлениями руководитель кафедры сварки и соединений Рейн-Вестфальского технического университета (г. Ахен, Германия) профессор Уве Райсген.

Рейн-Вестфальский технический университет — высшее учебное заведение, которое входит в ассоциацию девяти лучших технических университетов Германии (TU9) и ассоциацию пяти ведущих вузов Европы (IDEA League). Около 400 студентов ежегодно обучается на кафедре сварки и соединений.

Идея применения сварочного тренажера для тренировки и обучения студентов, выдвинутая профессором Уве Райсгеном, вылилась в дальнейшее успешное сотрудничество с компанией «Fronius».

«Мы готовим инженеров по сварке, поэтому, вполне естественно, большая часть времени приходится на теоретическое обучения. Однако не стоит забывать, что качество сварного шва не в последнюю очередь зависит от квалификации сварщика. Очень важно, чтобы студенты понимали как не просто получить безупречный сварной шов», — считает Уве Райсген.

Практические занятия по ручной и полуавтоматической сварке проходят в группах студентов из четырех человек. Ручную дуговую сварку покрытым электродом (MMA) и аргонодуговую сварку неплавящимся электродом (TIG) теперь эффективно дополняет виртуальная система MIG/MAG сварки Virtual Welding.

Позитивное восприятие у студентов значительно облегчает процесс обучения. Даже те люди, которые еще не держали в руках сварочную горелку, начинают очень быстро осваивать процесс сварки. Буквально с первых минут работы на сварочном тренажере формируется устойчивое представление о влиянии положения, длины вылета и скорости перемещения горелки на конечный результат. Система Virtual Welding оценивает каждое выполненное задание и документирует заработанные баллы и прогресс обучения. Соревнуясь между собой, студенты стремятся к победе и, соответственно, к достижению более качественных результатов.

Сварочный тренажер Virtual Welding создает виртуальное сварочное рабочее место, воспроизводит соответствующий движениям горелки видеоряд и имитирует звуки сварки. В отличие от оптического слежения, которое часто используется разработчиками видеоигр, в



Профессор Уве Райсген увлеченно делится опытом применения виртуальной сварки в учебном процессе

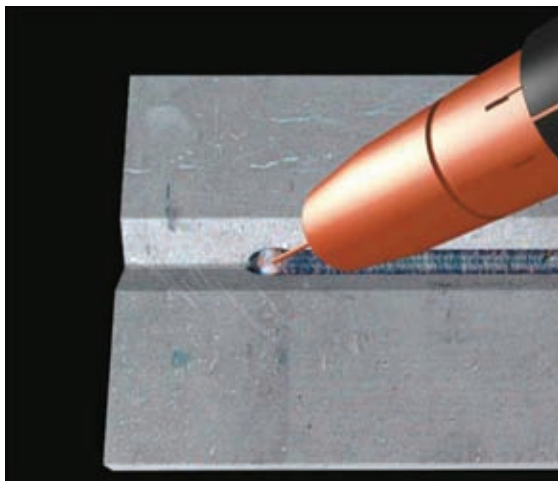


Система Virtual Welding оценивает каждое выполненное задание и документирует заработанные баллы и прогресс обучения

* Статья на правах рекламы.



Система виртуальной сварки переносит в виртуальную реальность даже незначительные движения руки со сварочной горелкой, которые затем воспроизводятся на экране тренажера и через специальные очки маски сварщика



Сварочный тренажер создает виртуальное сварочное рабочее место, воспроизводит соответствующий движению горелки видеоряд и имитирует звуки сварки

системе виртуальной сварки применяется магнитная система слежения. Она переносит в виртуальную реальность даже незначительные движения руки со сварочной горелкой, которые затем воспроизводятся на экране тренажера и через специальные очки маски сварщика. Конструкция сварочной маски дает возможность максимально реалистично увидеть вблизи, на расстоянии и под разными углами весь процесс сварки. Виртуальные процессы плавления, переноса расплавленного металла и формирования сварного шва, а также характерный шум способствуют выработке у студентов профессиональных практических навыков сварки.

Использование системы виртуальной сварки особенно эффективно при ограниченном количестве сварочных мест для обучения и обучающего персонала. Реальное сварочное место, включая вспомогательное оборудование и расходные материалы, по сравнению с Virtual Welding, требует гораздо большей суммы капиталовложений. Нельзя забывать также про временной параметр. Ведь при использовании сварочного тренажера нет необходимости тратить значительную часть учебного времени на подготовку к работе и заключительную уборку. Учебное время практически полностью используется целевым образом.

Программное обеспечение системы Virtual Welding содержит полный курс основных теоретических сведений и практических заданий для соединений различных типов, пространственных положений и количества проходов. Программа практического обучения на тренажере рассчитана на выполнение заданий разной степени сложности. Начиная от начального уровня, где пользователь контролирует лишь скорость движения горелки, и заканчивая уровнем, где, кроме скорости, контролируется также угол наклона горелки и вылет.

Кроме обучения студентов, преподаватели и технические специалисты кафедры сварки и соединений

Рейн-Вестфальского университета рассматривают возможность использования системы Virtual Welding также для ряда других задач. Например, для тренинга квалифицированных сварщиков, а также для отработки сложных комплексных задач по сварке в различных условиях. «Моделирование доступности, положения, траектории движения и скорости сварки, которое принято при разработке автоматизированных и роботизированных систем, можно перенести на процессы полуавтоматической сварки с помощью технологии Virtual Welding от компании Fronius», — так считает профессор Райсген, заглядывая в ближайшее будущее.

Виртуальная сварка проста в эксплуатации, обладает понятной структурой программного обеспечения и удобной навигацией по меню. Virtual Welding — это современная система обучения практической сварке.



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



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

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

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

Порошковые проволоки — ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН69, ПП-АН70М, ПП-АН82У, ПП-НnX25П4Н3Т, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

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

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

Возможно изготовление других марок материалов

04112, Украина	Тел.:	(044)	456-64-95
г. Киев-112			456-63-69
ул. О. Телиги, 2	Факс:	(044)	456-64-95
			456-63-08

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

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



ABICOR
BINZEL

fronius

SEUMA



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

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:

Флюсы сварочные

Проволоки порошковые для внепечной

обработки металлургических расплавов

Проволоки порошковые для сварки, наплавки,

напыления и металлзации

Электроды наплавочные, специального назначения,

для сварки чугуна и резки

Ферросплавы и легатуры

Хром металлических

Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Курسانова, 1
г. Днепропетровск
49051, Украина

Тел.: (380562) 35-50-25
Тел./факс: (380562) 35-19-41
E-mail: spetssplyav@mail.ru

**НАВКО-
ТЕХ**

Automatic machines and robots for arc welding

**Автоматические установки и роботы
для дуговой сварки и наплавки**



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА



Украина, Киев
Тел.: +38 044 456-40-20
Факс: +38 044 456-83-53

<http://www.navko-teh.kiev.ua>

E-mail: info@navko-teh.kiev.ua



ОАО «Электромашиностроительный завод
«Фирма СЭЛМА»

Производство электросварочного оборудования

Номенклатура выпускаемого оборудования составляет более 100 наименований сварочной техники для всех видов электродуговой сварки.

- трансформаторы и выпрямители для ручной дуговой сварки
- полуавтоматы для сварки в среде защитных газов
- установки для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом
- установки воздушно-плазменной резки металла
- сварочные автоматы. Сварочные головки
- машины для контактной точечной сварки
- оборудование для механизации процесса сварки и резки
- оборудование для управления контактными сварочными машинами
- машины для автоматической плазменной резки портального типа
- машины для автоматической резки и разделки кромок под сварку труб
- дизельные сварочные агрегаты типа АДД
- машины для механической подготовки кромок под сварку

Вся продукция фирмы сертифицирована Госстандартами Украины и России. На предприятии внедрена и сертифицирована система обеспечения качества выпускаемой продукции ISO 9001-2001, TUV (Германия).

«Фирма СЭЛМА» проводит гарантийное и сервисное обслуживание оборудования, пусконаладочные работы, обучение и консультации по эксплуатации сварочного оборудования.



95000, г. Симферополь, Украина,
ул. Генерала Васильева, 32А
Отдел маркетинга и сбыта: +38 (0652) 66-85-37, 58-30-55
Факс: +38 (0652) 58-30-53
E-mail: sales@selma.crimea.ua http://www.selma.ua



ОАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»

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

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

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

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

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

Силикат натрия растворимый (модуль от 2,0 до 3,5). Широко применяется для изготовления жидкого стекла и сварочных электродов.

МЫ ВСЕГДА ГАРАНТИРУЕМ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОСТАВОК И САМЫЕ НИЗКИЕ ЦЕНЫ В СНГ
Наша цель — более полное удовлетворение Ваших потребностей в качественных и современных сварочных материалах.





STEIN-MEGAFIL®

МЫ НЕ ИЗОБРЕЛИ КОЛЕСО, НО МЫ ИЗОБРЕЛИ ПРОВОЛОКУ.

STEIN-MEGAFIL® - для решения Ваших задач в области сварки. Эта полностью бесшовная порошковая проволока с уникальными сварочными свойствами создана для удовлетворения Ваших требований к сварке. Она отличается высокой конструктивной размерной стабильностью, не скручивается, не деформируется, благодаря чему идеально подходит для прецизионной сварки. Проволока влагостойка и, следовательно, не требует повторной сушки. Кроме того, она обладает прекрасной электропроводностью и обеспечивает стабильность горения дуги и формирования жидкой ванны.



DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Drahtzug Stein
67317 Altleiningen (Germany)

 **Официальный представитель в Украине**
АРКСЭЛ
83017, г. Донецк, пер. Вятский, 2а

Tel: +49(0)6356 966-0
Fax: +49(0)6356 966-114

тел.: (062) 332-2650(52)
тел./факс: 382-9449, 332-2651

info@drahtzug.com
www.drahtzug.com

info@arczel.dn.ua
www.arczel.dn.ua

ОАО "ЗОНТ"

ПРОИЗВОДСТВО:

МАШИН ФИГУРНОЙ ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ "АСШ-70М";
 МАШИН ДЛЯ МИКРОПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ "МЕТЕОР";
 МАШИН ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ "КОМЕТА М";
 МАШИН ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ "МАРИНА";
 МАШИН ПЛАЗМЕННОЙ И ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ С
 ЧПУ ДЛЯ ФИГУРНОЙ РЕЗКИ ТРУБ;
 ПЕРЕНОСНЫХ ГАЗОРЕЖУЩИХ МАШИН "РАДУГА";
 НАСОСОВ, ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ
 КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ.

ПОСТАВКА
 ИСТОЧНИКОВ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ.
 КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И
 МОДЕРНИЗАЦИЯ
 МАШИН ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА.





ОАО "ЗОНТ" (ТОРГОВАЯ МАРКА «АВТОГЕНМАШ»)
 65104, УКРАИНА, Г. ОДЕССА, ПР-Т. МАРШАЛА ЖУКОВА 103.
 Т. + 38 (048) 717-00-50, E-MAIL: OAOZONT@ZONT.COM.UA
 715-69-40, WWW.ZONT.COM.UA
 Ф. +38 (048) 715-69-50 WWW.AUTOGENMASH.COM

Днепрометиз
 Группа предприятий «Северсталь-метиз»

ОАО "Днепрометиз" - крупнейшее предприятие
 Украины в своей отрасли, входит в международную
 группу производителей "Северсталь-метиз"

e-mail: sale@dm.severstalmetiz.com

т/ф: (0562) 34-82-24, 35-83-69, 35-15-97
 Украина, 49081, г. Днепрпетровск, пр. им. газеты "Правда", 20

ПРОВОЛОКА:
 сварочная Св-08 (А), Св-08Г2С
 Вр-1 для армирования ЖБК
 общего назначения без покрытия
 термообработанная черная
 оцинкованная
 колючая

СЕТКИ:
 плетеные
 сварные
 рифленые

ЭЛЕКТРОДЫ:
 МР-3
 АНО-4
 АНО-6
 АНО-21
 УОНИ

ГВОЗДИ
 БОЛТЫ
 ГАЙКИ
 ШАЙБЫ



www.dneprometiz.com.ua

Каховский завод
 электросварочного оборудования

74800, Украина, А. Каховка, Телефон: +38 (05057) 2-09-82, 2-10-72
 market@kzeso.com www.kzeso.com



СИЛА ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЕЙ...

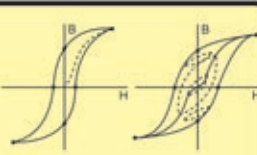


КЗЭСО

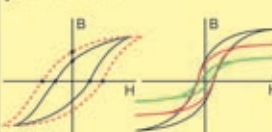
Специальные Научные Разработки **СНР**
 Научно-производственная фирма

Магнитные материаловедческие измерения

✓ С измерением характеристик петли магнитного гистерезиса на стационарных высокоточных (баллистических) установках.



✓ Оценка деградации (микрповрежденности) металлов по наиболее чувствительному магнитному параметру.



✓ Разработка и поставка магнитоизмерительных установок, комплексов, приборов:

- универсальных и специализированных;
- стационарных, настольных, портативных, автономных;
- для научных, учебных, производственных, диагностических задач;
- для входного, сдаточного, технологического контроля;
- измерения по любым национальным и зарубежным стандартам;
- быстро и точно, за минуты – объем измерений, как ранее – за часы;
- модернизируем старые установки, купим их фрагменты.

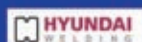
► Мировая новизна принципов и продуктивности измерений.
 ► Лучшее сочетание цена / качество.

Украина, 61121, г. Харьков, ул. Сетлея, 10/16; тел./факс: +38 (057) 771-65-91, 738-32-06
 (www.snr-ndt.com) e-mail: mail@snr-ndt.com
 в Москве - ООО "Магнитометрическая диагностика", +7 (499) 592-93-91, mail@mdtag.ru

Разработка, производство, внедрение

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Проволоки
порошковые для
сварки и наплавки,
проволоки сплошные,
электроды, флюс,
наплавочные установки**



ООО «НПФ «Элна» является разработчиком и производителем порошковых проволок для сварки и наплавки, а также представителем компаний WELDING ALLOYS GROUP (Англия) и HYUNDAI WELDING Co. Ltd (Южная Корея) в Украине

ООО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «Элна»
ул. Антоновича, 69, г. Киев, 03150, Украина
тел. (044) 200-80-25, 200-85-17, факс (044) 200-85-17
e-mail: mfo@elna.com.ua www.elna.com.ua



ЗАВОД АВТОГЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДОНМЕТ®
Украина, г. Краматорск, тел./факс: (06264) 5-77-13
svarka@donmet.com.ua www.donmet.com.ua

**Все для газовой резки и сварки.
Электросварка.**

**100% гарантия от
производителя**

GYS T3
ДОНМЕТ®

ФИРМЕННАЯ ТОРГОВАЯ СЕТЬ
КИЕВ • ДОНЕЦК
Тел./факс (044) 404-38-72 Тел./факс (062) 381-88-93

ЗАПОРОЖЬЕ
Тел./факс (061) 224-11-56

ПУГАНСК • ОДЕССА
Тел./факс (0642) 71-51-65 Тел./факс (048) 785-19-65



Plasma Master Научно-производственная фирма
ПЛАЗМА-МАСТЕР ЛТД.
Лидер в Украине в области плазменно-порошковой наплавки

- Оборудование для плазменно-порошковой наплавки
- Плазмотроны для наплавки различных модификаций
- Технологические разработки в области плазменной наплавки
- Услуги по наплавке деталей машин

Ручная плазменно-порошковая наплавка - прекрасный инструмент в ремонте!

Украина, 03680, Киев
ул. Кржижановского, 3
тел./факс: +38 044 537-31-44
office@plasma-master.com.ua
www.plasma-master.com.ua