

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ****Главный редактор
Б. Е. Патон**

Ю. С. Борисов, Г. М. Григоренко,
А. Т. Зельниченко, В. В. Кныш,
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,
О. К. Назаренко, В. Д. Позняков,
И. К. Походня, И. А. Рябцев,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко
(в редакционную коллегию
входят ученые ИЭС им. Е. О. Патона)

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

Н. П. Алешин
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, РФ
Гуань Цяо
Ин-т авиационных технологий, Пекин, Китай
А. С. Зубченко
ОКБ «Гидропресс», Подольск, РФ
М. Зиниград
Ун-т Иудеи и Самарии, Ариэль, Израиль
В. И. Лысак
Волгоградский гос. техн. ун-т, РФ
У. Райсген
Ин-т сварки и соединений, Аахен, Германия
Б. Е. Патон
ИЭС им. Е. О. Патона, Киев, Украина
Я. Пилярчик
Ин-т сварки, Гливице, Польша
О. И. Стеклов
РНТСО, Москва, РФ
Г. А. Турчин
С.-Петербургский гос. политехн. ун-т, РФ
В. Г. Фартушный
Общество сварщиков Украины, Киев

Учредители

Национальная академия наук Украины,
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ,
МА «Сварка» (издатель)

Издается ежемесячно

Адрес редакции

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ
03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277
Факс: (38044) 200 5484, 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Редактор
Т. В. Юштина
Электронная верстка
И. Р. Наумова, А. И. Сулима, Д. И. Середа

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001
ISSN 0005-111X

Журнал входит в перечень утвержденных
Министерством образования и науки
Украины изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней.

За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности
не несет.

Цена договорная.

СОДЕРЖАНИЕ

Институту электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины — 80 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Лысак В. В., Кныш В. В., Павловский В. И., Прилуцкий В. П., Тимошенко А. Н., Гончаров П. В., Гуань Цяо. Бездеформационная сварка стрингерных панелей из титанового сплава VT20 7
Крикент И. В., Кривцун И. В., Демченко В. Ф. Моделирование электрической дуги с тугоплавким катодом и испаряющимся анодом 19
Ланкин Ю. Н., Рябцев И. А., Соловьев В. Г., Черняк Я. П., Жданов В. А. Влияние электрических параметров дуговой наплавки порошковой проволокой на стабильность процесса и проплавление основного металла 27

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Ющенко К. А., Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Соединение металла большой толщины многопроходной электрошлаковой сваркой 32
Коротынский А. Е., Драченко Н. П., Шапка В. А. Особенности применения суперконденсаторов в устройствах для импульсных технологий сварки 36
Лебедев В. А., Максимов С. Ю., Пичак В. Г., Зайнулин Д. И. Автомат для дуговой подводной сварки мокрым способом в стесненных условиях 41
Левченко О. Г., Кулешов В. А., Арламов А. Ю. Санитарно-гигиеническая оценка шума при ручной дуговой сварке покрытыми электродами 47

ХРОНИКА

Г. М. Григоренко — 75 51
В. Ф. Демченко — 75 52

Информация

Опытному заводу сварочного оборудования Института электросварки им. Е. О. Патона — 55 53
ОКБ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ — 55 55
«Патон Турбайн Текнолоджиз» — новое название известной компании 57
Опытный завод сварочных материалов Института электросварки им. Е. О. Патона 61
Сокращение рисков при сварке под слоем флюса офшорных сооружений 64
Высокотехнологичное сварочное оборудование для роботизированных комплексов 66
Высокотехнологичное оборудование для процессов изготовления и ремонта теплообменного оборудования от компании «ДельтаСвар» 67
Новые возможности дуговой сварки с процессом LSC 69
Промышленный аутсорсинг 71

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief
B. E. Paton

Yu. S. Borisov, G. M. Grigorenko,
A. T. Zelnichenko (exec. director),
V. V. Knysh, I. V. Krivtsun,
S. I. Kuchuk-Yatsenko (vice-chief ed.),
Yu. N. Lankin,
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
V. D. Poznyakov, I. A. Ryabtsev,
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko
(*Editorial Board Includes PWI Scientists*)

INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL

N.P. Alyoshin

N.E. Bauman MSTU, Moscow, Russia
Guan Qiao

Beijing Aeronautical Institute, China

A.S. Zubchenko

OKB«Gidropress», Podolsk, Russia

M. Zinigrad

College of Judea & Samaria, Ariel, Israel

V.I. Lysak

Volograd State Technical University, Russia

B.E. Paton

PWI, Kyiv, Ukraine

Ya. Pilarczyk

Welding Institute, Gliwice, Poland

U. Reisgen

Welding and Joining Institute, Aachen, Germany

O.I. Steklov

Welding Society, Moscow, Russia

G.A. Turichin

St. Petersburg State Polytechn. Univ., Russia

V.G. Fartushnyi

Welding Society of Ukraine, Kyiv

Founders

National Academy
of Sciences of Ukraine,
Paton Welding Institute,
IA «Welding» (Publisher)

Published monthly

Address of Editorial Board:

11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 200 63 02, 200 82 77
Fax: (38044) 200 54 84, 200 82 77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Editor

T. V. Yushtina

Electron galley

I. R. Naumova, A. I. Sulima, D. I. Sereda

State Registration Certificate

KV 4788 of 09.01.2001

ISSN 0005-111X

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

E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine is 80 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Paton B. E., Lobanov L. M., Lysak V. V., Knysh V. V., Pavlovskii V. I., Prilutskii V. P., Timoshenko A. N., Goncharov P. V., Guan Qiao.
Deformation-free welding of stringer panels from titanium alloy VT20..... 7

Krikent I. V., Krivtsun I. V., Demchenko V. F. Modeling of electric arc with refractory cathode and evaporating anode 19

Lankin Yu. N., Ryabtsev I. A., Solovjev V. G., Chernyak Ya. P., Zhdanov V. A. Influence of electric parameters of flux-cored wire arc surfacing on process stability and base metal penetration 27

INDUSTRIAL

Yushchenko K. A., Kozulin S. M., Lychko I. I., Kozulin M. G.
Joining thick metal by multipass electroslag welding 32

Korotynskii A. E., Drachenko N. P., Shapka V. A. Features of application of supercapacitors in devices for pulsed welding technologies 36

Lebedev V. A., Maximov S. Yu., Pichak V. G., Zainulin D. I.
Automatic machine for wet underwater arc welding in confined spaces..... 41

Levchenko O. G., Kuleshov V. A., Arlamov A. Yu. Sanitary-hygienic evaluation of noise in coated electrode manual arc welding 47

NEWS

G. M. Grigorenko is 75 51

V. F. Demchenko is 75 52

Information

Pilot plant of welding equipment of the E.O.Paton Electric Welding Institute is 55 53

Experimental Design Technological Bureau of the E. O. Paton Electric Welding Institute is 55 55

«Paton Turbine Technologies» is the new name of company 57

Pilot plant of welding consumables of the E. O. Paton Electric Welding Institute 61

Prevention of risks in submerged arc welding of offshore structures 64

Highly-technological welding equipment for robotic complexes 66

Highly-technological equipment for processes of manufacture and repair of heat-exchange equipment from company «DeltaSvar» 67

New possibilities of arc welding with LSC process 69

Industrial outsourcing 71

«Avtomaticheskaya Svarka» journal abstracted & indexed in Ukrainian refereed journal «Source», RJ VINITI «Welding» (Russia), «Welding Abstracts», ProQuest (UK), EBSCO Research Database, CSA Materials Research Database with METADEX (USA), Questel Orbit Inc. Weldasearch Select (France); Presented in Russian Science Citation Index & «Google Scholar»; Abstracted in «Welding Institute Bulletin» (Poland) & «Rivista Italiana della Saldatura» (Italy); Covered in the review of the Japanese journals «Journal of Light Metal Welding», «Journal of the Japan Welding Society», «Quarterly Journal of the Japan Welding Society», «Journal of Japan Institute of Metals», «Welding Technology».

ИНСТИТУТУ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ — 80



Академик Е. О. Патон

Институт электросварки создан академиком Евгением Оскаровичем Патоном в составе Всеукраинской Академии наук в 1934 г. на базе электросварочной лаборатории при Кафедре инженерных сооружений ВУАН и электросварочного комитета. Становление и вся последующая деятельность Института электросварки (ИЭС) связаны с именем этого выдающегося инженера и ученого. Он определил основные научные направления института в области технологии сварки и сварных конструкций, которые актуальны и сегодня.

Е. О. Патон сумел предвосхитить огромные перспективы развития технологии электрической сварки металлов. Убедительным подтверждением этого научного предвидения есть тот непреложный факт, что сегодня сварка является ведущим технологическим процессом неразъемного соединения металлических и неметаллических материалов. В этом отражается значительный вклад коллектива института за 80 лет его деятельности.

На первом этапе специалистами института была доказана принципиальная возможность изготовления сварных конструкций, не уступающих по своей прочности и надежности клепаным, а по ряду показателей значительно их превосходящих. Это послужило основой для массового применения сварки в дальнейшем. В 1930-е гг. в институте было научно обосновано представление о дуговой сварке как металлургическом процессе и под руководством Е. О. Патона проведены исследования по ее автоматизации. К 1940 г. была завершена разработка и начато внедрение на заводах страны высокопроизводительного процесса сварки под флюсом. Решающее значение приобрела автоматическая сварка под флюсом в годы Второй мировой войны. Непосредственно в цехах танкового завода на Урале сотрудники института разработали и внедрили технологию автоматической сварки броневой стали, позволившую создать поточное производство сварных корпусов танков Т34 и механизировать сварку другой военной техники.

Довоенный и военный этапы в деятельности института — период становления научной школы, убедительным подтверждением авторитета которой явилось присвоение институту в 1945 г. имени Евгения Оскаровича Патона. Решение главной задачи — повышение производительности и уровня механизации сварочных работ — требовало непрерывного расширения в институте исследований по изысканию новых способов и приемов механизированной сварки, естественно, без сокращения работ по увеличению рациональных об-

ластей применения дуговой сварки под флюсом. Поиск возможности сварки под флюсом швов, расположенных в различных пространственных положениях, завершился созданием под руководством Е. О. Патона способа принудительного формирования сварного шва, который положил начало механизации дуговой сварки швов на вертикальной плоскости.

12 августа 1953 г. на 84-м году оборвалась жизнь Евгения Оскаровича Патона, человека, вписавшего яркую страницу в историю отечественной науки и техники. С 1953 г. и до настоящего времени директором института является его сын, академик Борис Евгеньевич Патон.

Одним из наиболее значительных достижений института начала 1950-х гг. стало создание новой технологии сварки плавлением металла больших толщин — электрошлаковой, которая в корне изменила технологию производства тяжелых станин, котлов, гидроагрегатов и других уникальных сварно-прокатных, сварно-литых конструкций. Ее применение позволило в значительном диапазоне толщин получить сварные соединения высокого качества.

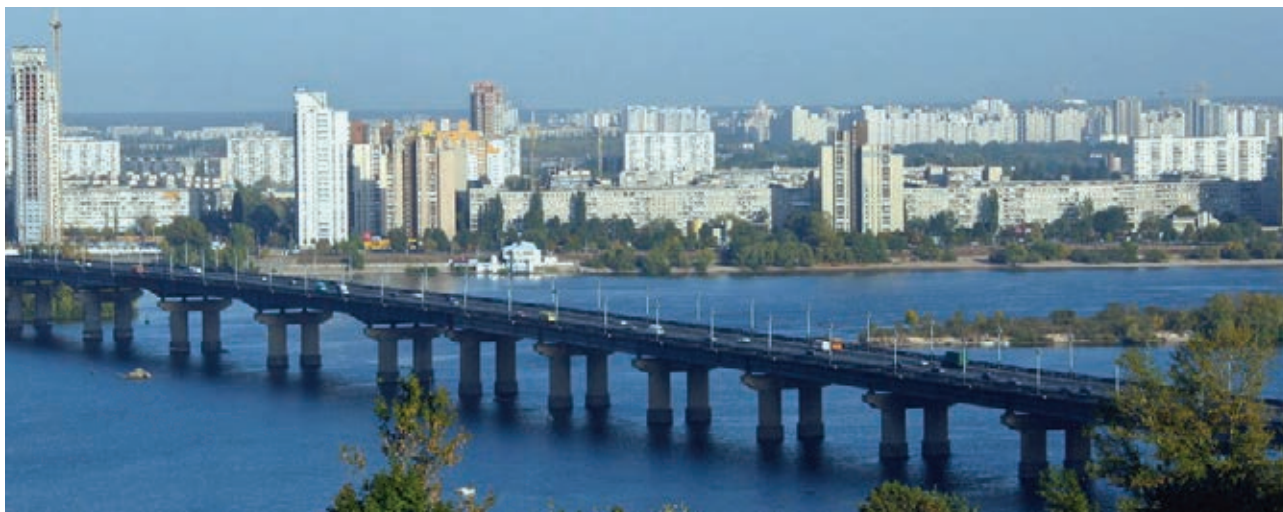
Позднее создан способ сварки в углекислом газе тонкой проволокой, получивший широкое применение в промышленности и обеспечивший значительный рост уровня механизации сварочных работ. Дальнейшим развитием газозащитной сварки плавящимся электродом стали разработка процесса и оборудования для импульсно-дуговой сварки, сварки в смесях активных и инертных газов.

В конце 1950-х гг. в институте активно начались исследования в области электронно-лучевой сварки. Усилия ученых были направлены на исследование физико-металлургических процессов при воздействии мощного (до 100 кВт) острофокусного пучка электронов на толстолистовые (150... 200 мм) конструкционные материалы. Особенно важной задачей, с которой институт успешно справился, являлась разработка технологии замыкания кольцевых швов, которая обеспечивала отсутствие корневых дефектов в виде раковин, пор и несплошностей. За последние 10 лет введено в промышленную эксплуатацию более 60 комплектов различного оборудования для ЭЛС, включая установки с объемом вакуумных камер до 100 м³.

Дальнейшим этапом развития лучевой технологии явилось ее применение для целей сварки и резки лазером. Проводятся систематические исследования в области импульсной и непрерывной лазерной сварки. В последнее время специалистами институ-



Академик Б. Е. Патон



та разработаны гибридные источники нагрева — лазер–дуга, лазер–плазма.

Получили развитие исследования по всем основным направлениям сварки давлением — стыковой контактной оплавлением и сопротивлением, точечной сварке, трением, диффузионной сварке.

Изучены физические и технологические особенности новых технологических процессов контактной сварки оплавлением, созданы системы автоматического управления и диагностики качества соединений. На базе новых технологий разработано и освоено производство нескольких поколений специализированных и универсальных машин для контактной стыковой сварки деталей широкого сортамента из низколегированных и высокопрочных сталей с площадью поперечного сечения до 200 тыс. мм², а также сплавов алюминия, титана, хрома, меди. Наиболее массовое применение нашли машины для сварки рельсов различных категорий в полевых и стационарных условиях, выпускаемые серийно на Каховском заводе электросварочного оборудования, машины для сварки труб диаметром от 150 до 1420 мм при строительстве магистральных трубопроводов, установки для сварки элементов конструкций аэрокосмической техники. Оборудование для контактной сварки рельсов экспортируется во многие страны мира.

На протяжении многих лет институт проводит исследования по сварке в космосе. В 1969 г. на борту космического корабля «Союз-6» летчик-космонавт В. Кубасов впервые в мире осуществил уникальный эксперимент по сварке электронным лучом, плазмой и плавящимся электродом на установке «Вулкан», созданной в ИЭС. Так было положено начало космической технологии, имеющей большое значение в программе освоения космического пространства. В 1984 г. был проведен чрезвычайно важный, подготовленный институтом, эксперимент на борту орбитальной станции в открытом космосе. Космонавты С. Савицкая и В. Джанибеков впервые в открытом космосе с помощью ручного электронно-лучевого инструмента выполнили сварку, пайку, резку и напыление.

Параллельно в институте решалась и такая сложная проблема, как механизация дуговой сварки под водой, которая приобрела большое значение в связи

с освоением шельфа Мирового океана. Специалисты института создали оборудование для механизированной дуговой сварки и резки специальной порошковой проволокой на глубинах до 200 м.

Интенсивное развитие современной техники сопровождается постоянным расширением сортамента конструкционных металлов и сплавов для сварных конструкций. В ходе исследований по изучению процессов, протекающих в сварочной ванне, созданы новые сварочные материалы: электроды, металлические и порошковые проволоки, флюсы, газовые смеси.

Исследования и научные разработки в области прочности сварных соединений и конструкций являются традиционными направлениями в тематике института, начало которым было положено Е. О. Патонам. Сегодня эти исследования носят многоплановый характер, что позволяет разрабатывать новые эффективные методы повышения надежности ответственных инженерных сооружений при статическом и циклическом нагружении. Проблема создания надежных сварных конструкций охватывает также вопросы выбора материалов, рациональных конструктивных решений, технологии изготовления и монтажа, снижения металлоемкости, которые институт успешно решает в содружестве со многими отраслевыми организациями и предприятиями. В последнее время ведутся интенсивные работы по повышению надежности, долговечности и ресурса сварных конструкций, а также созданию эффективных методов их диагностики.

Сегодня системы непрерывного мониторинга, созданные в институте, успешно работают на ряде нефтехимических производств с использованием связи по системе Интернет. Это позволяет строить контрольные и управляющие системы, которые дают возможность независимо от места расположения эксплуатирующейся конструкции наблюдать за ее состоянием из единого специализированного диагностического центра.

С начала 1950-х гг. по инициативе академика Б. Е. Патона в институте развернуты поисковые исследования и экспериментальные разработки по выявлению возможности использования свароч-

ных источников нагрева для получения металлов и сплавов особо высокого качества и надежности, на основе которых сформировалось еще одно основное научное направление в деятельности института: специальная электрометаллургия. Усилия и успехи коллектива в этой новой области обеспечили заметное продвижение в развитии современной качественной металлургии.

К новым электрометаллургическим процессам в первую очередь относится электрошлаковый переплав расходуемого электрода в водоохлаждаемую изложницу. Фундаментальные исследования электрошлакового процесса, его физико-химических, металлургических и электротехнических особенностей обеспечили передовые позиции института в разработке и применении электрошлаковой технологии, включая переплав, наплавку, литье, подпитку и др.

В последние годы в институте выполнен комплекс научно-исследовательских работ, послуживших основой для разработки нового поколения электрошлаковых технологий, основанных на получении слитков и заготовок непосредственно из жидкого металла без переплава расходуемых электродов. Эти технологии запатентованы в Украине и за рубежом и реализованы в промышленности. В частности, на Ново-Краматорском машиностроительном заводе на основе этих технологий создан уникальный комплекс по производству биметаллических прокатных валков.

В институте созданы еще две электрометаллургические технологии: плазменно-дуговая и электронно-лучевая. Разработка техники и технологии этих переплавных процессов велась параллельно с фундаментальными исследованиями физико-металлургических особенностей рафинирования в контролируемой атмосфере или вакууме и процессов кристаллизации сталей, сложнолегированных сплавов, цветных и тугоплавких металлов.

Плазменно-дуговой переплав, благодаря систематическим исследованиям высокотемпературных систем газ–металл, открыл широкие возможности для производства нового класса конструкционных материалов — высокоазотистых сталей. Создание мощных плазмотронов для металлургии позволило институту «войти» в большую металлургию — были разработаны новые конструкции установок типа «ковш–печь» емкостью до 100 т. Качество металла, полученного в этих установках, не уступает электрошлаковому.

Совместными усилиями ученых института, отраслевых НИИ и производителей создана совершенная электронно-лучевая техника, а технология электронно-лучевого переплава в вакууме стала незаменимым процессом получения особо качественных материалов в металлургии и машиностроении. Работы в этом направлении в настоящее время сконцентрированы в созданном при институте научно-инженерном центре «Титан».

Исследования процесса испарения в вакууме металлических и неметаллических материалов и их последующей конденсации как основы для парофазной металлургии открыли возможность получения покры-

тий из различных материалов, включая жаростойкие, тугоплавкие и композитные, позволили в широких пределах регулировать состав, структуру и свойства осажденных слоев. Толщина наносимых покрытий в зависимости от назначения регулируется от десятка микрометров до нескольких миллиметров.

В начале 1980-х гг. в институте формируется новое научное направление, связанное с созданием новых и совершенствованием существующих технологических процессов термического нанесения защитных и износостойких покрытий. В настоящее время институт развивает практически все современные процессы нанесения защитных и упрочняющих покрытий. Разработаны технология и установки для плазменно-дугового напыления износостойких покрытий, а также установки для детонационного напыления, которые могут эксплуатироваться с применением различных рабочих газов (ацетилена, пропана, водорода).

Результатом исследований и разработок в области строительных сварных конструкций, выполненных учеными ИЭС, стало создание ряда выдающихся сооружений, к которым прежде всего относится уникальный цельносварной мост имени Е. О. Патона через Днепр. Принципы, подходы и конструктивно-технологические решения, используемые при его проектировании и сооружении, открыли дорогу широкому применению сварки в мостостроении. Этот мост получил признание Американского сварочного общества как выдающаяся сварная конструкция XX столетия. Опыт строительства моста имени Е. О. Патона использован при постройке мостов через Днепр в Киеве (Южного, Московского, Гаваньского,





Подольско-Воскресенского, автодорожного и железнодорожного и мостов в Днепропетровске и Запорожье, а также моста через реку Смотрич в Каменец-Подольске. Совместно с НИИ «Укрпроект-стальконструкция» разработаны проекты и технологии строительства, которые успешно реализованы при возведении уникальных телевизионных башен в Киеве, Санкт-Петербурге, Ереване, Тбилиси, Витебске, Харькове. Технологии сварки, разработанные в ИЭС, были успешно применены при возведении грандиозного монумента «Родина-мать», а также при строительстве объектов Евро-2012 в Киеве.

В последние годы большое внимание уделяется реализации достижений современной науки и техники в практической медицине. В 1990-х гг. Б. Е. Патон предложил использовать сварку для соединения живых тканей и организовал творческий коллектив ученых ИЭС им. Е. О. Патона, Института хирургии и трансплантологии им. А. А. Шалимова, Центрального госпиталя Службы безопасности Украины и других медицинских учреждений. Это сотрудничество позволило создать новый способ соединения (сварки) мягких живых тканей. В ИЭС разработано современное оборудование для сварки живых тканей нескольких поколений и налажено его производство. Способ электросварки живых тканей применяется более чем в 50 клиниках Украины, с 2001 г. выполнено более 100 тысяч хирургических операций различного профиля, разработаны и применяются на практике более 130 новых хирургических методик.

Благодаря сочетанию целенаправленных фундаментальных теоретических исследований с инженерно-прикладными разработками, тесным творческим связям с промышленными предприятиями в реализации технологических новшеств институт за прошедшие 80 лет своей деятельности превратился в крупнейший в стране и мире научно-исследовательский центр в области сварки и родственных технологий.

Сегодня в институте работает 1560 человек. Научный потенциал института составляют 440 научных сотрудников, среди которых 8 академиков и 4 члена-корреспондента НАН Украины, 72 доктора наук и более 200 кандидатов наук.

Результаты работ института подтверждены лицензиями и полученными патентами, — продано более 150 лицензий в США, Германию, Японию, Россию, Швецию, Францию, Китай и др. Получено около 2600 патентов Украины и стран ближнего и дальнего зарубежья, а также более 6500 авторских свидетельств.

За годы деятельности института более 60 наиболее выдающихся разработок, выполненных и внедренных в народное хозяйство сотрудниками института в содружестве с производственными коллективами, удостоены ленинских и государственных премий, а также различных премий Украины.

Институт поддерживает международные связи с ведущими центрами по сварке в Европе, США, Азии, является членом Международного института сварки и Европейской сварочной федерации.

Результаты исследований ученых института постоянно публикуются в журналах «Автоматическая сварка», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Современная электрометаллургия», «The Paton Welding Journal», которые имеют широкую читательскую аудиторию. В институте издаются также монографии, тематические сборники, труды конференций, справочники и другая книжная продукция. В институте работают специализированные советы по защите докторских и кандидатских диссертаций. Сотрудниками института защищено более 139 докторских и около 720 кандидатских диссертаций. Институт проводит различные конференции и семинары, организывает и принимает участие в национальных и международных выставках.

Благодаря внедрению разработок ИЭС в промышленность в Украине создано производство современных сварочных материалов и оборудования, что позволяет говорить о сварке как об одной из многих отраслей национальной экономики, имеющей стабильный положительный внешнеторговый баланс.

За прошедшие 80 лет коллектив института прошел славный путь. Сегодня — это коллектив единомышленников, приумножающий успехи патоновской научной школы, которая имеет мировое признание. Все направлено на дальнейшее развитие сварки и родственных процессов, а также решение базовых проблем промышленного производства.



УДК 621.791:669.295

БЕЗДЕФОРМАЦИОННАЯ СВАРКА СТРИНГЕРНЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20

Б. Е. ПАТОН¹, Л. М. ЛОБАНОВ¹, В. В. ЛЫСАК¹, В. В. КНЫШ¹, В. И. ПАВЛОВСКИЙ¹,
В. П. ПРИЛУЦКИЙ¹, А. Н. ТИМОШЕНКО¹, П. В. ГОНЧАРОВ¹, ГУАНЬ ЦЯО²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² Ин-т авиационных технологий. г. Пекин, Китай. E-mail: guang@cae.cn

Представлены результаты комплекса проведенных исследований по разработке технологии сварки проплавными швами стрингерных панелей из титанового сплава ВТ20, обеспечивающей минимальные остаточные напряжения и деформации, а также высокие показатели их долговечности при циклических нагрузках. На масштабных образцах, имитирующих стрингерные панели, проплавные швы тавровых соединений выполняли тремя способами: электронно-лучевой, автоматической аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по слою активирующего флюса и автоматической аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом погруженной дугой. Для устранения остаточных сварочных напряжений и деформаций применено предварительное упругое деформирование свариваемых элементов. Проведены испытания всех типов образцов на усталость при продольном циклическом растяжении. Определено влияние на их усталостную долговечность также термической обработки, ударной механической обработки и ремонтно-сварочных технологий. На основе результатов исследований масштабных образцов изготовлены и испытаны партии стрингерных панелей длиной 1200 мм. Проплавные швы, выполненные аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по слою активирующего флюса с использованием предварительного упругого деформирования и высокочастотной механической проковки швов, обеспечивают более высокие показатели усталостной долговечности сварных стрингерных панелей из высокопрочного титанового сплава ВТ20 по сравнению с электронно-лучевой сваркой и аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с погруженной дугой. Разработанная технология может быть принята для промышленного производства сварных стрингерных панелей из высокопрочных титановых сплавов. Библиогр. 14, табл. 1, рис. 13.

Ключевые слова: тонколистовые сварные конструкции, стрингерные ребристые панели, тавровые соединения, проплавной шов, остаточные напряжения и деформации, предварительное упругое деформирование, усталостная прочность, высокочастотная механическая проковка

Стрингерные панели из легких сплавов находят все более широкое применение в авиации, космической технике, судостроении и других отраслях промышленности. Ведущие авиастроительные фирмы уделяют повышенное внимание созданию новых и усовершенствованию существующих технологий изготовления несущих тонкостенных панелей из высокопрочных титановых сплавов. Характерным примером является применение в истребителях НПО «Сухой» стрингерных панелей из титанового сплава ВТ20 толщиной 2,5, длиной до 2000 мм с приваренными аргонодуговой сваркой ребрами жесткости высотой до 25 мм. После сварки панели в кондукторе из нержавеющей стали подвергаются термическому отжигу в электровакуумной печи для снятия остаточных напряжений и деформаций [1].

В исследовательском центре Langley (NASA) для изготовления подобных конструкций разработан метод сваркопайки. Этим методом Z-образные ребра жесткости из титанового сплава сначала привариваются к титановому листу точками через промежуточный слой алюминиевого припоя, а затем собранную конструкцию панели помещают в вакуумную камеру, где происходит процесс пайки [1].

Конструкции истребителя F-14 из титанового сплава изготавливаются с использованием электронно-лучевой сварки (ЭЛС), обеспечивающей высокие свойства соединения и производительность [2].

В любом случае, касается ли это конструкций из титановых или иных сплавов, при стремлении авиастроителей перейти от клепаных или фрезерованных тонколистовых ребренных конструкций к конструкциям с приваренными ребрами жесткости, технологи сталкиваются с необходимостью минимизации влияния таких отрицательных факторов как остаточные напряжения и деформации, которые присутствуют в сварочном процессе и существенно снижают служебные характеристики изделия прежде всего точность и долговечность [3].

Для решения проблемы повышения точности и усталостных характеристик сварных тонколистовых конструкций в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны такие методы, как предварительное упругое деформирование (ПУД) [4–7] и высокочастотная механическая проковка (ВМП) [8], которые в настоящее время успешно применяются для



судоостроительных конструкций из алюминиевых сплавов и сталей [9]. Следует отметить, что в отличие от других способов поверхностного пластического деформирования, например, дробеструйной обработки, особенность ВМП в воздействии на узкую зону сплавления шириной 4...7 мм. Это создает сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое зоны сплавления и уменьшает концентрацию напряжений вследствие сглаживания перехода от шва к основному металлу.

В работе [9] экспериментально подтверждена эффективность применения ПУД для регулирования остаточных напряжений и деформаций при сварке тонколистовых конструкций из титановых сплавов.

Как правило, в тонкостенных конструкциях соединение листа с ребрами жесткости выполняется сваркой плавлением со стороны ребра. При этом в большинстве случаев используются двусторонние угловые швы, выполняемые автоматической аргодуговой сваркой вольфрамовым электродом (ТИГ), ЭЛС или лазерной сваркой. Перспективной, но и более сложной является технология выполнения проплавных швов в таких конструкциях, когда тавровое соединение производится за один проход только со стороны листа путем его провара по толщине и частичного провара ребра.

Однако при дуговой сварке процессы образования сварочной ванны, нагрев околошовной зоны и проплавление металла в значительной мере зависят от теплопередачи и соответственно теплопроводности металла. Поэтому при обычной дуговой сварке очевидны проблемы с получением в тонколистовых панелях качественных проплавных швов с относительно большой глубиной, неширокими зонами остаточных напряжений растяжения и минимальными деформациями коробления.

Процессы образования и формирования проплавного шва по сравнению со стыковым существенно отличаются. В значительной мере эта задача усложняется при использовании титановых сплавов вследствие их теплофизических и физико-механических свойств.

Известно, что основным видом металлургических дефектов сварных соединений титановых сплавов, полученных как дуговыми, так и лучевыми способами сварки, являются поры. В значительной степени порообразование в металле шва можно уменьшить с помощью тщательной предсварочной подготовки поверхностей свариваемого металла в зоне сварки. Согласно статистическим данным о дефектах в сварных тавровых соединениях из титанового сплава ВТ20 наиболее часто приходится иметь дело с порами небольшого размера (0,1...0,4 мм).

Наличие пор в швах мало влияет на поведение сварных соединений при статических нагрузках, но существенно уменьшает длительность их эксплуатации в условиях циклических нагрузок, резко снижая предел усталости. При циклических напряжениях растяжения очаги разрушения сплавов титана преимущественно возникают от внутренних дефектов шва. Наибольшая долговечность наблюдается у швов с тщательно обработанными плавными переходами от усиления к основному металлу.

Известно, что процесс деформирования при циклических нагрузках вызывает направленную диффузию водорода в зону, прилегающую к поре, с повышенным напряжением. Зародыш трещины может возникнуть не только с внутренней поверхности поры, но и в близлежащей области. При этом рост концентрации водорода на поверхности развивающейся трещины у поры на порядок выше, чем на некотором расстоянии от поры.

Основное влияние на долговечность сварных швов оказывает не столько размер пор, сколько зона их расположения. Пores вдали от концентраторов напряжений снижают долговечность в 2...3 раза, в то время как поры в зоне концентрации напряжений снижают долговечность на порядок [10].

Замечено, что применение поверхностного наклепа задерживает развитие усталостных очагов разрушения от близких к поверхности дефектов и увеличивает долговечность сварного соединения.

Успешное применение технологии сварки с проплавными швами в панельных конструкциях невозможно без разработки специальных мер, которые обеспечивали бы наряду с высоким качеством швов необходимые прочностные и усталостные характеристики сварных соединений и конструкций, низкие остаточные сварочные деформации и напряжения, высокую точность изготовления изделия.

Целью настоящего исследования явилась разработка технологии изготовления сварных стрингерных панелей из титанового сплава ВТ20 с обеспечением их высоких точности и усталостных характеристик.

Титановый сплав ВТ20 относится к псевдо- α' -сплавам со следующим содержанием легирующих элементов: 5,5...7,0 % Al, 1,5...2,5 % Zr, 0,5...2,0 % Mo, 0,8...2,5 % V. Коэффициент стабильности β -фазы в этом сплаве в отожженном состоянии в зависимости от содержания легирующих элементов составляет 5...7 %.

Фазовые превращения в сплаве при охлаждении в процессе сварки протекают по мартенситной кинетике, наблюдается $\beta \rightarrow \alpha'$ -превращение. Повышение скорости охлаждения приводит к измельчению образующейся в металле шва и зоне



термического влияния (ЗТВ) α' -фазы, однако это не существенно влияет на свойства соединений при статических испытаниях.

Образующаяся α' -структура незначительно легирована β -стабилизаторами, поэтому она по своим свойствам близка обычной α' -структуре с соответствующим легированием. Не изменяется структура и в процессе длительного низкотемпературного нагрева. Поэтому отжиг в целях стабилизации структуры и упрочняющая термическая обработка (ТО) после сварки неэффективны. Целесообразно проведение отжига для снятия остаточных сварочных напряжений, уменьшения концентрации напряжений в месте перехода от основного металла к сварному шву.

Следует отметить, что в настоящее время на предприятиях, изготавливающих сварные конструкции из титановых сплавов, отжиг остается основным способом, используемым для устранения остаточных напряжений и деформаций. При этом серьезными недостатками этого технологического процесса являются большие энергозатраты, ограниченность применения из-за габаритов обрабатываемых деталей, а также большая материалоемкость оснастки, применяемой для закрепления отжигаемых конструкций. В связи с этим в настоящих исследованиях преследовалась дополнительная цель – поиск альтернативы операции отжига.

Прочностные свойства металла шва при сварке сплава ВТ20 близки свойствам основного металла (ОМ), а незначительное снижение пластичности связано с особенностью формирования литой структуры. Размер зерна в металле шва зависит от погонной энергии, вводимой при сварке. При мед-

ленном охлаждении сварного соединения после сварки пластичность литого металла шва снижается в результате увеличения размеров зерен. В то же время высокие скорости охлаждения приводят к снижению пластичности вследствие образования мелкоугольчатой β -структуры, в которой отсутствует α' -фаза [11].

Разработка технологии бездеформационной сварки стрингерных панелей из сплава ВТ20 проводилась в два этапа. На первом на экспериментальных сварных тавровых образцах исследовали возможные способы приварки проплавным швом ребра жесткости к листу в комбинации с различными технологическими приемами, направленными на повышение точности изготовления тавровых соединений. На втором этапе на основе отработанных технологических вариантов была изготовлена партия ребристых панелей, которые подвергали испытаниям при циклическом растяжении для подтверждения возможности получения крупногабаритных авиационных панелей, отвечающих эксплуатационным требованиям, без использования ТО.

Сварные тавровые образцы и ребристые панели для исследований имели геометрические параметры, соответствующие параметрам конструкций, которые применяются в авиационной технике. При выполнении задач первого этапа осуществляли сварку тавровых образцов с одним ребром жесткости (рис. 1, а), из которых вырезали образцы лопаточного типа (рис. 1, б) для испытаний на усталость.

Конструкция ребристой панели второго этапа исследований с четырьмя приваренными стринге-

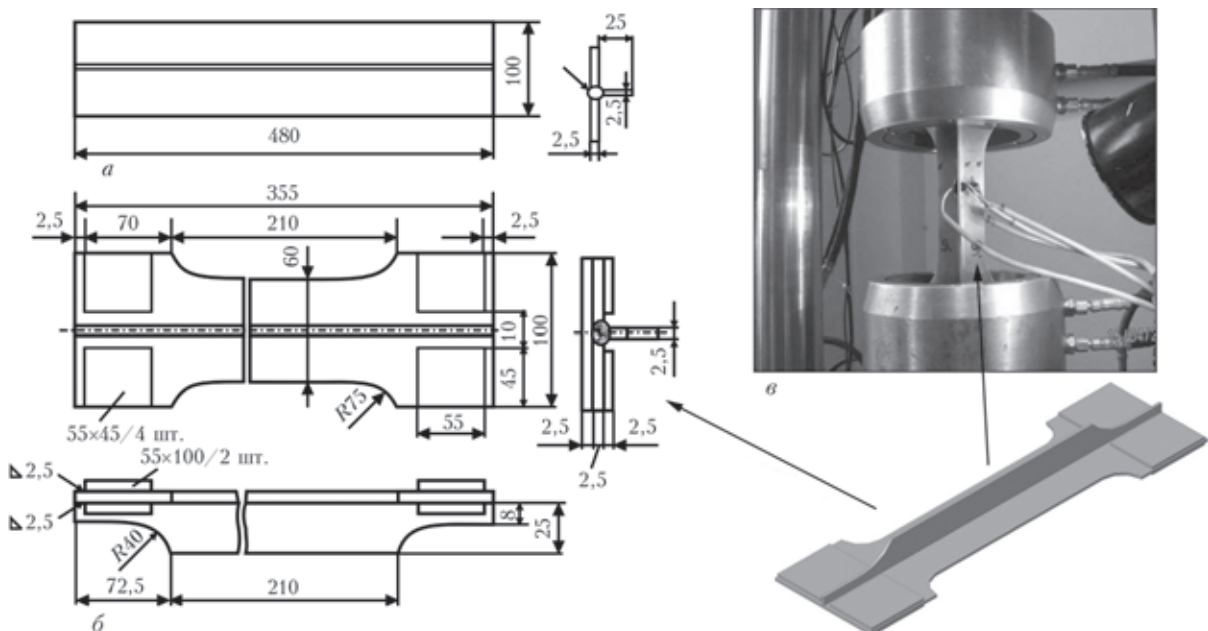


Рис. 1. Сварной тавровый образец из сплава ВТ20 первого этапа исследований: а — эскиз образца; б — эскиз образца лопаточного типа; в — образец для испытаний на усталость, защемленный в машине

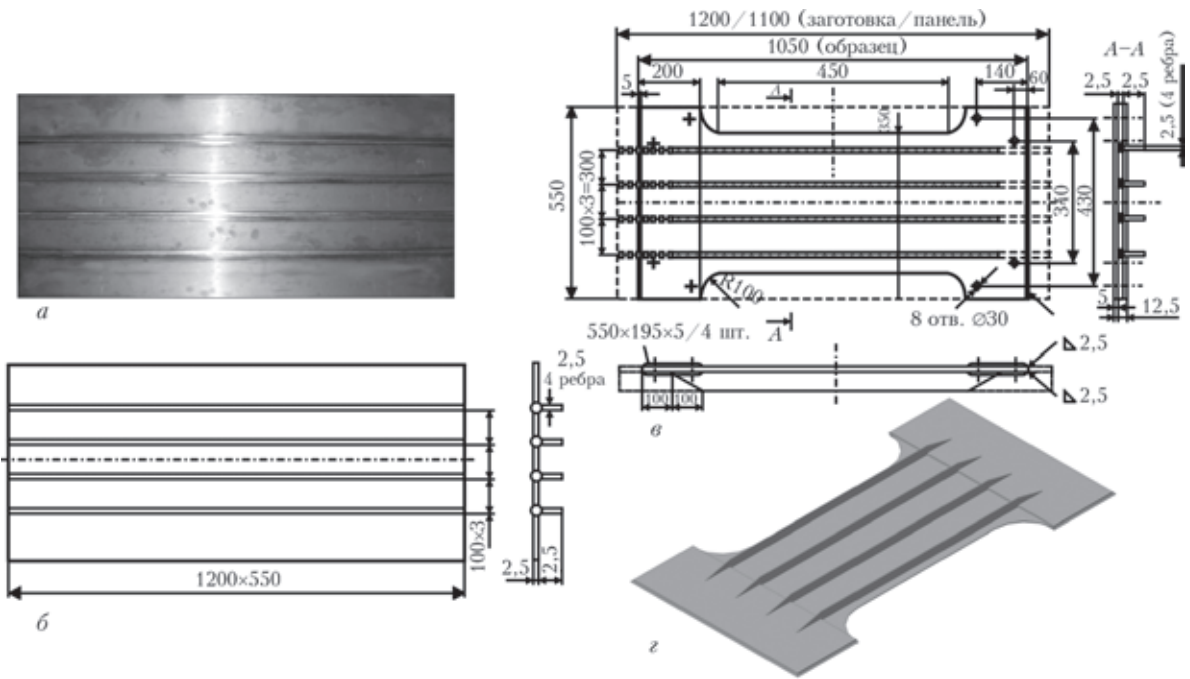


Рис. 2. Сварная ребристая панель из сплава ВТ20 второго этапа исследований: *а* — общий вид; *б* — эскиз панели; *в* — эскиз образца лопаточного типа; *з* — общий вид образца для испытаний на усталость

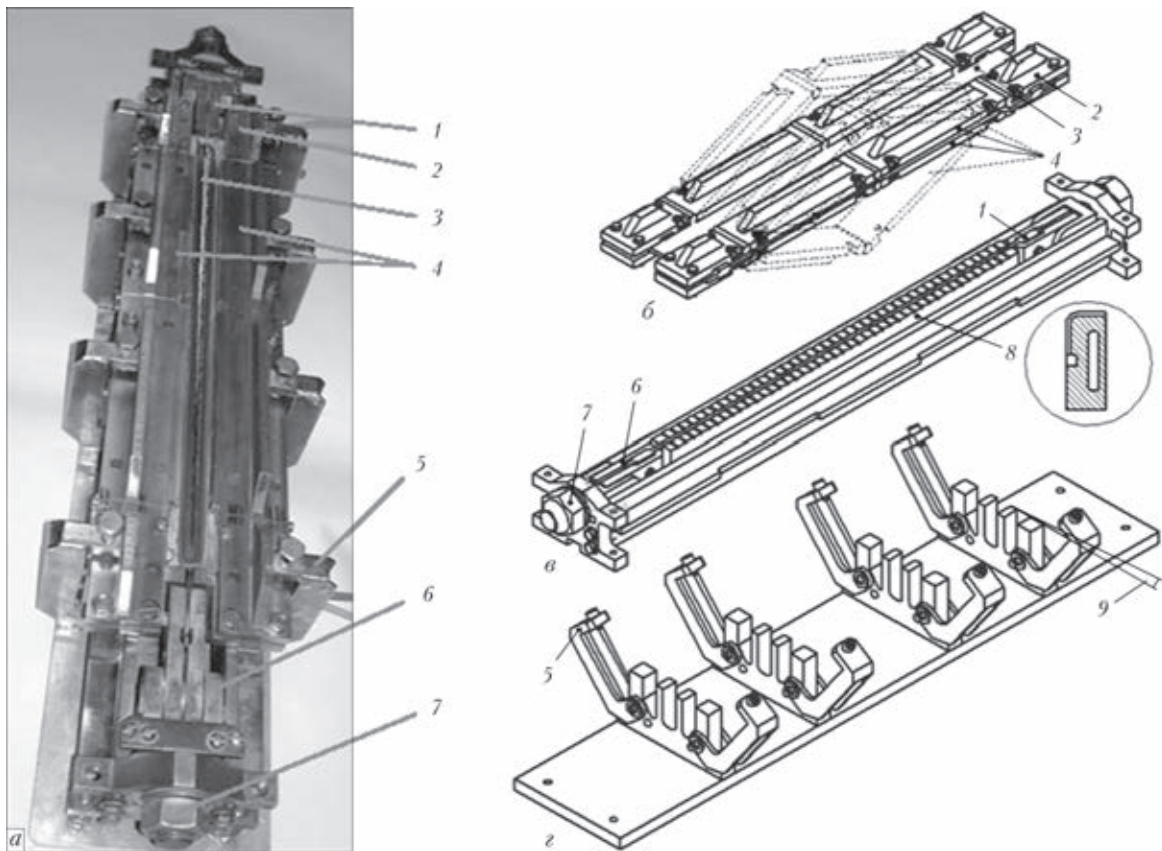


Рис. 3. Силовая сборочная оснастка для сварки тавровых образцов в условиях ПУД: *а* — общий вид оснастки с образцом после сварки; *б* — узел растяжения листа; *в* — узел растяжения ребра; *з* — узел стапеля; 1, 2 — захват соответственно ребра и листа; 3 — лист таврового образца; 4 — ломающий рычаг; 5 — прижимы; 6 — тяга домкрата; 7 — гайка домкрата; 8 — медная водоохлаждаемая подкладка; 9 — угол поперечного изгиба листа

рами и образец лопаточного типа из нее для испытаний на усталость приведены на рис. 2.

Силовая сборочная оснастка (рис. 3) первого этапа работ предназначена для изготовления

тавровых образцов и обеспечивает возможность создания предварительного упругого растяжения свариваемых листов и ребер, а также одновременного изгиба листа в поперечном направлении. Она

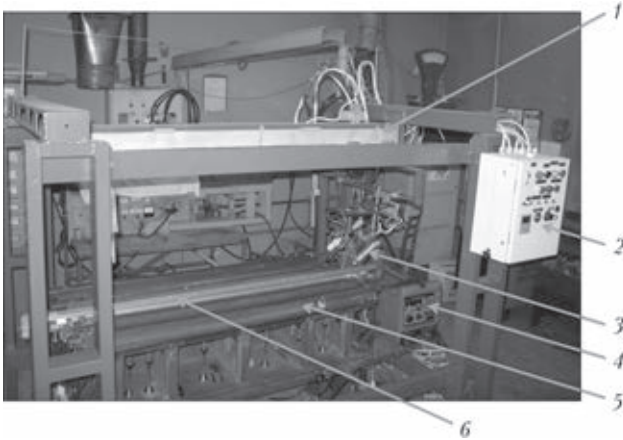


Рис. 4. Лабораторное оборудование для аргодуговой сварки ребристых панелей в условиях ПУД: 1 — портал с тележкой для передвижения сварочной головки; 2 — блок управления; 3 — сварочная головка; 4 — источник питания; 5 — силовой сборочный стенд ПУД свариваемых деталей; 6 — сварная панель

состояла из трех функциональных узлов: растяжения листа, растяжения ребра, стапеля. Узел растяжения листа таврового образца (см. рис. 3, б) выполнен по принципу ломающегося рычага, длина которого больше расстояния между торцами противоположных захватов на величину требуемого растяжения листа.

Применение в конструкции силовой оснастки ломающегося рычага позволило обеспечить ее минимальные габариты и массу, вследствие чего она легко совмещалась без дополнительной переналадки со сварочным оборудованием для различных способов сварки. Причем оснастка позволяла осуществлять неразрушающий контроль качества сварного шва и сразу же его ремонт при обнаружении дефекта непосредственно после сварки без разборки и в растянутом состоянии.

В узле растяжения ребра таврового образца (см. рис. 3, в) растягиваемое ребро находится между двумя траверсами, воспринимающими нагрузку, и растяжение образца создается с помощью винтового домкрата и передается на ребро через его захваты.

Узел стапеля (см. рис. 3, г) выполнен в виде жесткого основания с возвышающимся ложементом, который служит опорой для узлов растяжения и имеет форму обратного выгиба листа в поперечном направлении, а его продольные направляющие являются прямолинейными.

В положении для сварки лист плотно прижимался к ложементу, а ребро — к листу. Кроме того, к листу и ребру прижимались медные водоохлаждаемые подкладки δ , служащие для формирования галтелей корня шва и его газовой защиты.

Силовая сварочная оснастка второго этапа работ, предназначенная для изготовления стрингерных панелей, аналогичная и состоит из тех же уз-

лов, что и оснастка для образцов, но с той лишь разницей, что в ее составе четыре узла растяжения ребер, которые одновременно устанавливаются снизу листа панели.

Применялось также лабораторное оборудование для аргодуговой сварки проплавленными швами тавровых соединений ребристых образцов и панелей в условиях ПУД (рис. 4). В сварочной установке использован источник питания Fronius Magic Ware 3300 и сварочная головка с улучшенной газовой защитой дуги и остывающего участка шва, которая перемещалась трехкоординатным манипулятором. Управление сварочной установкой осуществлялось посредством программируемого контроллера. В состав установки входили также водоохлаждающее и газобаллонное оборудование.

На первом этапе исследований были выбраны три способа сварки: автоматическая аргодуговая неплавящимся электродом по слою флюса (ТИГ-Ф), автоматическая аргодуговая неплавящимся электродом с погружением дуги (ТИГ-П) и ЭЛС. Выбор данных способов был определен с учетом опыта работ ИЭС им. Е. О. Патона по сварке титановых сплавов и необходимости обеспечения полного проплавления листа, надежного его сплавления с ребром, равномерного формирования галтельных переходов со стороны ребра, а также получения усиления шва с лицевой стороны без подрезов.

В связи с некоторыми физическими свойствами титана возникают определенные трудности при сварке, связанные с обеспечением качественного формирования корня проплавленного шва по обе стороны ребра с плавным сопряжением поверхностей ребер и листа. Это обусловлено, с одной стороны, высоким коэффициентом поверхностного натяжения жидкого титана (в 1,5 раза больше чем у алюминия), что затрудняет свободное провисание и формирование твердеющего металла на подкладке. С другой стороны, низкая вязкость жидкого титана способствует интенсификации гидравлических процессов в сварочной ванне, что может не только оказывать влияние на структуру шва и образование пор в нем, но и влиять на проплавляющую способность дуги.

Поэтому при сварке титана поверхностной дугой (ТИГ) низкий коэффициент теплопроводности титана и невысокий коэффициент использования тепловой мощности предопределяют получение широких швов с нежелательно малым коэффициентом формы шва (отношение ширины проплавления к глубине шва). Для получения требуемого полного проплавления соединения при этом способе необходимо значительное увеличение сварочного тока и большое тепловложение.



Способ ТИГ-П предназначен для увеличения глубины проплавления и отличается от способа поверхностной дугой тем, что дуга, а также конец электрода погружены в ванну ниже поверхности листа, что существенно осложняет формирование сварного соединения. Условия горения самой дуги и движение металла в ванне принципиально отличаются от сварки поверхностной дугой. Фактически вся дуга горит в конусном углублении, стенки которого омывают потоки расплавленного металла. Он переносится преимущественно от передней части ванны к ее задней части, где происходит его остывание. Причем при сварке погруженной дугой жидкий металл сварочной ванны недостаточно вовлекается в общее перемешивание, что оказывает влияние на процессы формо- и порообразования.

Погружением достигается максимальная эффективность использования тепла сварочной дуги, интенсифицируются гидродинамические процессы и теплообмен в сварочной ванне, однако резко возрастают тепловая и токовая нагрузки на конец электрода. При заниженных значениях тока или завышенных скоростях процесс сварки характеризуется частыми кратковременными короткими замыканиями и соответственно резкими колебаниями тока. Они вызывают изменение формы электрода из-за токовой эрозии его острия. Вследствие этого происходят непредсказуемые скачки параметров сварочного процесса и некачественное формирование сварного таврового соединения. Ширина шва и глубина проплавления изменяются. По мере продвижения дуги частота кратковременных коротких замыканий растет, а общее напряжение на дуге падает. При этом способе имеется высокая вероятность получения нестабильного результата при одинаковых условиях сборки и параметрах режима сварки. Процесс весьма чувствителен к временным сварочным деформациям и при незначительных деформациях листа, как правило, прекращается из-за общего короткого замыкания, гашения дуги и «замораживания» электрода. В связи с этим использование ТИГ-П при производстве конструкций с протяженными сварными швами ограничено.

Способ ЭЛС характеризуется сравнительно высокой концентрацией энергии и, как правило, применяется для сварки больших толщин. При выполнении проплавленных тавровых соединений в отличие от дуги электронный луч достаточно легко прорезает металл листа, обеспечивая гарантированное расплавление ребра, которое находится под листом [12]. В то же время необходимость формирования радиусов галтелей (до 2,0 мм) снизу под листом по обе стороны ребра накладывает весьма жесткие ограничения на подбор режимов,

поскольку влечет за собой необходимость расширения ванны с лицевой стороны соединения. Широкую ванну на тонком листе трудно удержать в равновесии и в результате поверхность шва формируется чешуйчатой, с подрезами. Высока также склонность к прожогам и порам у корня шва. Для устранения дефектов в этом случае необходимо дополнительное разглаживание шва повторным проходом расфокусированного луча.

Анализ результатов подбора параметров режима ЭЛС тавровых соединений из сплава ВТ20 проплавленными швами показывает следующее. Лучшие условия для формирования плавных галтелей снизу шва достигаются при режимах с глубоким проникновением луча в ребро и большими тепловложениями, которые близки к процессу резки листа. Однако лучшее формирование поверхности шва с лицевой стороны достигается при режимах, близких к процессу разглаживания. Выбор оптимального режима заключается в нахождении обоснованного компромисса между этими процессами.

Способ ТИГ-Ф предназначен для выполнения швов на титановых сплавах толщиной 0,8...6 мм [13]. Перед сваркой на поверхность свариваемых деталей наносится слой флюса. Сварка выполняется за один проход без разделки кромок как с присадочной проволокой, так и без нее. Введение в зону сварки галогенидных флюсов вызывает контрагирование дуги, обусловленное физическими процессами, которые происходят в столбе дуги. При этом принципиально изменяются условия формирования сварного соединения и расширяются технологические возможности сварки ТИГ-Ф по сравнению со сваркой поверхностной дугой.

Основные преимущества способа сварки ТИГ-Ф – это увеличение глубины проплавления при значительном снижении погонной энергии, уменьшение ширины шва и ЗТВ, предупреждение пористости. Так, погонная энергия снижается в 1,5...2 раза, ширина швов характеризуется малым значением коэффициентов формы шва. Металлургическая обработка металла сварочной ванны жидким шлаком практически полностью предотвращает появление пор в соединении при сварке различных титановых сплавов. Это связано с тем, что в результате прохождения металлургических реакций в сварочной ванне между флюсом и титаном происходит химическое связывание водорода. Водород, растворенный в жидком металле сварочной ванны, связывается фтором в гидридофториды, остающиеся в металле шва в виде микроскопических шлаковых включений. Поскольку механические свойства металла шва определяются состоянием α - и β -фаз, а не меж-



Способ сварки	Скорость сварки, м/ч	Диаметр присадки, мм	Защита	Ток пучка, мА	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток фокусировки, мА	Амплитуда развертки, мм	Частота развертки, Гц	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В
ЭЛС	14	1,0	Вакуум 10^{-5}	70	28	80	8	380	-	-
ТИГ-Ф	18	1,0	Аргон	-	-	-	-	-	195	14,0...14,5
ТИГ-П	17	1,0	->-	-	-	-	-	-	250	11,2...11,5

фазными прослойками, то способ ТИГ-Ф обеспечивает достаточно высокий уровень свойств сварных соединений.

Кроме того, при этом способе сварки увеличивается сварочный ток сверх оптимального на 20...25 %, что приводит к росту ширины обратного формирования (на 30...50 %) при незначительном увеличении (на 7...12 %) ширины шва. Эта особенность позволяет эффективно использовать данный способ для получения сварных тавровых соединений путем сквозного проплавления листа с одновременным расплавлением ребра.

При проведении первого этапа исследований на тавровых образцах с проплавленными швами были отработаны оптимальные режимы сварочного процесса. Указанные режимы для каждого из трех способов сварки для сплава ВТ20 приведены в таблице.

Микроструктуры сварных соединений, выполненных указанными способами сварки, достаточно однотипны. Как видно из рис. 5, микротрещины и поры в сварном шве и металле ЗТВ отсутствуют. Следует отметить, что протяженность ЗТВ колеблется в пределах 2,5...3 мм, ширина шва составляет 6...7 мм. В сварном шве от зоны сплавления к центру сварного соединения кристаллизуются неравноосные зерна, преимущественно столбчатые кристаллиты, вытянутые в направлении теплоотвода. В центральной части соединения образуются кристаллиты, близкие равноосной форме, которые срастаются по оси шва под углами примерно 60...90°. Зерна в шве однородные по размеру.

Для усиления шва использовали присадочную проволоку марки ВТ1-00 (технический титан) диаметром 1,0 мм. В экспериментах первого этапа

было исследовано влияние введения в сварочную ванну этой присадочной проволоки на уменьшение содержания легирующих элементов в сварном шве. Количественная оценка изменения уровня легирования металла шва была проведена с помощью рентгеноспектрального анализа. Содержание легирующих элементов, определенное в отдельных точках, изменилось в следующих пределах: 5,91...6,33 % Al; 1,65...1,84 % Zr; 0,77...1,24 % Mo; 1,06...1,17 % V, что соответствует содержанию легирующих элементов в сплаве ВТ20.

Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций применяли ПУД свариваемых элементов. Лист и ребро подвергали продольному растя-

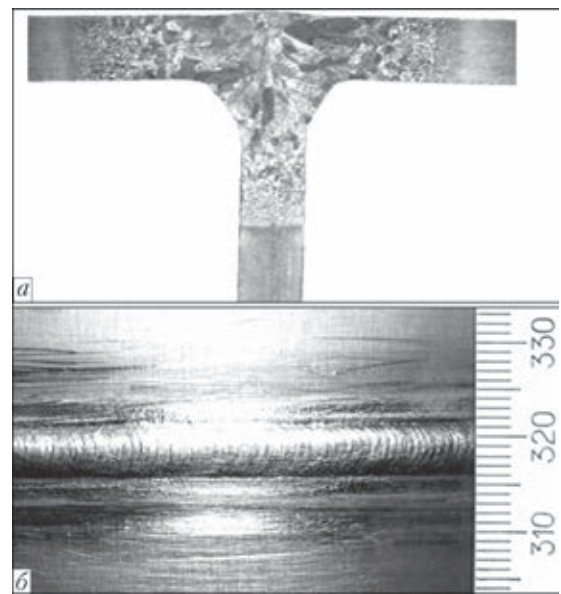


Рис. 5. Макрошлиф (а) и внешний вид (б) с лицевой стороны сварного таврового соединения из сплава ВТ20 с толщиной элементов 2,5 мм, полученного способом ТИГ-Ф по флюсу АНТ-25А

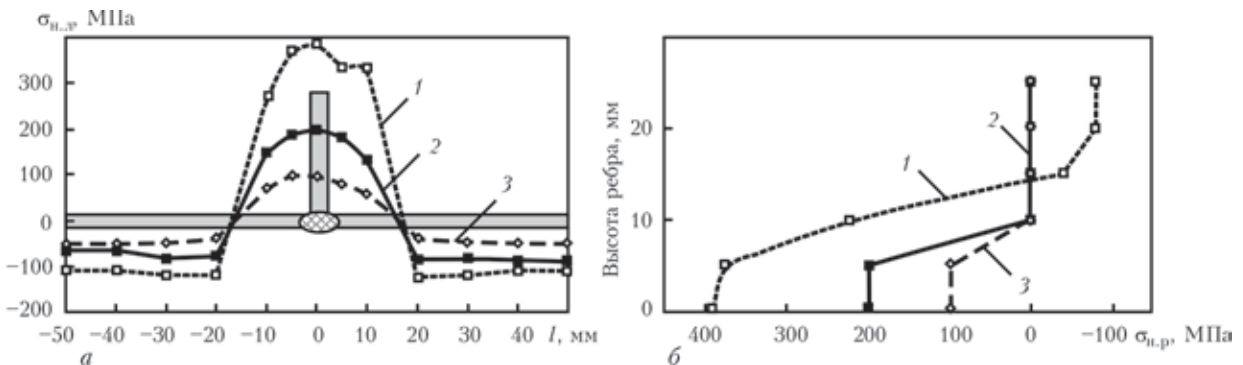


Рис. 6. Эпюры распределения продольных остаточных напряжений в поперечном сечении тавровых образцов из сплава ВТ20 с проплавленным швом, выполненным ЭЛС, в пластине (а) и ребре (б): 1 — сварка образца в оснатке без растяжения; 2 — сварка образца в условиях ПУД $\sigma_{н,л} = 220$ МПа и ребра $\sigma_{н,р} = 250$ МПа; 3 — сварка образца в условиях ПУД $\sigma_{н,л} = \sigma_{н,р} = 450$ МПа

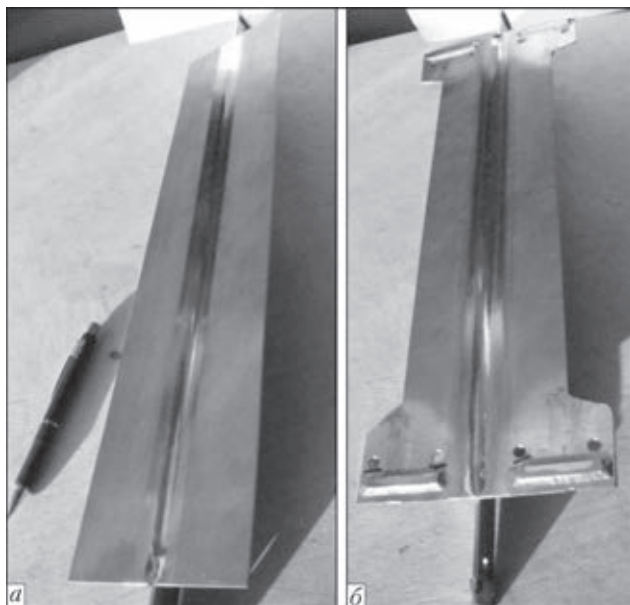


Рис. 7. Внешний вид тавровых образцов, изготовленных ЭЛС без применения (а) и с применением ПУД листа (б) $\sigma_{н.л} = 220$ МПа и ребра $\sigma_{н.р} = 250$ МПа

жению с заданным уровнем напряжений. Кроме того, лист подвергали обратному по отношению к угловым сварочным деформациям изгибу в поперечном направлении.

Для установления оптимальных параметров ПУД были выполнены эксперименты по определению зависимости остаточного напряженно-деформированного состояния образца от предварительных напряжений растяжения листа и ребра. Из рис. 6 видно, что остаточные сварочные напряжения значительно уменьшаются с возрастанием предварительных напряжений растяжения до $0,5\sigma_{0,2}$. Остаточные сварочные деформации формирования тавровых образцов также уменьша-

ются при возрастании начальных растягивающих напряжений. При достижении уровня начальных напряжений $(0,3 \dots 0,35)\sigma_{0,2}$ остаточные сварочные деформации коробления практически соответствуют значениям деформаций исходных заготовок листов.

Обратный поперечный изгиб листа применяется с целью полного устранения угловых остаточных деформаций. Обратный изгиб, определенный экспериментально, составлял до 0,75 значения остаточных угловых деформаций, получаемых при сварке образца в свободном состоянии.

У тавровых образцов (рис. 7), полученных ЭЛС без применения ПУД на оптимальных параметрах, видны значительные деформации кручения, а также продольного и поперечного изгиба, на образцах с применением ПУД указанные деформации отсутствуют. При сварке образцов способами ТИГ-П и ТИГ-Ф в условиях ПУД и без него получены аналогичные результаты.

Пять образцов, выполненных с применением указанных трех технологий сварки, подвергли ТО. В соответствии с рекомендациями, принятыми при изготовлении элементов сварных авиационных конструкций из титановых сплавов, ТО производили в электрической печи в вакууме с автоматическим регулированием температуры (рис. 8). Для предотвращения коробления образцов во время ТО применяли фиксирующую оснастку из нержавеющей стали. Используемый режим ТО был следующим: нагрев до 650°C в вакууме $1,33 \cdot 10^{-1}$ МПа, выдержка 2 ч, остывание вместе с печью в вакууме. Затем все образцы были обработаны ВМП в целях повышения сопротивления усталости (рис. 9). ВМП образцов

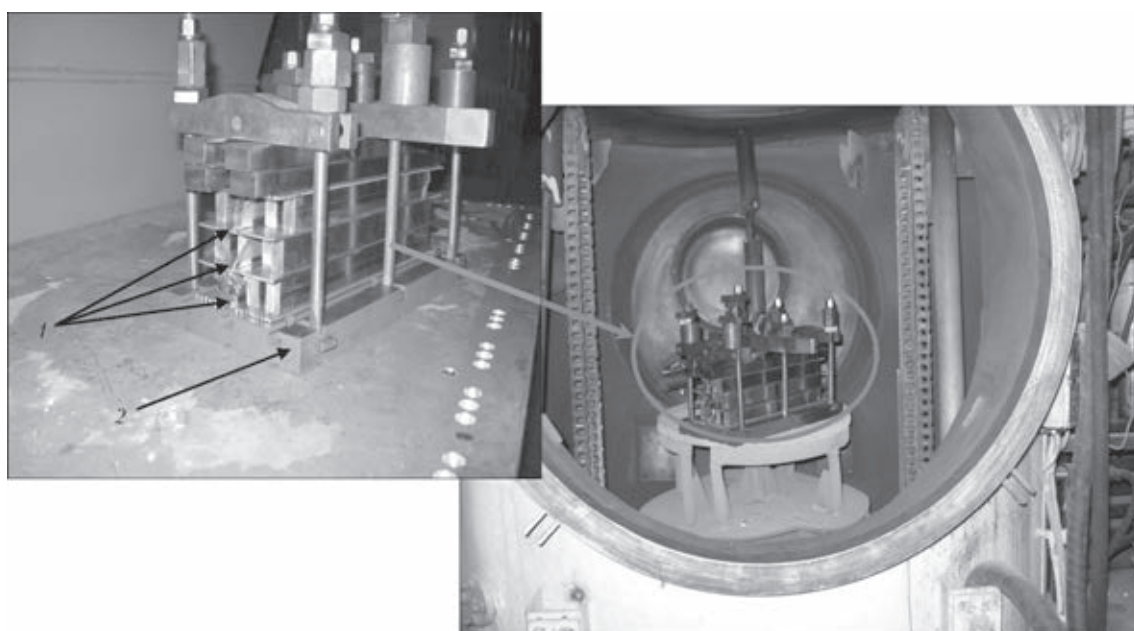


Рис. 8. Термообработка сварных образцов из сплава ВТ20 в электровакуумной печи: 1 — тавровые образцы; 2 — оснастка для отжига в печи



заклучалась в проковке зон плавления сварного соединения как по листу, так и ребру с помощью ультразвукового ударного инструмента, рабочей частью которого были твердосплавные бойки с радиусными закруглениями на концах.

Актуальной задачей при изготовлении тонкостенных конструкций из легких сплавов является разработка ремонтно-сварочных технологий и оценка их влияния на прочность и долговечность сварных соединений. Для тавровых соединений, выполненных проплавным швом, характерны два вида дефектов — это отсутствие плавного перехода (галтели) от листа к ребру, а также наличие внутренних дефектов шва (пор, включений, микротрещин). В этой связи проведена оценка эффективности двух технологий ремонта. Для устранения первого вида дефектов осуществляли разглаживание галтели аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, для устранения второго вида сначала высверливали дефекты с лицевой стороны шва, а затем заправляли аргонодуговой сваркой с использованием присадочной проволоки ВТ20 диаметром 2 мм. Ремонтную сварку выполняли в специальной оснастке, обеспечивающей заземление образца и газовую защиту поверхностей листа и ребра. После ремонта осуществляли ВМП сварных соединений.

Для испытаний на усталость образцы закрепляли в захватах испытательной машины УРС-20 по плоским участкам вблизи торцов (без захвата ребра) (см. рис. 1, а) и нагружали продольной растягивающей циклической нагрузкой с асимметрией цикла $R_\sigma = 0,1$ при частоте 7 Гц. Задаваемое усилие растяжения выбирали таким образом, чтобы расчетный уровень максимальных напряжений цикла в листовой части образца (без учета ребра) составлял $0,5\sigma_{0,2}$ для сплава ВТ20. Однако при указанной схеме нагружения привариваемое ребро воспринимало определенную долю прикладываемой нагрузки. В результате максимальные напряжения цикла в нетто-сечении таврового образца были меньше расчетных. Для определения истинных напряжений использовали тензодатчики. Выполненные с их помощью измерения показали, что максимальные напряжения в среднем сечении листа составляли 350 МПа.

Испытания образцов на усталость проводили до их полного разрушения, а соответствующее количество нагружений принималось в качестве критерия для оценки исследуемого варианта технологии сварки и обработки.

В сводной диаграмме на рис. 10 приведены результаты испытаний тавровых образцов, используемых в экспериментах первого этапа. При испытаниях образцы в основном разрушались в рабочих сечениях, имеющих ширину 60 мм. При

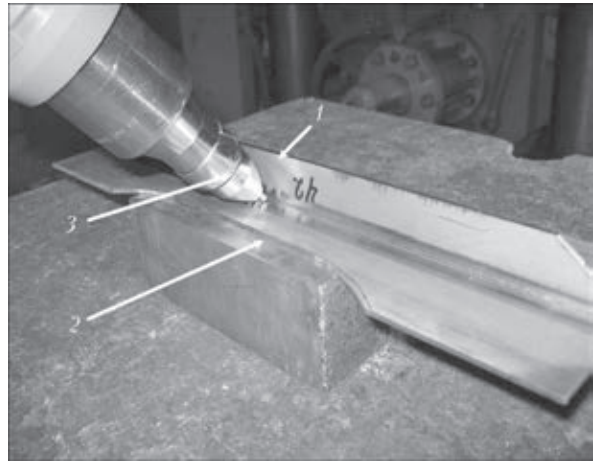


Рис. 9. Обработка таврового сварного соединения образца из сплава ВТ20 ручным ударным инструментом по технологии ВМП: 1 — образец; 2 — подкладка; 3 — рабочая головка ударного инструмента

этом усталостная трещина зарождалась в листе в зоне перехода от шва к основному металлу и в последующем развивалась в обе стороны до полного разрушения. Микрофрактографические исследования поверхности усталостных изломов показали, что характер разрушения в зоне проплавного шва был преимущественно вязкохрупкий и вязкоквазихрупкий.

В качестве базовых вариантов на усталость были испытаны тавровые образцы, изготовленные одним из трех способов сварки (ТИГ-П-1, ТИГ-Ф-1, ЭЛС-1) без ПУД (рис. 10). Как видно, способ сварки влияет на уровень долговечности испытываемых образцов. Наименьшая долговечность наблюдается при ЭЛС и увеличивается при ТИГ-П и ТИГ-Ф.

ПУД приводит к повышению циклической долговечности сварных образцов (ТИГ-П-2, ТИГ-Ф-2, ЭЛС-2) до двух раз по сравнению с базовыми вариантами.

Разглаживание катетов шва уменьшает циклическую долговечность сварных образцов, полученных в условиях ПУД, при всех способах сварки (образцы ТИГ-П-3, ТИГ-Ф-3, ЭЛС-3).

ВМП ультразвуковым ударным инструментом сварных швов, выполненных с применением ПУД, существенно повышает их несущую способность, особенно при сварке по слою активирующего флюса (образцы ТИГ-П-4, ТИГ-Ф-4, ЭЛС-4).

Резко снижаются усталостные свойства сварных образцов вследствие ремонта дефекта поверхностной дугой со стороны листа (ТИГ-П-5, ТИГ-Ф-5, ЭЛС-5).

Образцы, подвергшиеся ТО (ТИГ-П-6, ТИГ-Ф-6, ЭЛС-6), показали значительное увеличение циклической долговечности в случае сварки по активирующему флюсу. Однако следует отметить, что ТО менее эффективна по сравнению с механи-

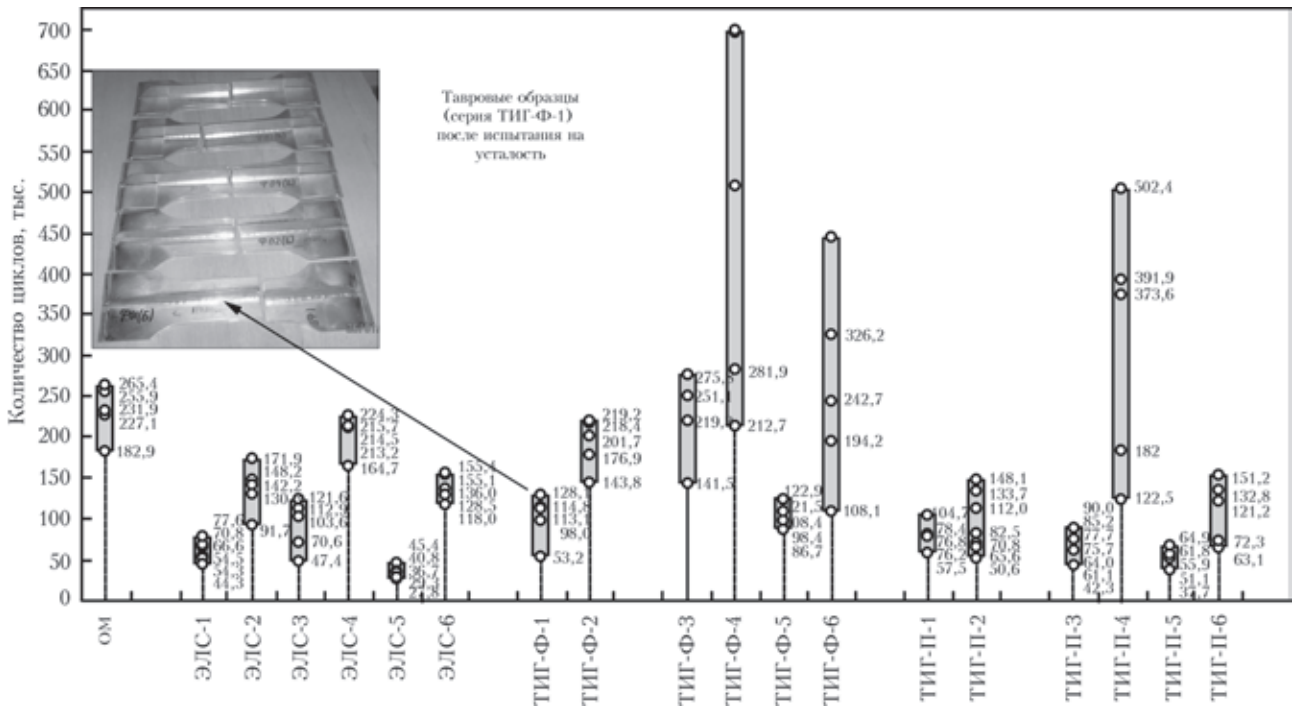


Рис. 10. Результаты испытаний на усталость при циклическом продольном растяжении тавровых сварных образцов из сплава ВТ20 (образцы обозначены способом сварки ЭЛС, ТИГ-Ф, ТИГ-П): 1 — образцы при сварке, жестко заземленные в оснастке без растяжения; 2 — образцы, выполненные с применением ПУД; 3 — образцы с разглаживанием катета шва; 4 — образцы, обработанные ультразвуковым ударным инструментом; 5 — образцы с ремонтом дефекта сверху (или имитацией ремонта); 6 — образцы с ТО

ческой проковкой швов ультразвуковым ударным инструментом.

Таким образом, испытания образцов на усталость показали, что наиболее высокую несущую способность тавровых сварных соединений с проплавным швом можно получить при сварке ТИГ-Ф и ТИГ-П с применением ПУД и ВМП.

На втором этапе осуществляли сварку партий панелей двумя способами — ТИГ-П и ТИГ-Ф (рис. 11). Технологические режимы сварки панелей соответствовали режимам сварки тавровых образцов. Сварку панелей выполняли с применением ПУД листа и ребер на уровне $\sigma_{н.л} = \sigma_{н.р} = 220$ МПа и обратного выгиба со стрелкой выгиба 14 мм. Сварные соединения всех панелей обрабатывали ВМП с использованием инструмента и техно-

логии, которые были отработаны на первом этапе исследований.

Следует отметить, что в результате применения ПУД листа и ребер остаточные формоизменения панелей после сварки были меньше, чем исходные прогибы листовых заготовок.

Контроль качества сварных соединений осуществляли разработанным в ИЭС им. Е. О. Патона методом на основе применения электронной широгрaфии [14], который позволяет оперативно определять дефектные участки сварных швов без демонтажа силовой оснастки и при необходимости сразу приступить к ремонту. Таким образом, сварка и ремонт объединяли в одном технологическом процессе, что способствовало повышению качества панелей.



Рис. 11. Сварные стрингерные панели из сплава ВТ20 после испытаний на усталость, изготовленные способами ТИГ-Ф (а) и ТИГ-П (б)



Рис. 12. Панель с наклеенными тензодатчиками, установленная в захватах машины для испытаний на усталость

По результатам контроля качества на двух панелях, изготовленных способом ТИГ-П, были исправлены с применением механической разделки шва дефекты в виде цепочки пор диаметром 2 мм. На двух панелях, соответствующих способу ТИГ-Ф, было выполнено ремонтное разглаживание участка катета.

Для проведения усталостных испытаний сварных панелей изготавливали крупногабаритные образцы лопаточного типа с рабочей частью 450×350×2,5 мм и отшлифованными ее кромками (см. рис. 2, в). Испытания проводили на модернизированной универсальной сервогидравлической испытательной машине HydroPuls-Schenk с максимальным растягивающим усилием 100 т, управление осуществлялось 4-канальным цифровым контроллером МТС Flex Test GT.

Для оценки реального уровня напряжений в рабочем сечении образца и проверки правильности его расположения в захватах испытательной машины для каждого образца производилась установочная тензометрия. Для этого в рабочей части на листе и ребрах образца в трех сечениях по длине его рабочей части наклеивали тензорезисторы КФ 5 П1-200, соединенные с тензоизмерительной системой СИИТ-2 (рис. 12).

В процессе установочной тензометрии панельный образец нагружали ступенчато с шагом 50 кН до максимальной растягивающей нагрузки. На каждом шаге нагружения измеряли уровень напряжений по тензодатчикам. Оценивали равномерность и максимальные напряжения на тензодатчиках и при необходимости максимальную испытательную нагрузку корректировали для сближения условий испытаний каждой панели. В результате максимальная испытательная нагрузка была установлена инди-

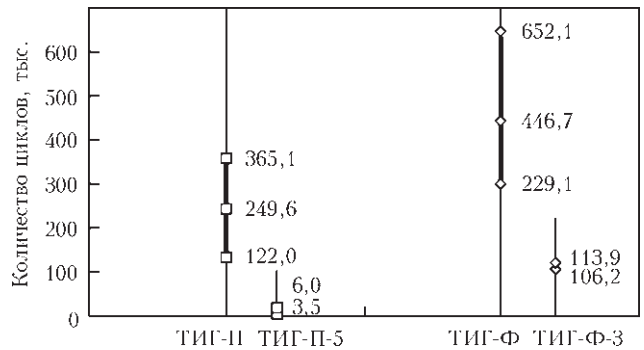


Рис. 13. Результаты испытаний на усталость при циклическом продольном растяжении сварных панелей из сплава ВТ20 (образцы обозначены способом сварки ТИГ-П и ТИГ-Ф); ТИГ-П-5, ТИГ-Ф-3 — панели соответственно с ремонтом дефекта шва с разделкой его лицевой стороны и с разглаживанием катета с обратной стороны шва

видуально для каждой панели в пределах от 300 до 320 кН.

При испытаниях на усталость нагружение образцов осуществлялось циклической нагрузкой с частотой 0,5 Гц при коэффициенте асимметрии цикла $R_\sigma = 0,1$.

Результаты испытаний панелей, изготовленных на втором этапе работ, представлены на рис. 13. Как видно из диаграммы, резко падает усталостная долговечность образцов, в которых выполняется ремонт дефектов сварных швов. Более высокую усталостную долговечность имеют панели, изготовленные с применением технологий сварки по слою активирующего флюса.

Результаты второго этапа исследований показали, что технология аргонодуговой сварки проплавленными швами по слою активирующего флюса с применением ПУД свариваемых элементов и последующей ВМП швов может служить основой для промышленного производства стрингерных панелей из высокопрочного титанового сплава ВТ20.

Выводы

1. Установлено, что выполнение проплавленных швов аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по слою активирующего флюса с использованием ПУД и ВМП швов обеспечивает более высокие показатели усталостной долговечности сварных стрингерных панелей из высокопрочного титанового сплава ВТ20 по сравнению с ЭЛС и аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом погруженной дугой.

2. Применение ПУД на уровне не ниже $0,25\sigma_{0,2}$ при сварке крупногабаритных стрингерных панелей из сплава ВТ20 дает возможность устранить сварочные деформации коробления и улучшить условия выполнения сварочного процесса в автоматическом режиме.



3. Послесварочная ВМП сварных швов заметно повышает усталостную долговечность конструкций из титановых сплавов.

4. Предложена технология изготовления сварных стрингерных панелей из сплава ВТ20 без последующей ТО.

1. Матвиенко С. В., Астафьев А. Р., Карасев И. Г. Сварка и родственные технологии в самолетостроении. Тенденции развития // Сварка в Сибири. – 2003. – № 2. – С. 36–40.
2. Robert W. Messler JR. The greatest story never told: EB Welding on the F-14 // Welding J. – 2007. – May. – P. 41–47.
3. Братухин А. Г., Дмитриев О. Н., Ковальков Ю. А. Штамповка, сварка, пайка и термообработка титана и его сплавов в авиастроении. – М.: Машиностроение, 1997. – 595 с.
4. Paton B. E. Advanced trends in improvement of welded structures // Proc. of the Intern. conf. «Welded structures», Kiev, Ukraine, 18–22 Sept., 1992. – Harward acad. publ., 1992. – P. 1–8. – (Welding and Surfacing Reviews; Vol. 2).
5. Изготовление сварных крупногабаритных панелей из высокопрочных алюминиевых сплавов / Б. Е. Патон, В. Ф. Уткин, Л. М. Лобанов и др. // Автомат. сварка. – 1989. – № 10. – С. 37–45.
6. Lobanov L. M., Pavlovsky V. I., Lysak V. V. Elastische Vorspannung beim schweissen von Dünnscheiben aus Aluminiumlegierungen // Schweisstechnik (DDR). – 1987. – № 10. – S. 443, 447–449.
7. Lobanov L. M., Pavlovsky V. I., Pivtorak V. A. Optical methods of studying and means of controlling welding strains

and stresses. – Harward acad. publ., 1992. – 96 p. – (Soviet Technology Review. Section C. Welding and Surfacing Reviews).

8. Повышение сопротивления усталости сварных соединений металлоконструкций высокочастотной механической проковкой / Л. М. Лобанов, В. И. Кирьян, В. В. Кныш, Г. И. Прокопенко // Автомат. сварка. – 2006. – № 9. – С. 3–11.
9. Stanhope F., Hasellhurs R. H. Welding airframe structures in titanium alloys using tensile loading as a means of overcoming distortion // Intern. conf. weld. and fabr. non-ferrous metals, Eastbourne. – 1972. – Vol. 1. – P. 72–82.
10. Муравьев В. И. Особенности изготовления и оценки качества крупногабаритных тонкостенных сварных конструкций из сплава ВТ-20 // Автомат. сварка. – 1986. – № 8. – С. 15–18.
11. Влияние способа сварки плавлением на свойства соединений сплава Ti–6Al–4V / В. Н. Замков, В. П. Прилуцкий, И. И. Петриченко и др. // Там же. – 2001. – № 4. – С. 3–7.
12. Электроннолучевая сварка элементов ребристых панелей из титанового сплава ВТ-20 / В. А. Савицкий, А. Д. Шевелев, В. Н. Замков, В. В. Редчин // Там же. – 1989. – № 4. – С. 55–57.
13. Контракция дуги флюсом при сварке вольфрамовым электродом в аргоне / Б. Е. Патон, В. Н. Замков, В. П. Прилуцкий, П. В. Прилуцкий // Там же. – 2000. – № 1. – С. 2–9.
14. Оперативный контроль качества сварных панелей из сплава ВТ20 с использованием метода электронной широтграфии / Л. М. Лобанов, В. А. Пивторак, Е. М. Савицкая и др. // Там же. – 2011. – № 11. – С. 28–33.

Поступила в редакцию 03.12.2013

5-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ»

24–27 июня 2014 г. во Львове на базе Национального университета «Львовская политехника» состоялась 5-я Международная конференция «Механика разрушения материалов и прочность конструкций». Основными организаторами конференции выступили Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Национальный университет «Львовская политехника» и Украинское общество по механике разрушения материалов. Для участия в конференции было заявлено более 200 докладов из 50 организаций, которые представляли ведущие академические институты, государственные научные центры, вузы, частные организации и промышленные предприятия Украины, Польши, Франции и Мексики.

Конференцию открыл председатель организационного комитета, директор ФМИ им. Г. В. Карпенко НАНУ, академик НАН Украины В. В. Панасюк, который в своем вступительном слове подчеркнул необходимость проведения подобного рода мероприятий с целью обмена опытом и налаживания научных и дружественных отношений между сотрудниками различных учреждений. На церемонии открытия конференции с приветственным словом также выступил заместитель директора ИЭС им. Е. О. Патона, академик НАН Украины Л. М. Лобанов, который отметил актуальность вопросов надежности, безопасной эксплуатации и оценки ресурса работоспособности ответственных конструкций промышленной и социальной инфраструктуры. В работе конференции приняли участие более 190 участников, в том числе 137 докторов и кандидатов наук. Было заслушано и обсуждено 26 пленарных, 44 секционных и 47 стендовых докладов, предусмотренных программой конференции. Кроме того, в рамках конференции проведена специальная сессия и круглый стол, посвященный актуальным проблемам влияния водорода на разрушение и прочность конструкционных материалов, где были представлены и обсуждены 12 докладов.

Участники отметили хорошую организацию конференции. Созданная рабочая обстановка способствовала развитию тематических дискуссий и установлению деловых контактов в области механики разрушения материалов, прочности конструкций и оценки ресурса работоспособности ответственных деталей и конструкций.

А. А. Полишко, А. М. Сыротюк



УДК 621.791.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ С ТУГОПЛАВКИМ КАТОДОМ И ИСПАРЯЮЩИМСЯ АНОДОМ

И. В. КРИКЕНТ¹, И. В. КРИВЦУН², В. Ф. ДЕМЧЕНКО²

¹ Днепродзержинский гос. техн. ун-т. 51918, г. Днепродзержинск,
ул. Днепростроевская, 2. E-mail: science@dstu.dp.ua

² ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Для уточнения разработанной ранее комплексной модели процессов энерго-, массо- и электропереноса в столбе и анодной области электрической дуги с тугоплавким катодом и испаряющимся анодом, горящей в инертном газе, предложено уравнение конвективной диффузии ионизированного металлического пара в дуговой плазме с учетом различия коэффициентов диффузии атомов, одно- и двухзарядных ионов металла, наличия термодиффузионных потоков металлических частиц, а также дрейфа ионов пара в электрическом поле. На основе уточненной таким образом комплексной математической модели проведен численный анализ влияния диффузионного испарения материала анода (Fe) на тепловые, газодинамические и электромагнитные характеристики многокомпонентной плазмы столба и анодной области стационарной электрической дуги с тугоплавким катодом (W) при ее горении в инертном газе (Ar). Показано существенное влияние распределения температуры поверхности металла в области анодной привязки дуги на распределения температуры и плотности электрического тока в прианодной плазме, а также на распределенные и интегральные характеристики ее теплового воздействия на поверхность испаряющегося анода. Библиогр. 18, рис. 12.

Ключевые слова: электрическая дуга, тугоплавкий катод, испаряющийся анод, столб дуги, анодная область, многокомпонентная плазма, металлический пар, диффузия, математическое моделирование

Плазма электрической дуги при сварке неплавящимся электродом в инертном газе, как правило, является многокомпонентной, поскольку в ней, наряду с частицами защитного газа, присутствуют атомы и ионы металлического пара, поступающего в дуговой промежуток за счет испарения металла анода с поверхности сварочной ванны. Наличие в дуговой плазме инертного газа даже небольшого количества металлической компоненты существенно влияет на ее ионизационный состав, термодинамические, транспортные и оптические свойства. Это приводит к значительному отличию тепловых, электромагнитных и газодинамических характеристик плазмы в прианодной зоне столба дуги при сварке неплавящимся электродом от соответствующих характеристик дугового разряда с тугоплавким катодом и неиспаряющимся, например, водоохлаждаемым анодом. Отличаются также и характеристики анодной области сварочной дуги, определяющие условия теплового и электромагнитного взаимодействия дуги со свариваемым металлом и, как следствие, характер его проплавления [1].

В первых публикациях, посвященных математическому моделированию процессов тепло-, массо- и электропереноса в дугах с тугоплавким катодом [2–10], дуговая плазма предполагалась однокомпонентной, т.е. содержащей атомы и ионы только защитного газа. Такая идеализация не отражала условий горения реальных сварочных дуг

и требовала дальнейшего совершенствования математических моделей дуги с целью учета ряда дополнительных физических факторов, связанных с многокомпонентностью дуговой плазмы. Публикации, посвященные учету испарения материала анода при моделировании сварочной дуги с неплавящимся электродом, появились в мировой научно-технической литературе сравнительно недавно [11–13]. Однако в этих работах, при описании диффузии ионизированного металлического пара в дуговой плазме, не делается различие между атомами и ионами пара, имеющими коэффициенты диффузии, существенно отличающиеся по величине [1]. В комплексной математической модели сварочной дуги с неплавящимся катодом, предложенной в работе [14], была предпринята попытка учесть различие указанных коэффициентов, однако при записи уравнения конвективной диффузии испаренного металла анода в плазме столба дуги не учитывалась термодиффузия атомов и ионов металлического пара, а также дрейф ионов металла в электрическом поле. Поэтому целью настоящей работы является совершенствование модели конвективной диффузии металлического пара в дуговой плазме и проведение на основе уточненной комплексной математической модели [14] численного анализа характеристик многокомпонентной плазмы столба и анодной области стационарной электрической дуги с тугоплавким катодом (W) и испаряющимся анодом (Fe) при ее горении в инертном газе (Ar).

© И. В. Крикент, И. В. Кривцун, В. Ф. Демченко, 2014



Уравнение переноса металлического пара в дуговой плазме. Специфической особенностью диффузии металлического пара в дуговой плазме является то, что испаренные с расплавленной поверхности анода атомы металла могут ионизироваться, образуя одно- и двухзарядные ионы, коэффициенты диффузии которых существенно отличаются от соответствующих коэффициентов для нейтральных частиц. Кроме того, процессы ионизации и рекомбинации частиц в плазме столба дуги протекают значительно быстрее, чем процессы переноса вещества и тепловой энергии [15, 16]. Поэтому будем считать, что концентрации всех частиц многокомпонентной плазмы столба рассматриваемой дуги (электроны, атомы и однозарядные ионы аргона, атомы, одно- и двухзарядные ионы железа) отличаются от равновесных значений, определяемых принципом детального равновесия, весьма незначительно. Будем также предполагать, что плазма столба дуги находится в состоянии локального термодинамического равновесия при температуре электронов, равной температуре тяжелых частиц (однотемпературная модель).

В общем случае уравнения диффузии для атомов, одно- и двухзарядных ионов металла в плазме инертного газа можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial n_{m0}}{\partial t} = -\operatorname{div}(n_{m0} \bar{w}_{m0}) - \dot{n}_{m0}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_{m1}}{\partial t} = -\operatorname{div}(n_{m1} \bar{w}_{m1}) - \dot{n}_{m1} + \dot{n}_{m0}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial n_{m2}}{\partial t} = -\operatorname{div}(n_{m2} \bar{w}_{m2}) + \dot{n}_{m1}, \quad (3)$$

где \dot{n}_{mZ} ($Z = 0, 1$) — скорости реакций первой и второй ионизации; n_{m0} , n_{m1} , n_{m2} — концентрации атомов, одно- и двухзарядных ионов металла; \bar{w}_{m0} , \bar{w}_{m1} , \bar{w}_{m2} — скорости их направленного движения, соответственно.

Представим скорость движения атомов металла \bar{w}_{m0} в виде суммы средней скорости движения частиц плазмы \bar{w}_C и диффузионной скорости нейтральных частиц металла \bar{w}_{D0}

$$\bar{w}_{m0} = \bar{w}_C + \bar{w}_{D0}. \quad (4)$$

Если атомные массы всех компонент плазмы одинаковы, то средняя скорость движения частиц совпадает со среднemasовой (газодинамической) скоростью движения плазмы \bar{W} . В противном случае величину \bar{w}_C можно определить из следующего балансного соотношения:

$$\rho \bar{W} = \rho \bar{w}_C + M_m \bar{Y}_{m0} + \bar{M}_{m0} \bar{Y}_{m0}, \quad (5)$$

где ρ — плотность плазмы; \bar{Y}_{m0} — плотность диффузионного потока атомов металла; M_m — масса

атома металла; \bar{Y}_{m0} , \bar{M}_{m0} — соответственно плотность диффузионного потока и среднестатистическая масса частиц, замещающих атомы металла.

Поскольку диффузионные процессы не оказывают существенного влияния на распределение давления в дуговой плазме, можно полагать, что оно определяется в основном газодинамическими факторами. Для рассматриваемой здесь стационарной свободногорящей дуги давление в ее столбе лишь незначительно отличается от атмосферного [17]. Поэтому диффузию металлического пара в такой дуге можно с высокой степенью точности рассматривать как процесс, протекающий при постоянном (атмосферном) давлении. В этом случае результатом диффузии является обмен местами частиц, образующих плазму. Отсюда следует, что удельные диффузионные потоки \bar{Y}_{m0} и $\bar{Y}_{m0}^{\text{м0}}$ взаимно компенсируются, т. е. выполняется условие $\bar{Y}_{m0} = -\bar{Y}_{m0}^{\text{м0}}$. Тогда из уравнения (5) получаем выражение для определения средней скорости движения частиц

$$\bar{w}_C = \bar{W} - \frac{M_m - \bar{M}_{m0}}{\rho} \bar{Y}_{m0}. \quad (6)$$

Среднестатистическую массу частиц, замещающих атомы металла, можно приближенно вычислять по формуле

$$\bar{M}_{m0} = \frac{\rho - M_m n_{m0}}{n_0 - n_{m0}},$$

где $n_0 = p_0/kT$ — суммарная концентрация частиц в плазме столба дуги, предполагаемой изотермической; p_0 — атмосферное давление; T — температура плазмы; k — постоянная Больцмана. В рамках описанного выше подхода сумма удельных массовых потоков атомов металла и других частиц, образующих плазму, равна общей плотности массового потока плазмы. Это свидетельствует о согласованном описании газодинамических и диффузионных процессов.

Диффузионная скорость атомов металла \bar{w}_{D0} связана с их концентрацией n_{m0} и плотностью диффузионного потока \bar{Y}_{m0} следующим образом:

$$\bar{w}_{D0} = \frac{\bar{Y}_{m0}}{n_{m0}},$$

где величина \bar{Y}_{m0} в простейшем случае может быть определена с помощью соотношения [1]

$$\bar{Y}_{m0} = -\frac{D_0}{T} \operatorname{grad}(n_{m0} T), \quad (7)$$

где D_0 — коэффициент диффузии атомов металла в плазме.

Подставляя (4), (6), (7) в уравнение (1), получим

$$\frac{dn_{m0}}{dt} = \operatorname{div} \left[G_0 \operatorname{grad}(n_{m0} T) \right] - n_{m0} \operatorname{div} \bar{W} - \dot{n}_{m0}, \quad (8)$$



где dn_{m0}/dt — субстанциональная производная;

$$G_0 = \frac{D_0}{T} \left(1 - n_{m0} \frac{M_m - \bar{M}_{m0}}{\rho} \right).$$

Выполним аналогичные преобразования с уравнениями (2), (3) и дополнительно учтем дрейф заряженных частиц металла (одно- и двухзарядных ионов) в электрическом поле. В результате получим

$$\frac{dn_{m1}}{dt} = \text{div} \left[G_1 \text{grad}(n_{m1} T) + b_1 n_{m1} \text{grad}\phi \right] - n_{m1} \text{div} \vec{W} - \dot{n}_{m1} + \dot{n}_{m0}, \quad (9)$$

$$\frac{dn_{m2}}{dt} = \text{div} \left[G_2 \text{grad}(n_{m2} T) + b_2 n_{m2} \text{grad}\phi \right] - n_{m2} \text{div} \vec{W} + \dot{n}_{m1}. \quad (10)$$

Здесь $G_Z = \frac{D_Z}{T} \left(1 - n_{mZ} \frac{M_m - \bar{M}_{mZ}}{\rho} \right)$; D_Z — коэффициенты диффузии ионов металла с зарядовым числом Z ($Z = 1, 2$);

$\bar{M}_{mZ} = \frac{\rho - M_m n_{mZ}}{n_0 - n_{mZ}}$; $b_Z = \frac{eZ}{k} G_Z$ — подвижности ионов металла в электрическом поле; e — заряд электрона; ϕ — скалярный потенциал электрического поля в столбе дуги.

Суммируя уравнения (8)–(10), получим уравнение переноса металлических частиц в дуговой плазме

$$\begin{aligned} \frac{dn_m}{dt} = \text{div} \left[G_0 \text{grad}(n_m T) + \right. \\ \left. + (G_1 - G_0) \text{grad}(n_{m1} T) + (G_2 - G_0) \text{grad}(n_{m2} T) + \right. \\ \left. + (b_1 n_{m1} + b_2 n_{m2}) \text{grad}\phi \right] - n_m \text{div} \vec{W}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $n_m = n_{m0} + n_{m1} + n_{m2}$ — суммарная концентрация тяжелых частиц металлического пара.

Выразим концентрации ионов металла n_{mZ} ($Z = 1, 2$) через суммарную концентрацию металлических частиц в плазме: $n_{mZ} = K_Z n_m$, где коэффициенты K_Z соответствуют первой ($Z = 1$) и второй ($Z = 2$) ионизации атомов металла. Учитывая допущение о локальном термодинамическом равновесии плазмы столба дуги, коэффициенты K_Z могут быть определены для равновесной плазмы заданного состава и температуры.

Вводя обозначения $\bar{G}_1 = G_1 - G_0$; $\bar{G}_2 = G_2 - G_0$, перепишем уравнение (11) относительно суммарной концентрации частиц металла в плазме:

$$\begin{aligned} \frac{dn_m}{dt} + n_m \text{div} \vec{W} = \text{div} \left[G_0 \text{grad}(n_m T) + \right. \\ \left. + \bar{G}_1 \text{grad}(K_1 n_m T) + \bar{G}_2 \text{grad}(K_2 n_m T) \right] + \\ + \text{div} \left[(b_1 K_1 + b_2 K_2) n_m \text{grad}\phi \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнение (12) описывает следующие виды переноса тяжелых частиц металлического пара в дуговой плазме: конвективный перенос, концентрационную диффузию, термодиффузию, а также дрейф ионов пара в электрическом поле. Зная решение этого уравнения, n_m , и учитывая принятое допущение о локальном термодинамическом равновесии плазмы столба дуги, ее ионизационный состав может быть определен с помощью соответствующей системы уравнений Саха, закона парциальных давлений и условия квазинейтральности плазмы [14]. Рассчитанные таким образом концентрации частиц многокомпонентной плазмы столба дуги могут быть использованы для вычисления ее термодинамических и транспортных свойств [18], входящих в уравнения комплексной модели [14].

Сформулируем граничные условия для уравнения диффузии (12). Предполагая, что столб дуги характеризуется осевой симметрией, введем цилиндрическую систему координат (r, z) и рассмотрим расчетную область $\Omega = \{0 < r < R, 0 < z < L\}$, показанную на рис. 1.

Учитывая направление движения защитного газа и плазмы в прикатодной зоне столба дуги [17], будем считать, что частицы испаренного металла анода не достигают плоскости $z = 0$ (см. рис. 1), т. е. на верхней границе расчетной области положим

$$n_m \Big|_{z=0} = 0. \quad (13)$$

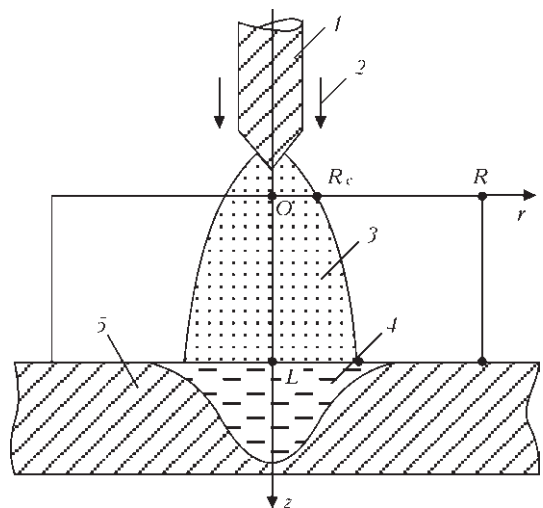


Рис. 1. Схема к математическому описанию дуговой плазмы: 1 — тугоплавкий катод; 2 — защитный газ; 3 — плазма столба дуги; 4 — расплавленный (испаряющийся) металл; 5 — анод



На оси дуги (при $r = 0$) примем условия симметрии

$$\left. \frac{\partial n_m}{\partial r} \right|_{r=0} = 0. \quad (14)$$

На внешней границе расчетной области (при $r = R$) зададим «мягкие» граничные условия:

$$\begin{aligned} n_m \Big|_{r=R} &= 0 \quad \text{при } W_r(R, z) \leq 0; \\ \left. \frac{dn_m}{dt} \right|_{r=R} &= 0 \quad \text{при } W_r(R, z) > 0, \end{aligned} \quad (15)$$

где $W_r(r, z)$ — радиальная компонента вектора среднemasсовой скорости плазмы.

На границе многокомпонентной плазмы столба дуги с анодным слоем (при $z = L$) граничное условие можем записать в виде

$$n_m \Big|_{z=L} = n_{m0}^L(r) + n_{m1}^L(r) + n_{m2}^L(r), \quad (16)$$

где $n_{mZ}^L(r) = n_{mZ}(r, L)$ — соответствующие распределения концентраций частиц металлического пара, находящихся в зарядовом состоянии Z , которые могут быть определены согласно модели анодной области дуги с испаряющимся анодом [14] в зависимости от локальных значений температуры прианодной плазмы и температуры поверхности анода, режима его испарения, а также рода защитного газа. Ограничиваясь в дальнейшем рассмотрением диффузионного режима испарения, с достаточной точностью можно считать, что локальные значения парциального давления атомов и ионов металлической компоненты плазмы p_m на указанной границе равны давлению насыщенного пара металла анода при соответствующем значении температуры его поверхности T_a :

$$p_m \Big|_{z=L} = p_0 \exp \left\{ \frac{\lambda_v}{k} \left[\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_a(r)} \right] \right\}, \quad (17)$$

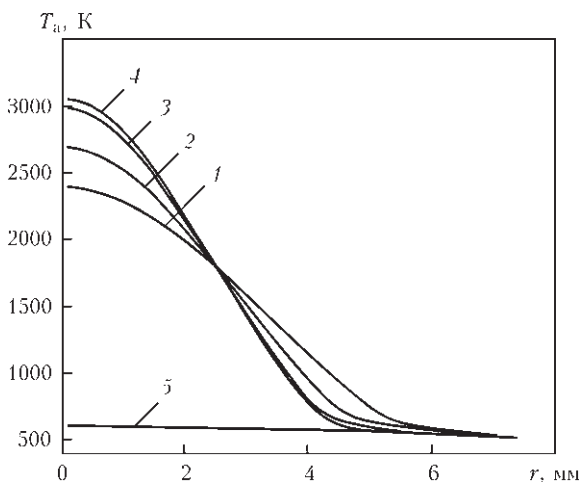


Рис. 2. Распределения температуры поверхности анода в области анодной привязки дуги: 1 — $T_{a0} = 2400$ К; 2 — 2700; 3 — 3000; 4 — 3065; 5 — водоохлаждаемый (неиспаряющийся) анод

где λ_v — энергия, затрачиваемая на переход одной частицы металла из жидкой фазы в паровую; T_B — температура кипения металла анода.

Модель конвективной диффузии ионизированного металлического пара (12)–(17) является составной частью комплексной модели процессов переноса энергии, импульса, массы и заряда в многокомпонентной плазме столба и анодной области электрической дуги при сварке неплавящимся электродом в инертном газе [14]. Для численного моделирования тепловых, газодинамических и электромагнитных процессов в такой плазме будем использовать уравнения однотемпературной модели [17]. При учете испарения металла анода на границе конденсированной фазы с дуговой плазмой существует диффузионный поток металлического пара, вследствие чего аксиальная компонента вектора скорости плазмы на этой границе не равна нулю (в отличие от условия «прилипания», используемого в [17] для случая водоохлаждаемого анода). Принимая во внимание тот факт, что атомы и ионы защитного газа, являющегося инертным, не могут накапливаться на поверхности анода, результирующий поток тяжелых частиц газа вблизи поверхности анода можно считать равным нулю. Тогда, с учетом диффузионного и конвективного механизмов переноса частиц металлического пара, граничное условие для аксиальной компоненты вектора среднemasсовой скорости плазмы на границе столба дуги с анодной областью (при $z = L$) может быть записано в виде

$$W_z \Big|_{z=L} = \frac{M_m \left[Y_{m0z}^L(r) + Y_{m1z}^L(r) + Y_{m2z}^L(r) \right]}{\rho(r, L) - M_m \left[n_{m0}^L(r) + n_{m1}^L(r) + n_{m2}^L(r) \right]}. \quad (18)$$

Здесь $Y_{mZz}^L(r)$ — соответствующие распределения аксиальных компонент плотностей диффузионных потоков атомов и ионов металла, находящихся в зарядовом состоянии Z .

Результаты моделирования и их обсуждение. Для численного исследования влияния диффузионного испарения металла анода на процессы энерго-, массо- и электропереноса в анодной области и столбе рассматриваемой дуги зададим распределение температуры поверхности анода по нормально-круговому закону $T_a(r) = (T_{a0} - T_\infty) \exp(-a^2 r^2) + T_\infty$, где T_{a0} — температура на оси области анодной привязки дуги; T_∞ — температура поверхности металла вдали от указанной области. При этом коэффициент сосредоточенности a будем выбирать таким образом, чтобы диаметр расплавленной зоны на поверхности анода составлял 5 мм. Характерные профили распределения $T_a(r)$ при $T_\infty = 500$ К показаны на рис. 2.



Численное моделирование характеристик многокомпонентной плазмы столба и анодной области электрической дуги с вольфрамовым катодом и испаряющимся анодом из низкоуглеродистой стали проводили при следующих параметрах: длина дуги $L = 2,9$ мм; ток дуги $I = 200$ А; защитный газ аргон, испаряющийся элемент железо. Необходимые для решения нестационарной задачи [17], совместно с уравнением (12), начальные распределения характеристик плазмы столба дуги задавали так, как описано в работе [17]; начальная концентрация металлического пара в дуговом промежутке полагалась равной нулю. Расчеты выполняли вплоть до установления стационарного состояния дуговой плазмы.

Введем обозначение $\gamma = n_m / (n_g + n_m)$, где $n_g = n_{g0} + n_{g1}$ — суммарная концентрация тяжелых частиц (атомов и ионов) защитного газа, и рассмотрим распределение доли тяжелых частиц металла γ в плазме столба дуги для двух вариантов распределения температуры поверхности испаряющегося анода, которые соответствуют $T_{a0} = 2600$ К (рис. 3, а) и $T_{a0} = 3065$ К (рис. 3, б). При температуре расплавленного металла анода $2500 \dots 2600$ К над его поверхностью появляются частицы испаренного металла, содержание которых достигает 10 % (см. рис. 3, а). При увеличении температуры в центре области анодной привязки дуги выше 3000 К массовый поток пара с поверхности анода в столб дуги возрастает, вследствие чего появляется область дуговой плазмы с высоким (до 80 %) содержанием металлического пара (рис. 3, б).

Поле концентрации частиц испаренного металла n_m в прианодной плазме формируется в результате взаимодействия следующих четырех факторов: диффузионного и конвективного переноса металлических частиц от поверхности анода в столб дуги; набегающего на анод потока дуговой плазмы с малым содержанием металлического пара; переноса частиц металла в сторону анода за счет термодиффузии; дрейфа заряженных частиц (одно- и двухзарядных ионов) металла в электрическом поле. Распределение доли тяжелых частиц железа в рассматриваемой дуговой плазме, представленное на рис. 3, является результатом конкурирующего взаимодействия указанных четырех механизмов переноса. При этом можно выделить две характерные особенности распределения частиц испаренного металла в прианодной плазме. С одной стороны, конвективный поток плазмы из прикатодной области столба, практически не содержащей металлического пара, стремится вы-

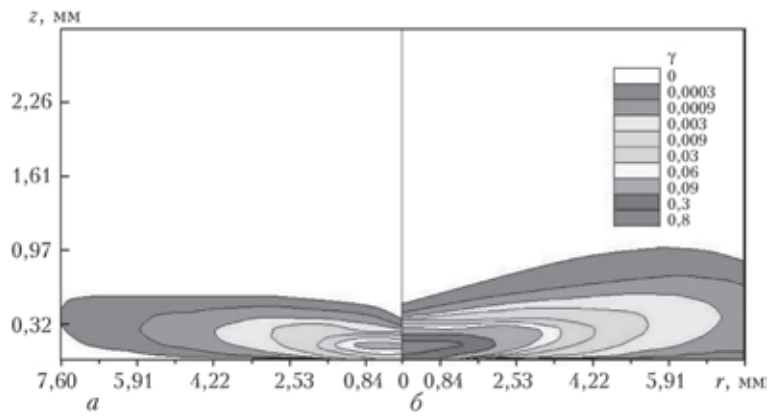


Рис. 3. Распределение доли тяжелых частиц железа в прианодной области плазмы столба дуги: а — $T_{a0} = 2600$ К; б — 3065

теснить пары металла из зоны испарения в радиальном направлении. Вследствие этого ширина приповерхностного слоя плазмы, содержащего заметное количество металлического пара ($\gamma > 3\%$), оказывается в 1,5...2,0 раза больше радиуса расплавленной зоны на поверхности анода, а толщина этого слоя составляет 0,3...0,5 мм. Поскольку толщина области, занятой паром, незначительна по сравнению с длиной дуги, влияние испаренного металла в рассматриваемом случае ограничивается только прианодной областью дуги и практически не сказывается на процессах тепло-, массо- и электропереноса в ее столбе. В то же время область прианодной плазмы, наиболее обогащенная парами железа, оказывается «оторванной» от поверхности анода. Этот эффект можно объяснить следующим образом. Ионизационный состав металлического пара, который поступает в прианодную зону столба дуги и далее транспортируется в область с более высокой температурой плазмы, претерпевает изменения за счет интенсивной ионизации атомов металла. Вместе с тем из-за малой диффузионной подвижности ионов металла происходит их накопление в указанной области, что и обуславливает появление зоны с максимальным содержанием металлического пара, локализованной на некотором расстоянии от поверхности анода.

Наибольшее влияние диффузионное испарение металла анода оказывает на характеристики анодной области рассматриваемой дуги, такие как доля частиц железа в прианодной плазме $\gamma_a(r) = \gamma(r, L)$ и ее температура $T_{pa}(r) = T(r, L)$, плотность электрического тока $j_a(r)$ и плотность теплового потока $q_a(r)$ на поверхности анода. Рассмотрим влияние температуры поверхности испаряющегося анода на распределения указанных характеристик в области анодной привязки дуги. На рис. 4–7 приведены результаты расчетов γ_a , T_{pa} , j_a и q_a для различного теплового состояния поверхности анода.

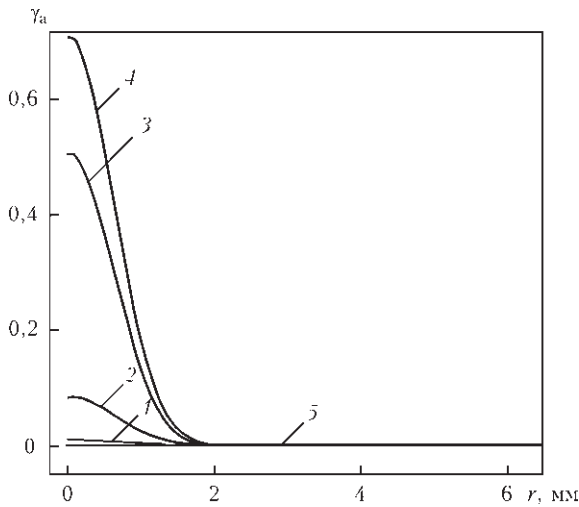


Рис. 4. Радиальные распределения доли тяжелых частиц железа в многокомпонентной прианодной плазме (обозначения кривых 1–5 такие же, как на рис. 2)

Максимальное содержание металлического пара достигается на оси прианодного слоя плазмы, увеличиваясь с ростом температуры поверхности анода в центре области анодной привязки дуги (см. рис. 4). При этом максимальное значение среднемассовой скорости движения пара $|W_z(0, L)|$ вблизи поверхности анода также возрастает при увеличении указанной температуры. Так, например, при $T_{a0} = 3065 \text{ К}$ эта скорость может достигать величины более 10 м/с. Такой интенсивный поток относительно холодного пара, движущийся от поверхности анода в столб дуги, вызывает локальное захлаживание прианодной плазмы. Этот эффект проявляется в той части анодной области, которая расположена над наиболее нагретой зоной поверхности расплавленного металла анода, и тем сильнее, чем выше температура поверхности в этой зоне (см. рис. 5).

Несмотря на то, что повышение с ростом T_{a0} концентрации легкоионизируемого (по сравнению с аргоном) металлического пара в многоком-

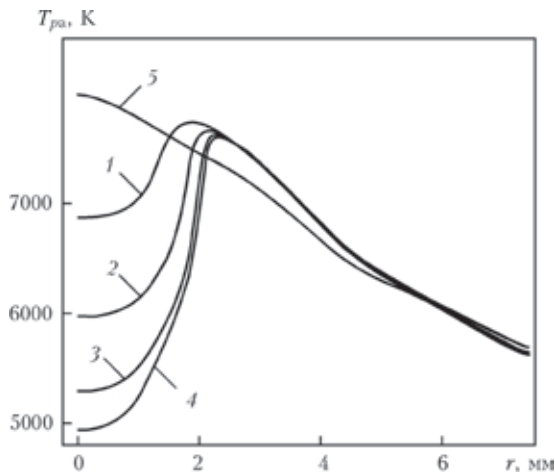


Рис. 5. Радиальные распределения температуры плазмы столба дуги на границе с анодной областью (обозначения кривых 1–5 такие же, как на рис. 2)

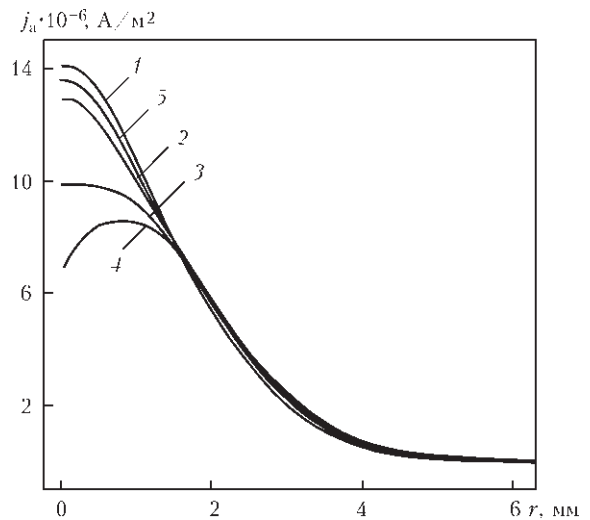


Рис. 6. Радиальные распределения плотности электрического тока на поверхности анода (обозначения кривых 1–5 такие же, как на рис. 2)

понентной прианодной плазмы должно приводить к увеличению ее электропроводности σ , отмеченный выше эффект локального захлаживания прианодной плазмы потоком пара играет более существенную роль, приводя к уменьшению σ и, соответственно, плотности электрического тока в приосевой зоне области анодной привязки дуги (рис. 6).

Аналогичным образом ведет себя и плотность теплового потока, вводимого дугой в испаряющийся анод (рис. 7). Значительное снижение величины q_a при высоких значениях температуры поверхности металла анода связано с уменьшением конвективного потока энергии из столба дуги в результате соответствующего изменения газодинамической и электромагнитной обстановки в прианодной области дуговой плазмы, а также с уменьшением потока тепла, переносимого к аноду заряженными частицами, за счет соответствующего уменьшения j_a (рис. 6).

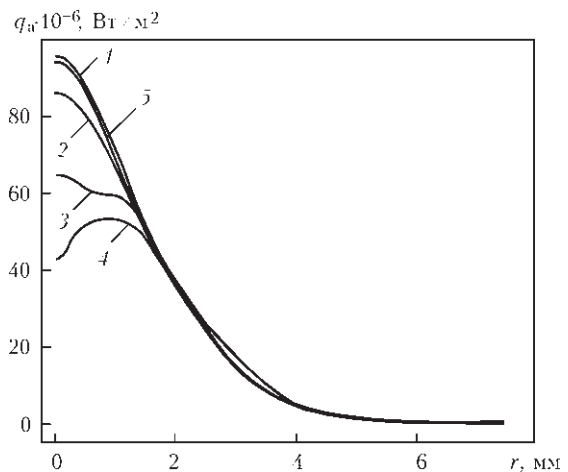


Рис. 7. Радиальные распределения плотности теплового потока, вводимого дугой в анод (обозначения кривых 1–5 такие же, как на рис. 2)

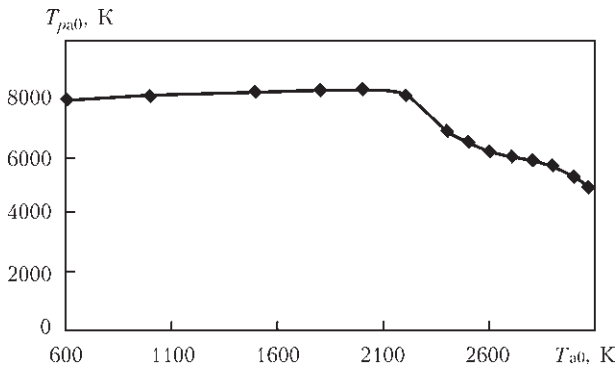


Рис. 8. Зависимость осевого значения температуры дуговой плазмы на границе анодной области от температуры поверхности анода в центре области анодной привязки дуги

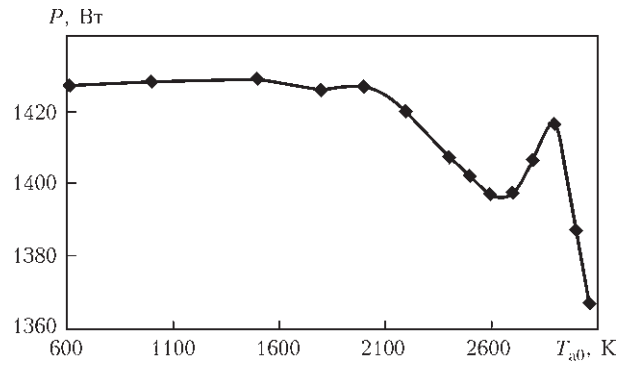


Рис. 11. Зависимость тепловой мощности, вкладываемой дугой в анод, от температуры поверхности анода в центре области анодной привязки дуги

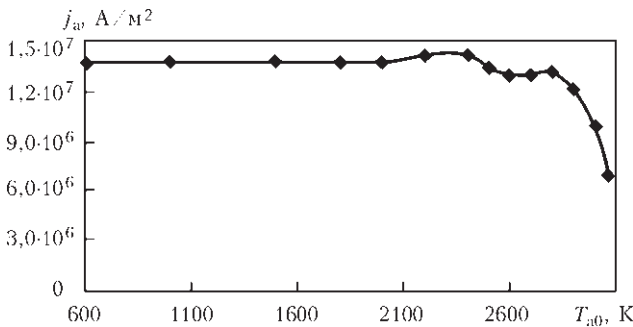


Рис. 9. Зависимость осевого значения плотности электрического тока на аноде от температуры его поверхности в центре области анодной привязки дуги

Проанализируем теперь зависимости осевых значений рассматриваемых характеристик от температуры поверхности анода в центре области анодной привязки дуги. Изменение $T_{pa0} = T(0, L)$, $j_{a0} = j_a(0, L)$ и $q_{a0} = q_a(0, L)$ с ростом T_{a0} показано на рис. 8–10. Исследуемый в настоящей работе диапазон варьирования максимальной температуры поверхности расплавленного металла анода можно условно разбить на два интервала: $T_{a0} < 2400$ К — соответствует неиспаряющемуся аноду; 2400 К $< T_{a0} < 3100$ К — соответствует диффузионному режиму испарения металла анода. В первом диапазоне температур все характеристики анодной области дуги слабо зависят от T_{a0} , тогда как во втором происходит существенное уменьшение T_{pa0} . Что касается j_{a0} и q_{a0} , то они ведут себя немонотонно (см. рис. 9, 10). Наблюдающее-

ся вначале уменьшение плотности электрического тока и плотности теплового потока в анод на оси области анодной привязки дуги сменяется некоторым их увеличением, так, что при $T_{a0} \approx 2800$ К эти величины достигают своих локальных максимумов. Дальнейшее их снижение происходит тем быстрее, чем более интенсивно испаряется металл анода. Отмеченная особенность наиболее заметно проявляется в поведении такой интегральной характеристики теплового взаимодействия дуговой плазмы с металлом анода, как полная тепловая мощность P , вкладываемая дугой (рис. 11).

Зависимость плотности тепловых потерь металла анода на испарение в приосевой зоне области анодной привязки дуги q_{v0} от температуры его поверхности в этой зоне показана на рис. 12. Как следует из расчетных данных, приведенных на данном рисунке, при увеличении T_{a0} до 3000 К указанная величина может составлять около 25 % соответствующего значения теплового потока, вводимого в испаряющийся анод дуговой плазмой (ср. рис. 10, 12) и должна учитываться при определении энергетического баланса его поверхности.

В целом, проведенный в настоящей работе численный анализ влияния диффузионного испарения металла анода на характеристики столба и

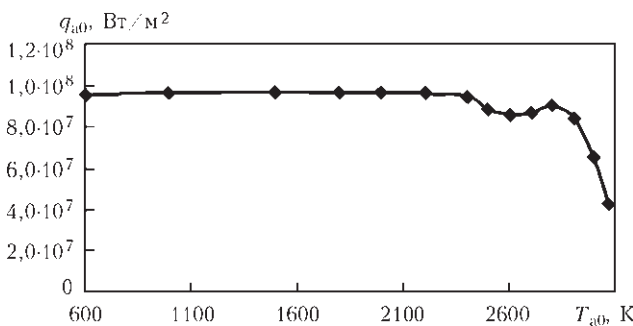


Рис. 10. Зависимость осевого значения плотности теплового потока в анод от температуры его поверхности в центре области анодной привязки дуги

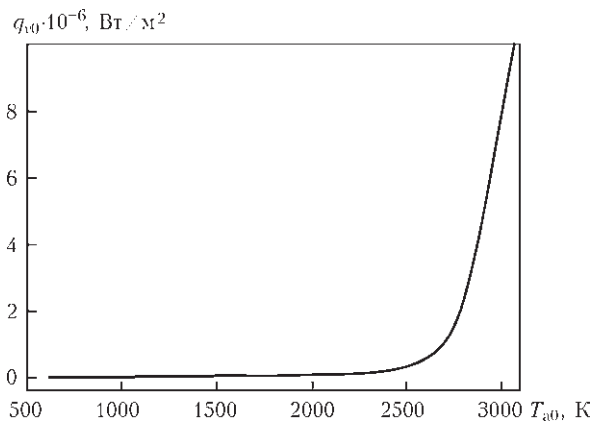


Рис. 12. Зависимость осевого значения плотности потерь энергии на испарение металла анода от температуры его поверхности в центре области анодной привязки дуги



анодной области дуги с тугоплавким катодом, горящей в инертном газе, позволяет сделать следующие выводы:

1. В случае дуговой сварки неплавящимся электродом в инертном газе влияние испаренного материала анода на характеристики плазмы столба дуги проявляется только в тонком (до 0,5 мм) слое, примыкающем к анодной области. Что касается характеристик дуговой плазмы в остальной части столба, то они практически не изменяются по сравнению с дугой, горящей на водоохлаждаемый (неиспаряющийся) анод.

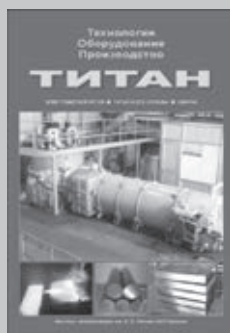
2. Испарение свариваемого металла приводит к существенной перестройке пространственных распределений характеристик плазмы анодной области сварочной дуги с неплавящимся электродом, а также характеристик ее теплового и электромагнитного взаимодействия с поверхностью сварочной ванны. В частности, с ростом температуры поверхности расплава в центре области анодной привязки дуги снижается плотность теплового потока, вводимого дугой в свариваемое изделие и плотность электрического тока на его поверхности. Вместе с потерями энергии расплавленного металла на испарение это приводит к уменьшению эффективности дугового нагрева свариваемого металла.

1. *Murphy Anthony B.* The effects of metal vapour in arc welding // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2010. – **43**. – 434001 (31 p.).
2. *Hsu K. C., Etemadi K., Pfender E.* Study of the free-burning high-intensity argon arc // *J. of Appl. Phys.* – 1983. – **54**, № 3. – P. 1293–1301.
3. *Hsu K. C., Pfender E.* Two-temperature modeling of the free-burning high-intensity arc // *Ibid.* – 1983. – **54**, № 8. – P. 4359–4366.
4. *Низкотемпературная плазма* / В. С. Энгельшт, В. Ц. Гурович, Г. А. Десятков и др. – Новосибирск: Наука, 1990. – Т. 1. Теория столба электрической дуги. – 376 с.

5. *Prediction of anode temperatures of free burning arcs* / P. Zhu, J. J. Lowke, R. Morrow et al. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 1995. – **28**. – P. 1369–1376.
6. *Jenista J., Heberlein J. V. R., Pfender E.* Numerical model of the anode region of high-current electric arcs // *IEEE Trans. on Plasma Science.* – 1997. – **25**, № 5. – P. 883–890.
7. *Lowke J. J., Morrow R., Haidar J.* A simplified unified theory of arcs and their electrodes // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 1997. – **30**. – P. 2033–2042.
8. *Haidar J.* Non-equilibrium modeling of transferred arcs // *Ibid.* – 1999. – **32**. – P. 263–272.
9. *Sansonnets L., Haidar J., Lowke J. J.* Prediction of properties of free burning arcs including effects of ambipolar diffusion // *Ibid.* – 2000. – **33**. – P. 148–157.
10. *Computational simulation of arc melting process with complex interactions* / H. Nishiyama, T. Sawada, H. Takana et al. // *ISIJ International.* – 2006. – **46**, № 5. – P. 705–711.
11. *A numerical modeling of an electric arc and its interaction with the anode: Part I. The two-dimensional model* / F. Lago, J. J. Gonzalez, P. Freton et al. // *Ibid.* – 2004. – **37**. – P. 883–897.
12. *Metal vapour behaviour in gas tungsten arc thermal plasma during welding* / M. Tanaka, K. Yamamoto, S. Tashiro et al. // *Welding in the World.* – 2008. – **52**, № 11/12. – P. 82–88.
13. *Plasma-weld pool interaction in tungsten inert-gas configuration* / J. Mougnot, J. J. Gonzalez, P. Freton et al. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2013. – **46**. – 135–206.
14. *Кривцун И. В., Демченко В. Ф., Крикент И. В.* Модель процессов тепло-, массо- и электропереноса в анодной области и столбе сварочной дуги с тугоплавким катодом // *Автомат. сварка.* – 2010. – № 6. – С. 3–11.
15. *Almeida R. M. S., Benilov M. S., Naidis G. V.* Simulation of the layer of non-equilibrium ionization in a high-pressure argon plasma with multiply-charged ions // *J. of Physics D: Applied Physics.* – 2000. – **33**, Issue 8. – С. 960–967.
16. *Кривцун И. В., Крикент И. В., Демченко В. Ф.* Моделирование динамических характеристик импульсной дуги с тугоплавким катодом // *Автомат. сварка.* – 2013. – № 7. – С. 14–25.
17. *Кривцун И. В., Кривцун И. В., Демченко В. Ф.* Моделирование процессов тепло-, массо- и электропереноса в столбе и анодной области дуги с тугоплавким катодом // *Там же.* – 2012. – № 3. – С. 7–11.
18. *On the application of the theory of Lorentzian plasma to calculation of transport properties of multicomponent arc plasmas* / I. V. Krivtsun, P. Porytsky, V. Demchenko et al. // *European Physical Journal D.* – 2010. – **57**. – P. 77–85.

Поступила в редакцию 17.04.2014

ТИТАН. ТЕХНОЛОГИИ. ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОИЗВОДСТВО. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2014. — 270 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.



Сборник включает 54 статьи, опубликованные в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» за период 2011–2013 гг., по электрометаллургии и сварке титана и его сплавов. Тематика статей посвящена созданию новых технологических процессов и оборудования для производства и сварки титана. Представлены обзоры по дисперсионному упрочнению титановых сплавов и по сварке сплавов алюминидов титана. Сборник предназначен для инженеров, технологов, конструкторов, занятых в машиностроении, энергетике, строительстве, судостроении, металлургии и других отраслях промышленного производства, связанных с обработкой и потреблением титана; полезен также преподавателям и студентам высших учебных заведений.



УДК 621.791.92.042

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА И ПРОПЛАВЛЕНИЕ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА

Ю. Н. ЛАНКИН, И. А. РЯБЦЕВ, В. Г. СОЛОВЬЕВ, Я. П. ЧЕРНЯК, В. А. ЖДАНОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Исследовано влияние электрических параметров дуговой наплавки самозащитными порошковыми проволоками на стабильность процесса и проплавление основного металла. Эксперименты проводили с компьютерной записью электрических параметров наплавки. По результатам обработки осциллограмм построены диаграммы распределения $I_{св}$ и $U_{св}$, на которых выделены области стабильного протекания процесса наплавки, коротких замыканий и обрывов дуги. Из полученных фактических параметров дуговой наплавки порошковой проволокой выведен коэффициент нестабильности процесса γ . Установлено, что наибольшее влияние на показатели стабильности оказывает напряжение, с повышением которого стабильность процесса возрастает. Исследовано влияние режимов наплавки на проплавление и долю основного металла в наплавленном металле. По результатам оценки построена трехмерная диаграмма, на которой выделена область оптимальных режимов, обеспечивающих достаточную стабильность процесса при минимальном проплавлении и хорошем формировании наплавленных валиков. Библиогр. 4, табл. 2, рис. 7.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая проволока, стабильность процесса наплавки, коэффициент нестабильности, проплавление основного металла, доля основного металла

При дуговой многослойной наплавке необходимый состав наплавленного металла вследствие перемешивания его с основным металлом удается получить только в третьем или четвертом слое [1]. Если необходима механическая обработка детали после наплавки, то приходится наплавлять как минимум пять слоев. Проблема осложняется еще и тем, что с увеличением толщины наплавленного слоя в нем растут остаточные скалывающие напряжения и одновременно увеличивается вероятность появления в наплавленном слое разного рода дефектов, которые снижают его эксплуатационные свойства, в том числе, усталостную долговечность при циклических нагрузках [2, 3]. Таким образом, одной из важнейших характеристик для наплавки является доля основного металла (ДОМ) в наплавленном, при прочих равных условиях пропорциональная проплавлению основного металла. Уменьшение проплавления основного металла не только сокращает расход дорогостоящих наплавочных материалов, но и улучшает качество и эксплуатационные свойства наплавленных деталей.

Цель настоящей работы — исследование влияния электрических параметров дуговой наплавки порошковыми проволоками, в частности, стабильности этих показателей на характеристики проплавления основного металла.

Материалы и оборудование. Для исследований использовали самозащитную порошко-

вую проволоку ПП-АН130, обеспечивающую получение наплавленного металла типа инструментальной стали 25Х5ФМС. Предварительно была выбрана газшлакообразующая система порошковой проволоки, которая обеспечивала бы наилучшие сварочно-технологические свойства. Для этой цели изготовили четыре самозащитные порошковые проволоки ПП-АН130 диаметром 2 мм с различными системами газшлакообразующих компонентов: $CaO+TiO_2+MgO+CaF_2+Al_2O_3$ (проволока с условным обозначением ПП-АН130-1); $CaO+MgO+CaF_2+Al_2O_3$ (ПП-АН130-2); $CaO+CaF_2+Al_2O_3$ (ПП-АН130-3); $CaO+CaF_2+Al_2O_3$ +крахмал (ПП-АН130-4).

Произведена экспертная оценка (5 экспертов) сварочно-технологических свойств проволок всех четырех типов (характер переноса металла, покрытие шлаком наплавленных валиков, наличие пор). Для этого использовали следующую систему экспертных оценок. Перенос обозначили следующими цифрами: 1 — мелкокапельный; 2 — крупнокапельный; 3 — смешанный; степень покрытия шлаком оценивали в процентах; пористость — по двухбалльной системе: наличие (есть) или отсутствие (нет) пор. Предпочтение отдавали мелкокапельному переносу, 100-процентному покрытию шлаком наплавленных валиков и отсутствию пор в наплавленном металле.

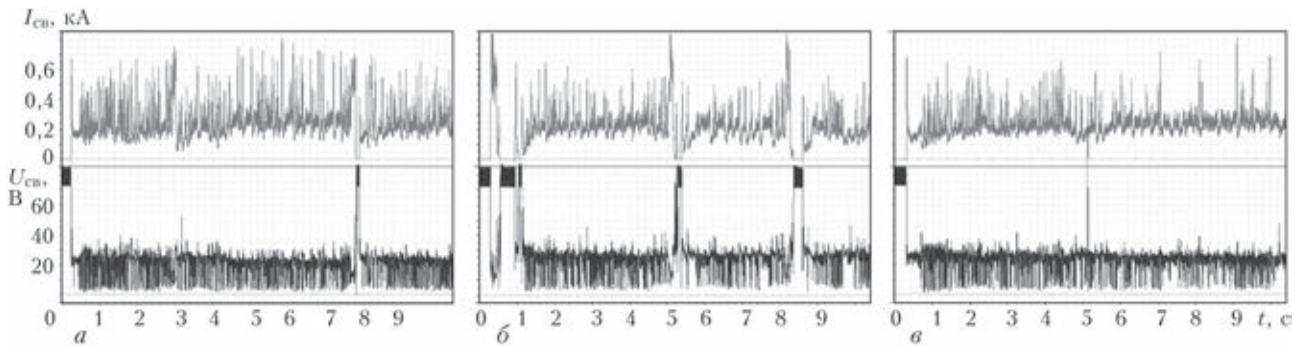


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения при наплавке самозащитной порошковой проволокой ПП-АН130-1 на различных режимах: а-в — соответственно эксперимент № 2, 5, 8 по табл. 2

Наплавку образцов производили на токе 230...250 А и скорости 20 м/ч. Так как решающее влияние на образование пор при наплавке самозащитными порошковыми проволоками оказывает напряжение [4], то его изменяли от 24 В и выше до появления пор в наплавленном металле для каждого типа порошковой проволоки (табл. 1).

Согласно экспертной оценке из четырех порошковых проволок наилучшие сварочно-технологические свойства отмечены у порошковой проволоки ПП-АН130-1, которая и выбрана для дальнейших исследований.

Для экспериментов по наплавке использовали наплавочный автомат АД-231 с выпрямителем ВДУ 506. Наплавку производили на листы из стали Ст.3 толщиной 15 мм. Ток и напряжения наплавки регистрировали с помощью компьютерной информационно-измерительной системы. В качестве первичного измерительного преобразователя сварочного тока использовали измерительный шунт 75ШС-450-05, а напряжения сварки — резисторный делитель 10:1. Оцифровку и ввод данных первичных преобразователей в компьютер осуществляли с помощью измерительного преобразователя напряжения Е14-440 фирмы «Л-Кард» со встроенным 14-разрядным

Таблица 1. Результаты оценки сварочно-технологических свойств порошковых проволок типа ПП-АН130

Условное обозначение порошковой проволоки	Напряжение, В	Покрывание шлаком, %	Наличие пор	Характер переноса, баллы
ПП-АН130-1	24	100	Нет	3
	28	100	-»-	3
	32	100	Есть	2
ПП-АН130-2	24	100	Нет	3
	28	80	Есть	3
	32	60	-»-	2
ПП-АН130-3	24	100	Нет	3
	28	100	-»-	3
	32	80	Есть	2
ПП-АН130-4	24	90	Нет	1
	28	90	-»-	3
	32	90	-»-	3
	34	90	-»-	3
	36	90	Есть	3

16-канальным АЦП с частотой преобразования до 440 кГц. В наших опытах регистрацию параметров осуществляли с частотой 20 кГц, что вполне доста-

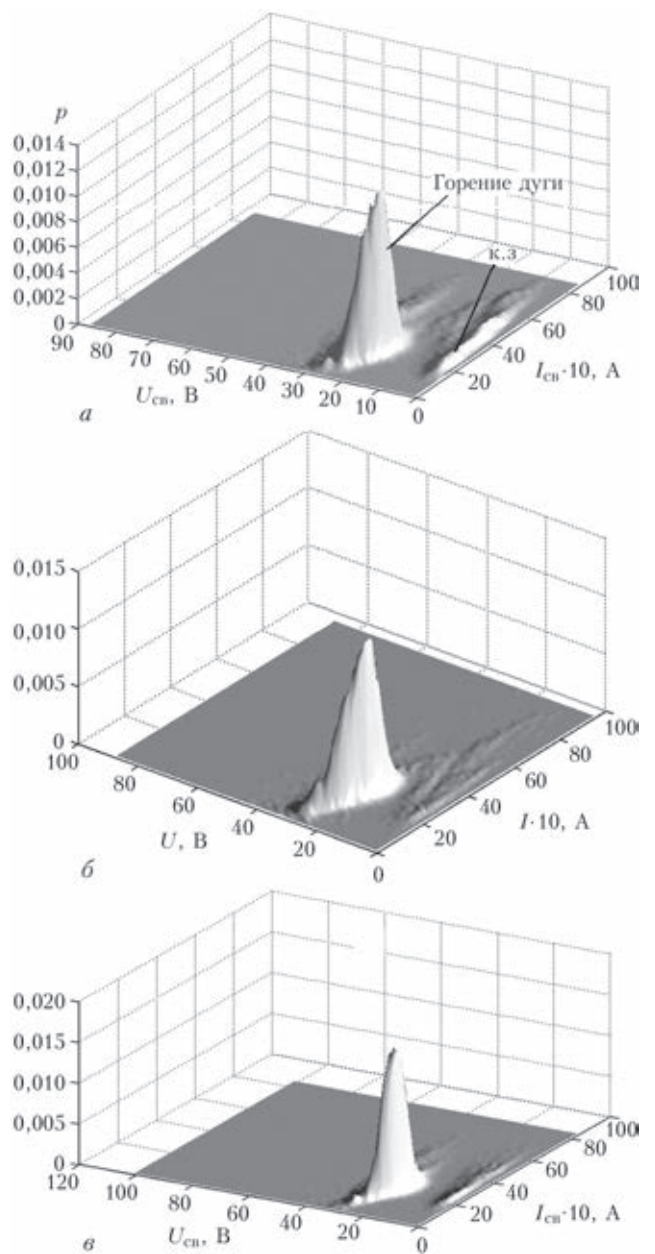


Рис. 2. Распределение совместной плотности вероятности тока наплавки и напряжения дуги, рассчитанные для осциллограмм, представленных на рис. 1



Таблица 2. Параметры процесса дуговой наплавки самозащитной порошковой проволокой ПП-АН130-1

Параметр	Номер эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{св}$, В	22,4	21,8	20,8	23,7	24,8	23,5	25,3	24,4	26
$V(U_{св})$	0,5	0,32	0,68	0,22	0,31	0,19	0,17	0,18	0,11
$I_{св}$, А	188	256,7	293,7	181,9	243,5	288,1	193,5	241,2	277,9
$V(I_{св})$	0,54	0,45	0,69	0,39	0,35	0,31	0,29	0,27	0,22
$I_{д}$, А	174,5	239,4	235,3	175,4	241,1	280,7	190,4	237,8	277,2
$V(I_{д})$	0,41	0,37	0,48	0,32	0,3	0,26	0,25	0,25	0,22
$U_{д}$, В	23,6	23,3	23,7	24,6	24,9	24,1	25,7	24,8	26,1
$V(U_{д})$	0,17	0,15	0,21	0,12	0,15	0,12	0,11	0,13	0,10
$I_{к.з}$, А	369,5	433,5	528,8	325	493,4	485,3	328,5	385,6	435,4
$V(I_{к.з})$	0,39	0,33	0,27	0,37	0,34	0,28	0,36	0,32	0,29
$U_{к.з}$, В	6,6	6,2	9,2	4,6	7,9	6,7	5,5	6,1	7,3
$V(U_{к.з})$	0,61	0,44	0,40	0,41	0,49	0,37	0,69	0,38	0,33
$t_{д}$, %	90,76	90,81	77,23	95,62	97,59	96,40	97,70	97,65	99,57
$t_{к.з}$, %	6,6	8,94	19,57	4,38	1	3,6	2,3	2,28	0,43
$t_{об}$, %	2,6	0,25	3,2	0	1,41	0	0	0,07	0
$F_{к.з}$, Гц	13,29	19,25	13,75	14,58	2,49	8,21	9,91	8,38	1,99
$T_{зак}$, с	0	0	0,45	0	0,83	0	0	0	0
$T_{св}$, с	42,33	41,12	43,85	39,98	41,41	41,51	40,13	39,99	42,03
$N_{об}$	10	3	21	0	6	0	0	1	0
$N_{к.з.зак}$	1	1	5	1	7	1	1	1	1
γ , отн. ед.	1,03	0,607	1,78	0,47	0,59	0,41	0,38	0,39	0,32
g_0 , %	34,75	24,1	20,6	39,1	30,2	33	42,35	29,1	33,1

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения: $U_{св}$, $I_{св}$ — средние значения напряжения и тока соответственно за время наплавки; $V(U_{св})$, $V(I_{св})$ — коэффициенты вариации напряжения и тока за время наплавки, где коэффициент вариации – отношение среднеквадратичного значения параметра к его среднему значению; $I_{д}$, $U_{д}$, $V(I_{д})$, $V(U_{д})$ — средние за время горения дуги (без периодов начального возбуждения дуги) значения тока, напряжения, коэффициента вариации тока и напряжения соответственно; $I_{к.з}$, $U_{к.з}$, $V(I_{к.з})$, $V(U_{к.з})$ — средние за время короткого замыкания дугового промежутка (без периодов начального возбуждения дуги) значения тока, напряжения, коэффициента вариации тока и напряжения соответственно; $t_{д}$ — удельная длительность горения дуги, равная суммарной длительности периодов горения дуги и общего времени сварки без периода зажигания дуги; $t_{к.з}$ — удельная длительность коротких замыканий, равная суммарной длительности периодов коротких замыканий и общего времени сварки, без периода зажигания дуги; $t_{об}$ — удельная длительность обрывов дуги, равная отношению суммарной длительности периодов обрывов дуги к общей продолжительности времени наплавки; $F_{к.з}$ — частота коротких замыканий дугового промежутка без периода зажигания дуги; $T_{зак}$, $T_{св}$ — длительность времени начального возбуждения дуги и общая продолжительность времени наплавки; $N_{к.з.зак}$ — количество коротких замыканий за период начального возбуждения дуги; $N_{об}$ — количество обрывов за время $T_{св}$; γ — коэффициент нестабильности процесса.

точно для точных исследований быстропротекающих процессов в дуге, например, коротких замыканий дугового промежутка. Осциллограммы тока и напряжения при наплавке на различных режимах самозащитной порошковой проволоки ПП-АН130-1 приведены на рис. 1 и табл. 2.

Обработку данных производили с помощью специально разработанного программного обеспечения в средах Visual Studio.NET, PowerGraph3.3 и MATLAB 7. По введенным в компьютер данным автоматически идентифицируется текущее состояние исследуемого процесса (зажигание дуги, обрывы дуги, короткие замыкания дугового промежутка, периоды горения дуги) и рассчитываются параметры тока и напряжения для соответствующего состояния процесса наплавки.

Результаты. Для определения влияния тока и напряжения наплавки на нестабильность процесса и ДОМ в наплавленном металле был проведен полный факторный эксперимент. Ток и напряжение (факторы) варьировали на трех уровнях, что дает возможность построить модели второго порядка, более адекватно описывающие исследуемый процесс. Токи устанавливали на уровнях порядка 200, 250, 300 А, а напряжения — 22, 24, 26 В. Скорость наплавки во всех случаях оставалась постоянной — 20 м/ч. Измеренные и рассчитанные параметры процесса наплавки сведены в табл. 2.

Трехмерные диаграммы распределения совместной плотности вероятности $U_{св}$ и $I_{св}$ только для собственно процесса наплавки без периода начального зажигания дуги приведены на рис. 2. По вертикаль-

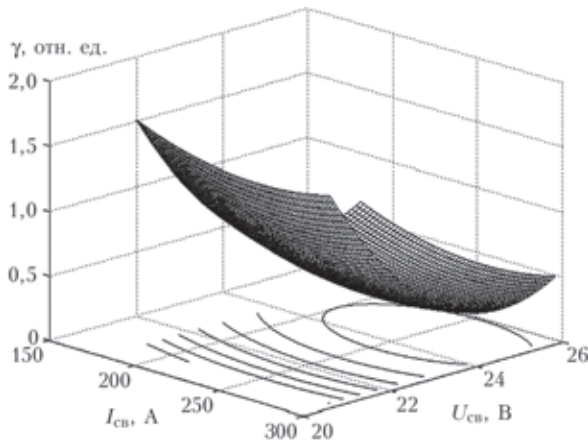


Рис. 3. Зависимость коэффициента нестабильности дугового процесса от тока наплавки и напряжения дуги при наплавке самозащитной порошковой проволокой ПП-АН130-1

ной оси отложена вероятность p появления определенного сочетания тока и напряжения в соответствующем участке плоскости $(I_{св} - U_{св})$. На диаграммах выделены области горения дуги и коротких замыканий. Поскольку обрывы дуги во время процесса наплавки редки и их длительность мала, плотность вероятности обрывов также очень мала и на графиках неразличима.

Из рис. 2 и табл. 2 видно, что с повышением напряжения дуги процесс становится более стабильным — уменьшается количество и продолжительность коротких замыканий и обрывов дуги. При напряжении 26 В короткие замыкания и обрывы дуги практически отсутствуют. Однако с повышением напряжения и соответственно длины дуги при наплавке самозащитной порошковой проволокой в наплавленном металле появляются поры.

Нестабильность процесса дуговой наплавки порошковой проволокой оценивалась коэффициентом нестабильности γ :

$$\gamma = [V(U_d) + V(I_d)]t_d + [V(U_{к.з}) + V(I_{к.з})]t_{к.з} + t_{об}N_{об} \quad (1)$$

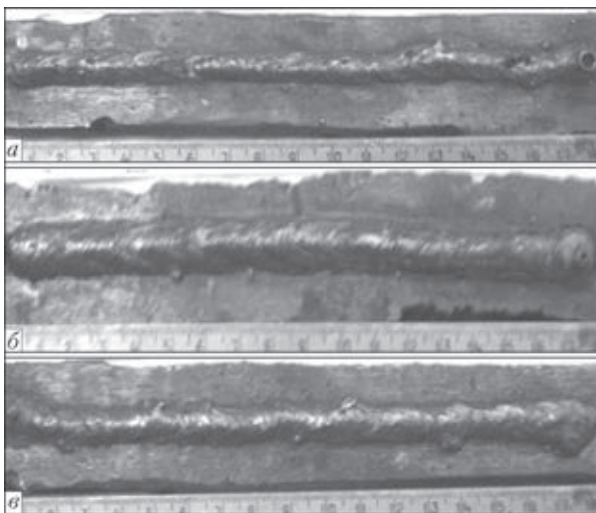


Рис. 4. Внешний вид валиков, наплавленных порошковой проволокой ПП-АН130-1 на токах 200 А (а), 250 (б) и 300 (в), при постоянном напряжении 22 В и скорости наплавки 20 м/ч

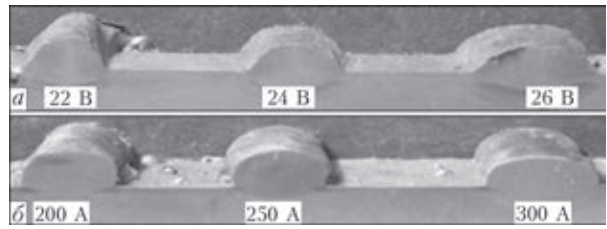


Рис. 5. Макрошлифы валиков, наплавленных порошковой проволокой ПП-АН130-1 на различных напряжениях (а) при одинаковом токе 250 А и различных токах при напряжении 24 В (б)

который представляет собой сумму коэффициентов вариации тока и напряжения горения дуги, коэффициентов вариации тока и напряжения коротких замыканий дугового промежутка, количества обрывов дуги, умноженных на весовые коэффициенты. В качестве весовых коэффициентов приняты удельные длительности горения дуги, коротких замыканий дугового промежутка и обрывов дуги.

По формуле (1) и данным табл. 2 получена зависимость коэффициента нестабильности процесса наплавки от тока и напряжения в виде регрессионной модели второго порядка. Геометрическое представление этой модели (поверхность отклика) приведено на рис. 3. В плоскости $(I_{св} - U_{св})$ изображены также линии постоянного значения коэффициента нестабильности (линии равного отклика). Минимальное количество обрывов дуги и коротких замыканий наблюдается при напряжении 25 В. При этом напряжении и токе, изменяющемся в пределах 200...300 А, коэффициент нестабильности γ находится в пределах 0,5...0,32, и дуга горит наиболее стабильно. При снижении напряжения до 22 В и при тех же токах коэффициент нестабильности возрастает до 0,9...1,0.

Для исследования также влияния режимов наплавки на проплавление и на ДОМ в наплавленном металле использовали образцы, наплавленные на режимах, которые приведены выше. На рис. 4 для примера приведен внешний вид валиков, наплавленных на различных токах при напряжении 22 В и скорости наплавки 20 м/ч, а на рис. 5 — макрошлифы поперечного сечения этих валиков.

После наплавки произведена порезка всех образцов поперек наплавленных валиков. Из каждого образца изготовлено по восемь макрошлифов, на которых определяли среднюю по восьми замерам ДОМ в наплавленном металле g_0 (табл. 2). Расчет производили по выражению

$$g_0 = \frac{F_0}{F_0 + F_H} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где F_0 — площадь сечения расплавленного основного металла; F_H — площадь сечения наплавленного металла.

Как и для коэффициента нестабильности, получено регрессионное уравнение зависимости g_0

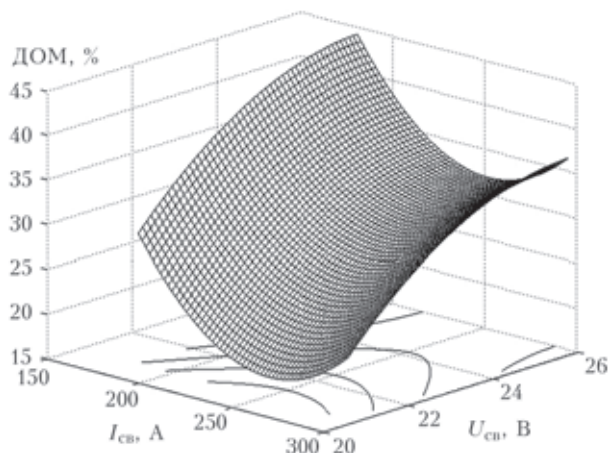


Рис. 6. Зависимость ДОМ в наплавленном металле от тока и напряжения дуги

от тока и напряжения. На рис. 6 изображена соответствующая поверхность отклика. Прослеживается тенденция снижения ДОМ при увеличении тока наплавки. Это связано с тем, что повышение тока наплавки напрямую связано с увеличением скорости подачи проволоки. При неизменной скорости наплавки это увеличивает количество наплавленного металла, приходящегося на единицу длины шва. Повышение напряжения с 22 до 24 В приводит к некоторому увеличению показателя g_0 при всех значениях тока наплавки. Однако при дальнейшем увеличении напряжения до 26 В этот показатель не изменяется.

Оценены также связь между качеством формирования наплавленных валиков, ДОМ в наплавленном металле и показателями стабильности процесса наплавки. На рис. 7 приведены совмещенные двумерные сечения поверхности отклика для коэффициента нестабильности и ДОМ в наплавленном металле. Серым цветом выделена область оптимальных режимов, обеспечивающих достаточную стабильность процесса при минимальном проплавлении и хорошем формировании наплавленных валиков. В этой области можно выбрать такие режимы наплавки конкретной детали, которые в наибольшей степени удовлетворяют условиям ее эксплуатации, конструкции детали, требованиям к наплавленному металлу. В частности, если конструкция детали требует наплавки слоев большой толщины в несколько проходов, то можно выбрать более интенсивные режимы наплавки с достаточно большим проплавлением в первом проходе. При наплавке тонких слоев необходимо использовать режимы в области минимальной стабильности процесса наплавки с большим перекрытием соседних валиков.

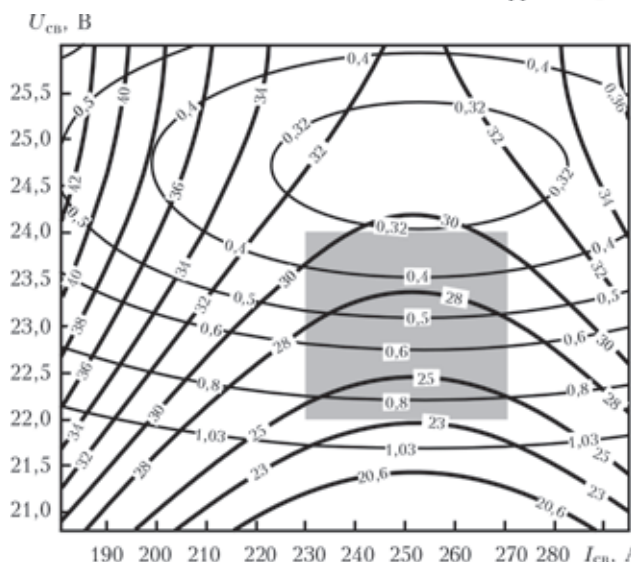


Рис. 7. Контурные кривые коэффициента нестабильности горения дуги и ДОМ в наплавленном металле

Выводы

1. Установлено, что из экспериментальных самозащитных порошковых проволок типа ПП-АН130-1 наилучшими сварочно-технологическими свойствами по экспертным оценкам обладает проволока с газшлакообразующей системой $\text{CaO}+\text{TiO}_2+\text{MgO}+\text{CaF}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$.

2. Нестабильность горения дуги в первую очередь зависит от напряжения и снижается с его увеличением. В проведенных экспериментах при использовании порошковой самозащитной проволоки диаметром 2 мм коэффициент нестабильности достигает минимума при 25 В. Ток в значительно меньшей степени оказывает влияние на нестабильность горения дуги. Для указанной проволоки минимальный коэффициент нестабильности наблюдается при токах 250...260 А.

3. Область оптимальных режимов наплавки, обеспечивающая достаточную стабильность процесса ($\gamma = 0,32...0,8$ отн. ед.) при удовлетворительном проплавлении ($g_0 = 23...30\%$), лежит в диапазоне изменения тока 230...270 А и напряжения 22...24 В.

1. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. – Харьков: Металлургиздат, 1961. – 421 с.
2. Влияние высокотемпературного термоциклирования на наплавленный металл типа штамповых теплоустойчивых сталей / И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, А. А. Бабинiec и др. // Автомат. сварка. – 2012. – № 2. – С. 26–28.
3. Определение ресурса эксплуатации наплавленных деталей при циклических, термических и механических нагрузках / И. К. Сенченков, О. П. Червинко, И. А. Рябцев, А. А. Бабинiec // Свароч. пр-во. – 2013. – № 1. – С. 8–13.
4. Юзвенко Ю. А., Кирилук Г. А. Наплавка порошковой проволокой. – М.: Машиностроение, 1973. – 46 с.

Поступила в редакцию 06.03.2014



СОЕДИНЕНИЕ МЕТАЛЛА БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ МНОГОПРОХОДНОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКОЙ

К. А. ЮЩЕНКО¹, С. М. КОЗУЛИН¹, И. И. ЛЫЧКО¹, М. Г. КОЗУЛИН²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² Тольяттинский госуниверситет, РФ, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14. E-mail: office@tetsu.ru

Нестандартные схемы выполнения ЭШС (многослойная, колодезная и др.) чаще всего используют для восстановительного ремонта крупногабаритных деталей тяжелого машиностроения. Среди встречающихся видов разрушений наиболее частыми являются сквозные трещины, возникающие преимущественно в тяжело нагруженных деталях машин, эксплуатирующихся при знакопеременных нагрузках. Такие дефекты отличаются большой разветвленностью и извилистостью трещин, а также внушительными размерами сечений разрушений $(2,5 \dots 6,8) \cdot 10^5 \text{ мм}^2$. Способ многопроходной электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком (МЭШС ПМ) является наиболее подходящим для проведения ремонтных работ. Научно-обоснованное сочетание разработанных технических и технологических приемов при реализации МЭШС ПМ обеспечивает металлу шва высокую пластичность, однородность его структуры и твердости, отсутствие в ЗТВ структур закалки и дефектов в зоне сплавления. Способ восстановления сквозных трещин больших размеров в крупных деталях непосредственно на месте эксплуатации успешно внедрен на шести предприятиях. Техническая схема, уровень проработки и универсальность технологического процесса осуществления МЭШС ПМ позволяют рекомендовать его также для соединения металла большой толщины при производстве новых сварных металлоконструкций. Библиогр. 16, рис. 4.

Ключевые слова: многопроходная электрошлаковая сварка, плавящийся мундштук, ремонт, крупногабаритные детали, сквозные трещины

Электрошлаковую сварку (ЭШС) за один проход осуществляют, чаще всего, тремя основными способами: проволочными электродами, плавящимся мундштуком и электродами большого сечения. Перечисленными способами можно выполнять практически все существующие типы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений, получая при этом прямолинейные или кольцевые швы, а также швы сложного профиля [1]. Элементы сварных соединений классифицируются по поперечным сечениям и форме продольного сечения швов согласно ГОСТ 15164–95 и ДСТУ 3490–96. Поверхности свариваемых кромок, образующих сборочный зазор, получают механической обработкой, газопламенной или плазменной резкой, а также после прокатки. При производстве новых крупногабаритных металлоконструкций эффективность применения однопроходной ЭШС обеспечивается правильным выбором сварочного оборудования и комплексным решением вопросов техники и технологии выполнения швов.

Для измельчения структуры металла сварного соединения и снижения уровня остаточных напряжений необходимо применять последующую дорогостоящую высокотемпературную обработку (ВТО). Поэтому, любое решение по отказу или хотя бы уменьшению объемов ее применения, всегда является приоритетным [2].

Одним из путей приближения равнопрочности сварного соединения к основному металлу без проведения ВТО является выполнение ЭШС по схемам, отличающимся от традиционных, например, путем соединения металла большой толщины многослойными швами [3–5]. При соединении биметаллических заготовок эффективность применения ЭШС возрастает, если стык сваривают двумя швами последовательно [6].

Нестандартные схемы выполнения ЭШС чаще всего используют для восстановительного ремонта крупногабаритных деталей тяжелого машиностроения, в том числе, непосредственно на месте эксплуатации. В работе [7] обобщен накопленный научно – производственный опыт организации и проведения подобных работ и предложены технологические рекомендации, которые используются соответствующими техническими службами многих предприятий и организаций.

В горнодобывающей, металлургической, энергетической и других отраслях народного хозяйства имеется множество разнообразных крупногабаритных деталей агрегатов, разрушающихся в процессе эксплуатации. Это требует при организации ремонтных работ, в каждом конкретном случае, осуществлять индивидуальный подход. Он может быть обусловлен, прежде всего, геометрическими параметрами и пространственным положением места разрушения, а также техническим



Рис. 1. Схема характерного расположения трещин в разрушенном бандаже вращающейся печи

обеспечением рабочего места и условиями проведения ремонта.

Статья посвящена обобщению результатов исследований, разработки и внедрения эффективных приемов ремонта методами ЭШС сквозных трещин, возникающих преимущественно в тяжело нагруженных деталях машин. Характерным примером таких объектов могут служить опорные бандажи сплошного прямоугольного и фигурного сечения вращающихся обжиговых печей, которые нередко разрушаются в процессе эксплуатации из-за образования сквозных поперечных трещин [8]. Большинство бандажей, размеры поперечных сечений которых составляют (355...500)×(900...1350) мм, изготавливают из среднеуглеродистых сталей типа 35Л традиционным литьем в песчаные формы или электрошлаковым литьем (сталь 34Л-ЭШ). Особенность ремонта по исправлениям таких дефектов в значительной мере связана с большой разветвленностью и извилистостью трещин, а также внушительными размерами сечений разрушений (рис. 1), площадь которых может составлять $(2,5...6,8) \cdot 10^5$ мм². При этом, после разделки кромок под сварку неизбежно образуются широкие зазоры, которые превышают стандартные в 2...5 раз, а объем удаленного дефектного метал-

ла может составлять до 0,3...0,4 м³. Грубая окисленная поверхность кромок (после удаления пораженного металла газокислородной резкой) создает дополнительные трудности обеспечения качественного сплавления при ЭШС.

Методы ремонта сквозных трещин в бандажах на месте их эксплуатации с применением электродуговых способов сварки отличаются крайне низкой производительностью и не всегда обеспечивают получение качественных сварных соединений, а также требуемых условий гигиены труда [8]. Использование традиционных способов ЭШС также малоэффективно из-за больших затрат времени и средств на доставку крупногабаритного сварочного оборудования, сложности монтажа и эксплуатации многоэлектродных аппаратов на большой высоте (более 20 м), невозможности получения гарантированного сплавления кромок основного металла со швом в начале сварки и др.

Применение некоторых нетрадиционных способов ЭШС [8–10] затруднительно, в основном, из-за невозможности полного удаления дефекта, имеющего разветвленный (пространственный) характер, обеспечения гарантированного сплавления свариваемых кромок и низкой стойкости швов против образования горячих трещин

Для решения вопросов организации оперативного ремонта оборудования со сквозными разрушениями на месте его эксплуатации потребовалась разработка способа ремонта, максимально свободного от указанных недостатков.

Способ многопроходной электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком (МЭШС ПМ) (рис. 2) [11], наиболее полно отвечает этим требованиям.

Для создания принципиальной технологии МЭШС ПМ были изучены металлургические, энергетические и технические вопросы, связанные со спецификой выполнения восстановительных работ.

В результате были определены:

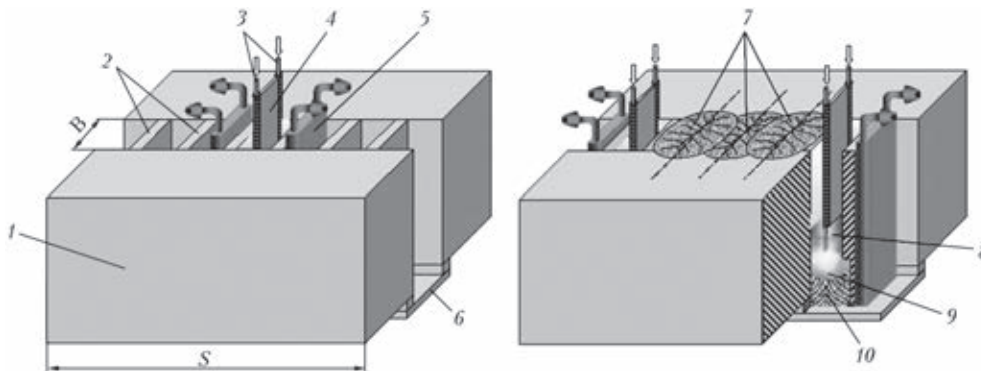


Рис. 2. Схема способа многопроходной ЭШС крупных изделий с большим поперечным сечением соединяемых элементов: 1 — свариваемая деталь; 2 — формирующие вставки; 3 — электродные проволоки; 4 — плавящийся мундштук; 5 — водоохлаждаемое устройство; 6 — входной карман; 7 — сварные швы; 8 — шлаковая ванна; 9 — металлическая ванна; 10 — наплавленный металл; S — толщина свариваемого металла; B — сварочный зазор



– закономерности бездефектного формирования сварного соединения в широком зазоре;

– условия гарантированного сплавления и качественного формирования шва;

– энергетические особенности процесса с позиций его устойчивости и бездефектности сварных соединений;

– условия предотвращения горячих трещин в швах;

– влияние термических циклов процесса на структуру и механические свойства металла сварного соединения.

Для реальных зазоров 60...150 мм, образовавшихся после удаления дефектного металла в районе залегания сквозных трещин, требуемые глубина провара основного металла и ширина расплавления формирующей вставки обеспечиваются при значениях удельной энергии сварочного процесса в диапазоне 220...340 кДж/см².

Технологическая прочность металла сварных соединений обеспечивается комплексом мероприятий, предотвращающих образование горячих трещин [12, 13, 15], а именно:

– уменьшением усадки металла шва за счет многосекционного исполнения неразъемного соединения отдельными швами;

– расположением плоскости шва в направлении, совпадающем с вектором растягивающих напряжений;

– снижением уровня растягивающих напряжений в период кристаллизации металлической ванны за счет податливости разделительных вставок сборки;

– выбором параметров режима сварки каждого прохода с обеспечением коэффициента формы шва в диапазоне 5...8;

– рассредоточением плотности поля напряжений путем симметричного выполнения заварки отдельных секций сборки.

Этому процессу свойственен такой тип термического цикла сварки, при котором скорости охлаждения металла зоны термического влияния (ЗТВ) весьма малы (0,2...0,8 °C/c), а время пребывания остывающего металла в диапазоне наименьшей устойчивости аустенита столь длительно, что условия для формирования структуры ЗТВ можно считать близкими к равновесным [14].

При МЭШС ПМ литых углеродистых сталей типа 35Л сочетание сварочных проволок общего назначения с повышенным содержанием марганца (например, Св-08Г2, Св-10Г2) и плавящихся флюсов на основе системы SiO₂-MnO-CaF₂ (АН-8М, АН-9У) обеспечиваются требуемые механические свойства при условии, что материал формирующих вставок сборки будет содержать не менее 1 %

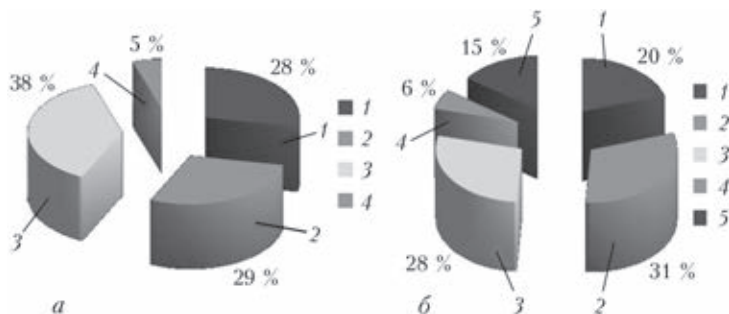


Рис. 3. Долевое участие металла вставок в составе металла шва при МЭШС ПМ первого (центрального) прохода (а) и смежных проходов (б): 1 — основной металл; 2 — электродные проволоки; 3 — металл вставок; 4 — пластина плавящегося мундштука, 5 — металл соседнего шва

марганца при низком содержании углерода и составлять 28...38 мас. % от наплавленного металла шва (рис. 3).

Достаточная прочность восстановленного металла сварных соединений тяжело нагруженных узлов конструкций из среднеуглеродистых литых сталей типа 35Л в условиях статических и ударных нагрузок, а также высокая длительная прочность при знакопеременном нагружении гарантируются [14] благодаря высокой пластичности металла шва, однородности его структуры и твердости, отсутствию в ЗТВ структур закалки и дефектов в зоне сплавления (рис. 4).

На сегодняшний день с использованием нового способа МЭШС ПМ разработаны технология ремонта деталей уникального оборудования без его демонтажа и специализированное сварочное оборудование [16]. Технология реализована при ремонте сквозных трещин в бандажах вращающихся печей на 6-ти предприятиях. Опыт много-

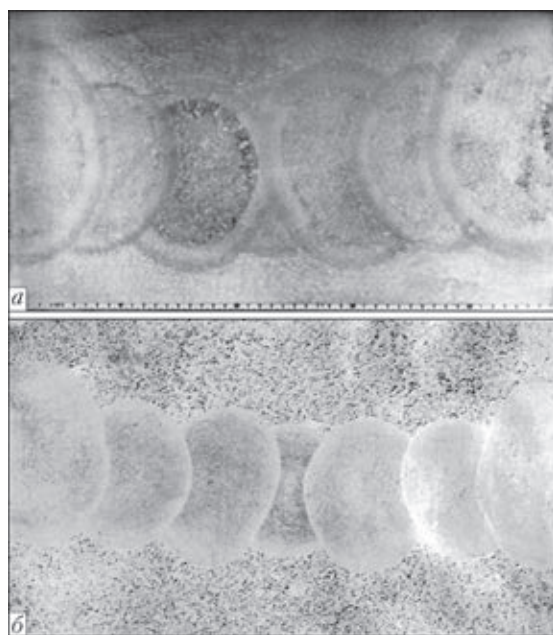


Рис. 4. Поперечный макрошлиф (а) и серный отпечаток (б) сварного соединения толщиной 480 мм, выполненного новым способом

летней эксплуатации восстановленных бандажей показал, что длительная прочность сварных соединений, полученных МЭШС ПМ в условиях знакопеременных нагрузок, составляет не менее 10^7 циклов. Применение разработанной технологии при ремонте сквозных трещин в бандажах вращающихся печей позволило сократить общее время восстановительных работ в 3 раза по сравнению с ремонтом при помощи двухдуговой автоматической сварки под флюсом.

Выводы

1. Многопроходная электрошлаковая сварка плавящимся мундштуком (МЭШС ПМ) — эффективный способ восстановления сквозных трещин больших размеров в крупных деталях, непосредственно на месте эксплуатации, о чем свидетельствуют результаты успешного внедрения его на шести предприятиях.

2. Научно-обоснованное сочетание разработанных технических и технологических приемов при реализации МЭШС ПМ обеспечивает металлу шва высокую пластичность, однородность его структуры и твердости, отсутствие в ЗТВ структуры закалки и дефектов в зоне сплавления.

3. Универсальность технологического процесса и техники осуществления МЭШС ПМ позволяет рекомендовать его также для соединения металла большой толщины при производстве новых сварных металлоконструкций.

1. *Электрошлаковая сварка и наплавка* / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
2. *Патон Б. Е. Некоторые прогнозы развития сварки* // Автомат. сварка. — 1971. — № 5.

3. *Электрошлаковая сварка* / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Киев, 1959. — 411 с.
4. *Pat. 22086 DDR. Verfahren zum VerchweiBen von groBen Querschnitten mellels ElektroSchlacke-SchweiBung* / W. Anders, W. Maushake. — Veröff. 06.10.61.
5. *А. с. № 284224 СССР, МКИ В 23 К 25/00. Формирующее устройство для вертикальной сварки* / Г. И. Хоружик, И. И. Сушук-Слюсаренко, Г. Г. Андрианов и др. // Заявл. 22.01.1978 № 2571813, зарегистр. 21.03.1980.
6. *А. с. СССР № 747659. Формирующее устройство для вертикальной сварки* / И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. М. Хрундже и др., зарегистр. 23.01.1978.
7. *Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах* / И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко, М. Г. Козулин, В. М. Семенов — Киев: Наук. думка, 1989. — 192 с.
8. *Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Методы восстановления бандажей вращающихся печей (Обзор)* // Автомат. сварка. — 2007. — № 10. — С. 40–47.
9. *Сушук-Слюсаренко И. И. Электрошлаковая сварка и наплавка*. — М.: Сварка. Т. 9 (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР), 1977. — 81 с.
10. *Фильченков Д. И., Козулин М. Г., Сушук-Слюсаренко И. И. Исправление дефектов отливок из стали 30ГСЛ многослойной электрошлаковой сваркой* // Свароч. пров. — 1982. — № 9. — С. 19–20.
11. *А. с. 1756074 СССР, МКИ В23К 25/00. 33/00. Способ многослойной электрошлаковой сварки* / М. Г. Козулин, С. М. Козулин // Открытия. Изобретения. — 1992. — № 31.
12. *Козулин С. М. Выбор формы разделки кромок при ремонте сквозных трещин многослойной электрошлаковой сваркой* // Автомат. сварка. — 2011. — № 3. — С. 41–45.
13. *Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию кристаллизационных трещин при ремонте бандажей обжиговых печей электрошлаковой сваркой* // Там же. — 2010. — № 1. — С. 41–43.
14. *Козулин С. М., Лычко И. И., Подыма Г. С. Структура и свойства сварных соединений из стали типа 35Л, выполненных многослойной электрошлаковой сваркой* // Там же. — 2013. — № 8. — С. 8–13.
15. *Козулин С. М., Лычко И. И. Деформации сварных соединений при многослойной электрошлаковой сварке* // Там же. — 2011. — № 1. — С. 26–31.
16. *Портативный аппарат для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком* / К. А. Ющенко, И. И. Лычко, С. М. Козулин и др. // Там же. — 2012. — № 8. — С. 48–49.

Поступила в редакцию 14.07.2014



7.04 – 10.04 2015 г.

Место проведения: Беларусь, Минск,
проспект Победителей, 20/2
Организатор: ЗАО «МинскЭкспо»

Направления экспозиций

- ▶ Материалы для сварки, наплавки и пайки
- ▶ Оборудование и технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки
- ▶ Источники питания и системы управления сварочным оборудованием
- ▶ Оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- ▶ Электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- ▶ Автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки
- ▶ Автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, программное обеспечение
- ▶ Приборы для неразрушающего контроля сварных соединений
- ▶ Научное и информационное обеспечение сварки
- ▶ Система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков
- ▶ Охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве
- ▶ Сертификация сварочного оборудования.

Выставка проводится одновременно с международными специализированными выставками «Металлообработка», «Порошковая металлургия» и международным специализированным салоном «Защита от коррозии. Покрытия».

Руководитель проекта: Федорова Елена Владимировна
тел.: +375 17 226 98 58, 226 90 83 факс: +375 17 226 98 58, 226 99 36; e-mail: e_fedorova@solo.by



ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРКИ

А. Е. КОРОТЫНСКИЙ, Н. П. ДРАЧЕНКО, В. А. ШАПКА

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

К перспективным областям применения суперконденсаторов (СК) можно отнести точечную контактную сварку, контактную сварку сопротивлением, а также импульсно-дуговую сварку, где они могут использоваться как модуляторы сварочного тока. Приведены основные технические характеристики СК и батарей СК (БСК), построенных на основе последовательного соединения отдельных СК. Даны основные расчетные соотношения, предназначенные для оценки электрических параметров БСК, экспериментально определены зарядно-разрядные характеристики для разработанных БСК. Показано, что при последовательном соединении ячеек СК в батарее основным недостатком является разброс по напряжению, который в данной работе предлагается исключить путем применения специального зарядного устройства — эквалайзера. Рассмотрены различные схемы эквалайзеров, описаны их преимущества и недостатки при использовании в генераторах импульсных токов. Показана целесообразность применения энергосберегающей схемы эквалайзера для импульсных способов сварки. Предложена и описана схема такого устройства, даны расчетные соотношения, аналитически описывающие ее работу. В качестве примера приведена схема для точечной контактной сварки, выполненная на основе эквалайзера и батареи из 6-ти СК, и даны технические характеристики предложенного устройства. Библиогр. 7, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: импульсная сварка, генераторы импульсных токов, модулятор сварочного тока, суперконденсатор, батарея суперконденсаторов, зарядно-разрядные характеристики, эквалайзер

В некоторых сварочных процессах весьма эффективно применять импульсные электрические накопители энергии. Это в первую очередь относится к точечной контактной сварке [1], контактной сварке сопротивлением [2], приварке шпилек [3], а также импульсно-дуговой сварке в защитных газах [4], где они используются в качестве импульсных модуляторов. Авторы данной статьи имеют положительный опыт применения емкостных накопителей энергии при дуговой резке, где импульсное воздействие в отличие от воздушно-дуговой резки создается импульсом тока, что позволяет значительно упростить оборудование.

К существенным преимуществам емкостных накопителей энергии, расширяющим их применение в импульсных технологиях, следует отнести простоту коммутации при заряде и разряде батареи конденсаторов и возможность строгого дозирования накопленной энергии за счет регулирования уровня напряжения заряда или длительности импульса воздействия. В настоящее время в качестве емкостных накопителей энергии все чаще находят применение конденсаторные батареи, выполненные на базе ячеек с двойным электрическим слоем, — суперконденсаторы (СК). Однако из-за низкого уровня рабочего напряжения ячейки СК ($U_{СК} \leq 2,7$ В) для получения нужных электрических характеристик накопителей ячейки СК

объединяют в батареи. Но в связи с тем, что СК имеют технологический разброс значений емкости в пределах одного номинала, возникают определенные трудности при изготовлении батарей с последовательным соединением СК (БСК). Примеры выполнения таких БСК для 4-х и 6-ти ячеек показаны на рис. 1.



Рис. 1. Примеры выполнения последовательной БСК на основе 4-х (а) и 6-ти (б) ячеек

Характеристики СК, применяемых для последовательных БСК

Тип БСК	Количество ячеек	C, Ф	R, МОм	$\tau = RC$, с	U_p , В	W, Дж
БСК-4	4	750	0,96	0,72	10,8	43740
БСК-6	6	500	1,44	0,72	16,2	65610
БСК-10*	10	300	2,44	0,72	27	109350

* БСК-10 — структура с последовательным соединением БСК-4 и БСК-6.

При расчете энергии, накопленной в последовательной БСК, будем учитывать $C_{\Sigma}(n) = Ci/n$, $U_{\Sigma}(n) = nU_i$ (где C_i — емкость отдельного СК; U_i — его рабочее напряжение). Отсюда согласно известным формулам следует, что энергия

$$W(n) = \frac{C_{\Sigma}(n)(U_{\Sigma}(n))^2}{2} = \frac{nC_i U_i^2}{2} = nW_i.$$

Технические характеристики применяемых СК приведены в таблице.

При эксплуатации таких батарей напряжение по ячейкам обычно распределяется неравномерно и будет обратно пропорциональным значениям емкости в цепочке последовательно соединенных конденсаторов: $U_1 C_1 = U_2 C_2 = U_3 C_3 = \dots = U_n C_n$. Поэтому при зарядке такой батареи нужно учитывать фактор неравномерного распределения напряжений по цепочке последовательно соединенных СК и прекращать процесс заряда при достижении каким-либо из конденсаторов максимального напряжения $U_{Ci} = U_{C \max}$. При этом суммарное напряжение на конденсаторной батарее будет меньше номинального: $U_{\Sigma} \leq nU_{C \max} = U_{\Sigma \max}$ или $\Delta U_{\Sigma \max} = U_{\Sigma \max} - U_{\Sigma}$.

Экспериментальные исследования разброса напряжений по ячейкам БСК в процессе тестовой эксплуатации проводили на опытном стенде, схема которого показана на рис. 2. По полученным результатам испытаний построены гистограммы распределения напряжений по ячейкам БСК (рис. 3), состоящей из 10-ти последовательно соединенных СК типа ВСАР3000 P270 K05. Результаты изучения поведения СК в режиме длительного

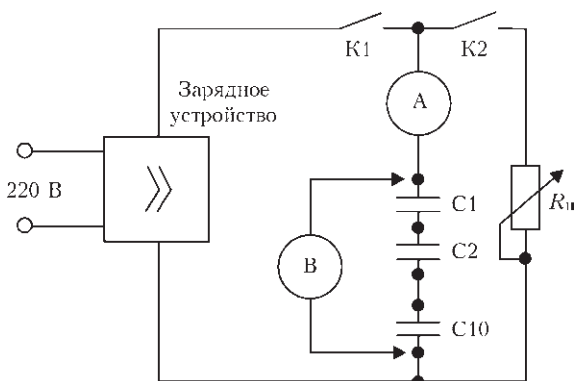


Рис. 2. Схема экспериментального стенда для проверки БСК: K1, K2 — коммутаторы; C1–C10 — конденсаторы ячейки

хранения электрического заряда представлены на рис. 4. Полученные экспериментальные данные показали, что при последовательном соединении мощных СК возникают проблемы, связанные с недозарядом отдельных элементов БСК, что в значительной мере снижает энергоэффективность импульсного генератора.

Устранению данного недостатка и, тем самым, повышению энергоэффективности импульсных генераторов, выполненных с применением СК, посвящена данная работа.

Для того, чтобы при заряде батареи последовательно соединенных СК напряжения на ячейках были равны и $U_{\Sigma} = U_{\Sigma \max}$, обычно производится предварительный отбор СК по значениям емкости и сборка батареи из ячеек СК с одинаковой емкостью. Однако в процессе эксплуатации СК возможно некоторое изменение емкости ячеек СК, в результате чего распределение напряжений по ячейкам БСК может быть не всегда одинаковым (см. рис. 3). В настоящее время с целью наи-

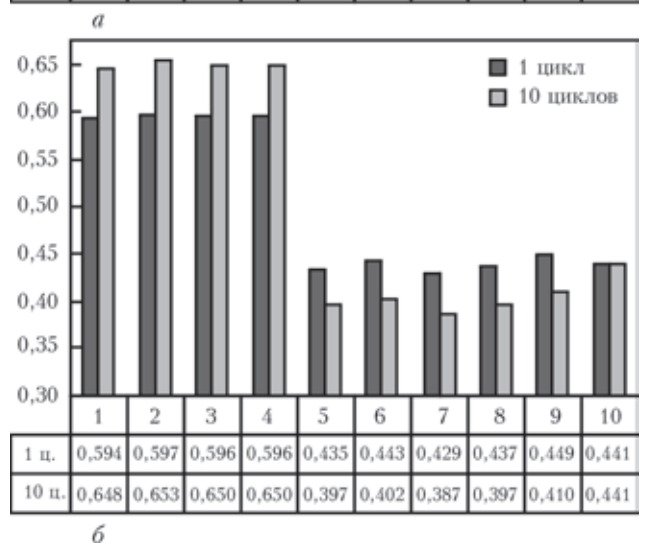
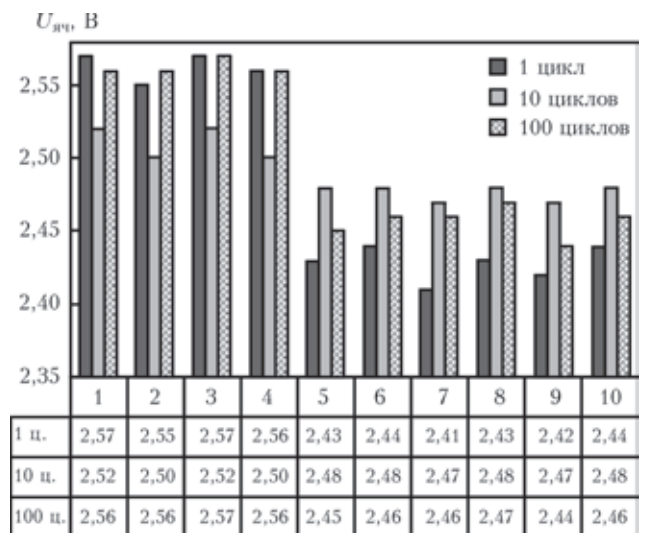


Рис. 3. Гистограммы распределения напряжений по ячейкам 1...10 заряженной (а) и разряженной (б) БСК при разном количестве рабочих циклов заряда-разряда



более эффективного использования энергетических свойств СК в течение всего гарантированного срока эксплуатации используются устройства типа эквалайзера для выравнивания напряжения на ячейках БСК. Существуют различные типы эквалайзеров: пассивные рассеивающие [5], активные рассеивающие [6] и активные энергосберегающие [7].

В связи с современными требованиями к экологии энергосистем и энергосбережению представляется целесообразным подробно рассмотреть построение систем дозаряда СК с применением активных энергосберегающих эквалайзеров.

Принцип их работы основан на использовании энергообменных процессов между ячейками БСК, причем ячейки с повышенным напряжением используются для дозаряда ячеек с пониженным напряжением. В результате работы такой системы в процессе энергообмена между ячейками в БСК поддерживается равномерное распределение напряжений в цепочке практически во всем рабочем диапазоне напряжений батареи. Раньше подобные аппаратные средства [6, 7] использовали при эксплуатации мощных литий-ионных аккумуляторных батарей в различных мобильных и аэрокосмических устройствах. По некоторым характеристикам литий-ионные аккумуляторные батареи весьма сходны с БСК (например, они отличаются прямо пропорциональной зависимостью напряжения на ячейке от уровня заряда), поэтому аналогичные подходы в эквалайзерах можно использовать для БСК. Пример такой адаптированной схемы эквалайзера применительно к СК показан на рис. 5.

Схема содержит зарядный блок питания (ЗБП), предназначенный для формирования тока заряда БСК от первичной сети электропитания, и последовательно соединенные суперконденсаторы СК1...СКn, где их количество определяется требованиями к питанию нагрузки. Схема активного эквалайзера выполнена на согласующих трансформаторах Тр1...Тр(n + 1) и силовых электронных ключах Т1...Тn. Диоды Д1...Дn интегрированы в структуру кристалла силового электронного ключа. Драйверы Др1... Дрn предназначены для согласования цепей управления ключей Т1...Тn со схемой управления. Схема управления задающего генератора (ЗГ) выполнена на стандартном двухфазном ШИМ-контроллере, причем выход первой фазы Ф1 подключен к нечетным, а второй Ф2 — к четным по схеме ключам. Высокочастотный инвертор (Инв) предназначен

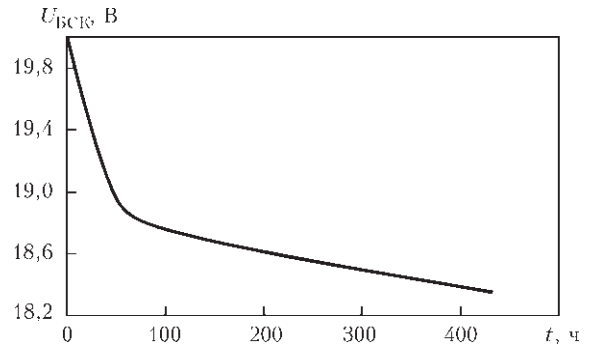


Рис. 4. Саморазряд батареи из 10-ти последовательно соединенных СК

для параллельного питания согласующих трансформаторов с целью выравнивания напряжений между четными и нечетными группами ячеек. В процессе работы устройства конденсаторная батарея заряжается от ЗБП или разряжается на нагрузку (Н). Если напряжения на всех конденсаторах равны, к вторичным обмоткам W2.1...W2(n + 1) согласующих трансформаторов Тр1... Тр(n + 1) подводится напряжение $U_{W2i} = U_{СКi} / 2 - \Delta U_{VTi}$ (где ΔU_{VTi} — напряжение дисбаланса). Напряжение на вторичных обмотках трансформаторов определяется из условия $U_{W2i} \approx U_{БСК} / 2n$, тогда как напряжение на первичных обмотках $U_{W1i} = U_{БСК}$.

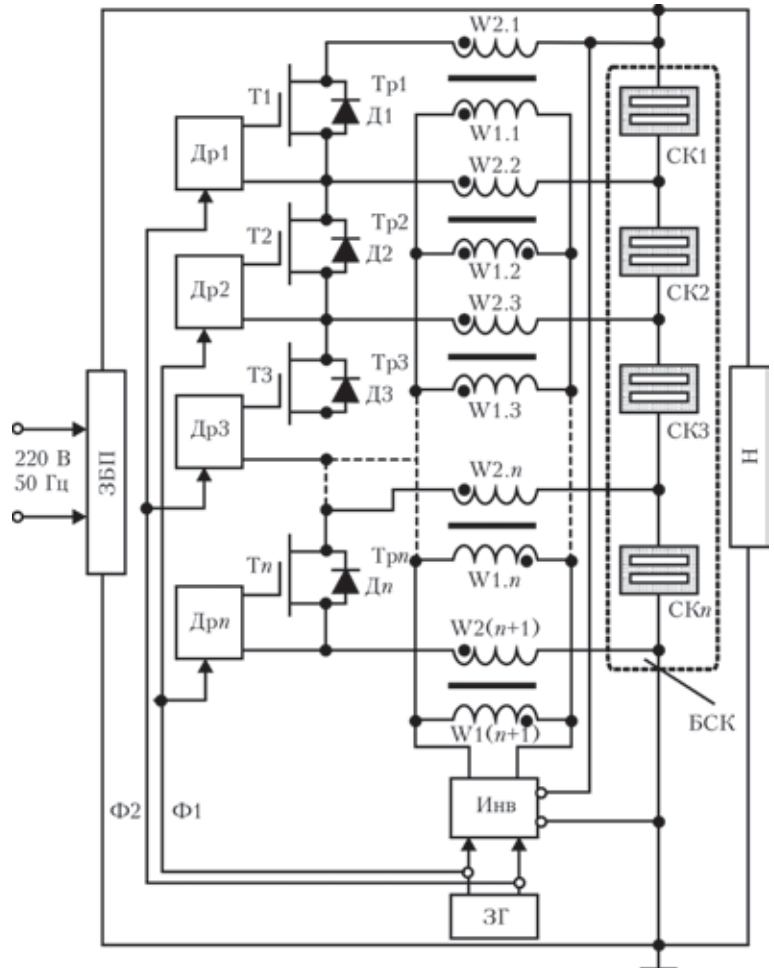


Рис. 5. Схема эквалайзера БСК (обозначения см. в тексте)

Если напряжение на каком-либо из конденсаторов будет больше или меньше среднего напряжения ($U_{СК\text{ ср}} \neq U_{БСК}/n$), тогда через обмотки $Tr1...Tr(n+1)$ и открытые ключи $T1...Tn$ начинают протекать уравнивающие токи, приводящие к выравниванию напряжений на конденсаторах. Согласующий Инв работает синхронно с коммутацией ключей $T1...Tn$ и поочередно производит перезарядку четной и нечетной групп конденсаторов, тем самым выравнивая напряжения между группами. В результате работы схемы напряжения на ячейках СК выравниваются и уравнивающие токи уменьшаются до минимальных значений. Токи в первичных обмотках трансформаторов снижаются до значений, определяемых потерями холостого хода трансформаторов. Именно таким образом осуществляется выравнивание напряжений по ячейкам БСК.

Особенностью этого устройства (см. рис. 5), отличающим его от описанного в работе [7], является применение отдельных секций согласующих трансформаторов для каждой ячейки СК, а также замена диодов на синхронные выпрямители (полевые транзисторы), что обеспечило более высокую скорость и точность выравнивания напряжений.

Проведем сравнительный анализ энергетических параметров БСК при использовании схемы активного эквалайзера (см. рис. 5).

Энергия, запасаемая в БСК с последовательным соединением конденсаторных ячеек, определяется выражением

$$E_{БСК} = \frac{nC_0 U_0^2}{2}, \quad (1)$$

где n — количество ячеек; C_0 — номинальная емкость; U_0 — номинальное напряжение.

Если в БСК имеется конденсаторная ячейка с пониженной емкостью

$$C_i = kC_0, \quad (2)$$

(где $k < 1$ — коэффициент недозаряда отдельной ячейки), заряженная до номинального напряжения $U_{Ci} = U_0$, тогда напряжения на остальных ячейках с номинальной емкостью будут равны

$$U_x = kU_0 \quad (kC_0 U_0 = C_0 U_x). \quad (3)$$

Отсюда суммарное напряжение на такой батарее с последовательно соединенными ячейками

$$U_{БСК} = U_0 k(n-1) + U_0 = U_0(1+k(n-1)). \quad (4)$$

Энергия, запасаемая БСК, в составе которой имеется одна конденсаторная ячейка с пониженной емкостью, будет равна

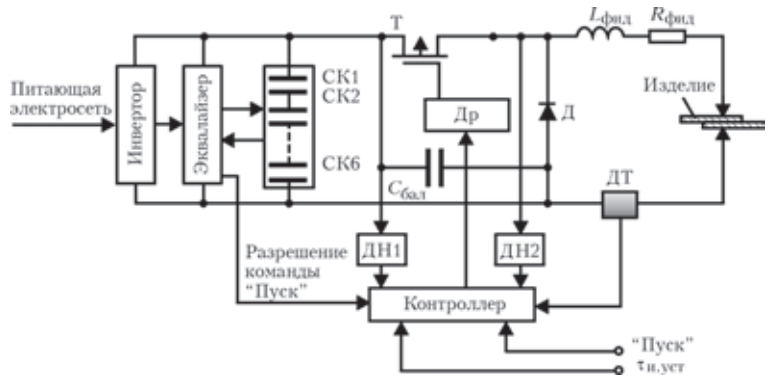


Рис. 6. Пример использования эквалайзера в устройстве для точечной контактной сварки

$$\begin{aligned} E'_{БСК} &= \frac{C'_{БСК} U_p^2}{2} = \\ &= \frac{C_0 \frac{k}{1+k(n-1)} [U_0 k(n-1) + U_0]^2}{2} = \\ &= \frac{C_0 U_0^2 k(1+k(n-1))}{2}. \end{aligned} \quad (5)$$

При применении эквалайзера, выравнивающего напряжения на конденсаторных ячейках, запасаемая в БСК энергия

$$\begin{aligned} E''_{БСК} &= \frac{C''_{БСК} U_p^2}{2} = \\ &= \frac{C_0 \frac{k}{1+k(n-1)} (nU_0)^2}{2} = \\ &= \frac{C_0 U_0^2}{2} \frac{kn^2}{1+k(n-1)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Используя приведенные выражения (4)...(6), можно провести сравнительный анализ энергетической эффективности применения эквалайзера. Если принять коэффициент эффективности БСК с одинаковыми ячейками за $K_{эф1} = 1$, тогда эффективность БСК с ячейкой, имеющей пониженную емкость, будет определяться соотношением:

$$K_{эф1} = \frac{E'_{БСК}}{E_{БСК}} = \frac{kC_0 U_0^2 [1+k(n-1)]}{nC_0 U_0^2} = \frac{k^2(n-1)+k}{n}, \quad (7)$$

а эффективность БСК с эквалайзером и ячейкой, имеющей пониженную емкость,

$$K_{эф2} = \frac{E''_{БСК}}{E_{БСК}} = \frac{kn^2}{n(1+k(n-1))} = \frac{kn}{1+k(n-1)}. \quad (8)$$

Следовательно, относительное увеличение эффективности БСК с эквалайзером будет определяться соотношением

$$Q = 1 - \frac{K_{эф1}}{K_{эф2}} = 1 - \left(\frac{k(n-1)+1}{n} \right)^2. \quad (9)$$

Используя приведенные расчетные соотношения (7)...(9) для оценки энергоэффективности эквалайзера, можно доказать, что заметный эффект отмечается даже при 10 %-ном отклонении емкости



сти только одного конденсатора от номинального значения.

Следует подчеркнуть, что применение эквалайзеров в различных устройствах для импульсных технологий сварки позволяет добиться не только высоких энергетических показателей, но и обеспечить высокую стабильность сварочно-технологических показателей за счет прецизионного заряда БСК.

В качестве примера на рис. 6 приведена схема устройства для точечной контактной сварки. Главным ее отличием от известных устройств [1] является наличие эквалайзера. При включении электропитания инвертор зарядного тока заряжает конденсаторы СК1...СК6 до уровня напряжения, определяемого контроллером, после чего схема переходит в ждущий режим. Одновременно схема эквалайзера анализирует балансировку напряжений по ячейкам СК и, при необходимости, выполняет активное выравнивание напряжений по ячейкам БСК. При поступлении команды «Пуск» блокируется работа зарядного инвертора и подается импульс управления на драйвер токового ключа Т. В результате возникает импульс рабочего тока, протекающий по цепи: СК1...СК6, Т, $L_{\text{фид}}$, $R_{\text{фид}}$, ДТ, СК1...СК6. Сварочное устройство позволяет дозировать энергию, подводимую к контактно-промежутку, путем программирования напряжения СК1...СК6 и длительности импульса тока, определяемого коммутатором. Длительность токового импульса может варьироваться в диапазоне от единиц до нескольких сотен миллисекунд. Также возможно программирование импульсных серий с индивидуальными параметрами для каждого импульса в серии. Информация, снимаемая с датчиков тока и напряжения ДТ и ДН2, используется для контроля и управления энергией, подводимой к контактно-промежутку свариваемого изделия. Высокие технологические показатели в данном устройстве достигаются благодаря применению быстродействующего электронного коммутатора тока, который выполняет точное дозирование энергии, подводимой к зоне сварки.

Экспериментальная проверка устройства для точечной контактной сварки, собранная по приведенной схеме (см. рис. 6), дала следующие результаты: максимальный сварочный ток равен 1200 А; при питании от однофазной сети 220 В потребляемая мощность составляет 2 ВА в режиме холосто-

го хода, 500 ВА в режиме заряда БСК и 100 ВА в режиме выполнения сварки. Плавно регулируемая длительность импульса сварочного тока находится на уровне $0,01 \div 0,5$ с.

На практике ячейки СК следует объединять в батареи для получения необходимых и приемлемых токов нагрузки емкостного накопителя энергии. Количество последовательно соединенных ячеек в такой батарее определяет ее рабочее напряжение, а количество параллельно соединенных ветвей — ее максимальный рабочий ток и КПД, что необходимо учитывать при создании БСК. В связи с тем, что СК имеет некоторое внутреннее сопротивление потерь R_0 , накопленная в нем энергия в процессе разряда выделяется не только на сопротивление нагрузки R_n , но и на R_0 . Очевидно, что чем выше R_0 по отношению к R_n , тем больше уровень потерь в СК и, как следствие, меньше уровень энергоотдачи накопителя в нагрузку в процессе его работы. Понятно, что это приходится учитывать при использовании БСК. Более того, при проектировании современного сварочного и другого технологического оборудования с применением БСК в качестве энергетического накопителя желательно учитывать не только эффективность батареи и ее весогабаритные показатели, но и экологические требования потребителей электроэнергии, а также экономические критерии, определяемые в том числе стоимостью электроэнергии и эксплуатационными расходами.

1. Патон Б. Е., Коротынский А. Е., Драченко Н. П. и др. Использование суперконденсаторов для повышения энергоэффективности устройств для точечной контактной сварки // Тр. Междунар. научно-практ. конф. «Энерго- и ресурсосбережение в промышленности, энергетике и транспорте». – Киев, 2009. – С. 54–58.
2. Кучук-Яценко С. И., Лебедев В. К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. – Киев: Наук. думка, 1976. – 213 с.
3. Пат. 92389 Украина, МПК В 23 К 9/20. Апарат для приваривания шпильок / Б. С. Патон, М. П. Драченко, Д. М. Калеко, О. Е. Коротинский та ін. Опубл. 25.10.2010.
4. Коротынский А. Е. Состояние, тенденции и перспективы развития высокочастотных сварочных преобразователей (обзор) // Автомат. сварка. – 2002. – № 7. – С. 50–63.
5. Шурьгина В. Суперконденсаторы — помощники или конкуренты батарейным источникам питания // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2003. – Т. 3. – С. 20–24.
6. Сизов М. Устройство для выравнивания напряжений на элементах батареи суперконденсаторов // Совр. электроника. – 2003. – № 1. – С. 40–43.
7. Еременко В., Воронцов К., Варламов Д. Аппаратные методы повышения энергетической эффективности высоковольтных аккумуляторных батарей // Электр. компоненты – Украина. – 2007. – № 7/8. – С. 62–66.

Поступила в редакцию 21.10.2013

АВТОМАТ ДЛЯ ДУГОВОЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ МОКРЫМ СПОСОБОМ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ*

В. А. ЛЕБЕДЕВ¹, С. Ю. МАКСИМОВ¹, В. Г. ПИЧАК¹, Д. И. ЗАЙНУЛИН²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² «Greenfield Energy Limited», Великобритания

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология и оборудование, позволяющие способом мокрой дуговой сварки порошковой проволокой в автоматическом режиме выполнять сварку конструктивных элементов, надежно изолирующих нижнюю часть колонны теплообменника. Уникальность работы состоит в создании сварочного автомата, способного работать погруженным в трубу внутренним диаметром 119 мм на глубину 200 м в среду жидкого теплоносителя. При разработке полуавтомата использовали специальные моментные электроприводы для механизмов подачи электродной проволоки и сварочного перемещения. Был разработан специальный кабель со сварочными кабелями и проводами управления, способными работать на большом расстоянии от источников питания дуги и системы управления. Разработана конструкция разматывателя кабеля с цифровой регистрацией положения автомата по длине трубы. Результаты апробации показали, что применение специального сварочного автомата позволяет повысить надежность теплообменника, сократить временные потери при выполнении работ по его герметизации, рационально использовать монтажную площадь, снизить финансовые затраты. Библиогр. 5, рис. 8.

Ключевые слова: дуговая мокрая сварка, геотермальные теплообменники, герметизация, автомат, источник питания, разматыватель кабеля, система управления

Способ механизированной дуговой сварки мокрым способом, оборудование и порошковая проволока для его реализации были предложены в ИЭС им. Е.О. Патона [1] и получают в настоящее время развитие в различных сферах. Это ремонт кораблей и судов, подводных продуктопроводов, портовых подводных сооружений и др. [2, 3].

Одним из новых объектов эффективного применения сварки мокрым способом являются комплексы компании «Greenfield Energy Limited» – разработчика технологии и оператора энергоэффективных комплексов «Geoscart™», объединяющих такие системы обеспечения производственных потребностей, как отопительные системы замкнутого цикла, системы подготовки расходной горячей воды для производственных нужд, холодильные установки и системы кондиционирования воздуха.

Система «Geoscart™» была разработана для управления тепловыми потоками общественных и коммерческих зданий и предприятий с непрерывным энергопотреблением высокой плотности, такими, как современные супермаркеты, предприятия гостиничного бизнеса повышенного класса, стационарные больничные комплексы, а также удовлетворения производственных потребностей предприятий пищевой и фармакологической промышленности. Одной из главных функциональных особенностей системы «Geoscart™» является

возможность сохранять излишки тепловой энергии до момента, когда возникает дефицит этой энергии. Компания использует геотермальные теплообменники специальной конструкции для быстрой и эффективной передачи излишков или дефицита низкопотенциальной тепловой энергии, используя высокую плотность и теплоемкость геологических формаций, расположенных значительно ниже поверхностных грунтов. Стандартными глубинами для основной транзакции теплообменного процесса являются диапазоны до 200 м ниже уровня поверхности земли.

При строительстве теплообменников, количество которых может достигать нескольких десятков в зависимости от размера объекта, используются принципы, схожие с методами, применяемыми при бурении нефтегазовых скважин, но с некоторыми отличиями в технологии строительства. В частности, для замкнутых теплообменников необходима гарантированная изоляция нижней части эксплуатационной колонны во избежание потерь дорогостоящей теплопроводящей рабочей жидкости, производящейся из композиции экологически чистых пропиленгликолей, выделенных из растительной массы. Для этих целей используются заглушки специальной конструкции, изготовленные из органической невулканизированной уплотненной резины. Однако опыт эксплуатации теплообменников показал, что вследствие естественного старения материала заглушки в процессе эксплуатации ее размеры изменяются и появляется утечка

* В работе принимали участие В. К. Зяхор, И. С. Кузьмин, В. Г. Новгородский, Н. А. Поддубный, И. В. Лендел.



Рис. 1. Горловина трубы теплообменника и наружные условия выполнения работ

ка рабочей жидкости. Установка новой заглушки требует остановки работы комплекса. С учетом того, что теплообменники обычно располагаются на территории парковок автотранспорта вблизи обслуживаемого объекта, эта операция приводит к существенным финансовым потерям в дополнение к потерям эффективности работы при снижении уровня жидкости. В качестве альтернативы в ИЭС им. Е. О. Патона был предложен способ герметизации труб теплообменника путем установки и приварки доньшка.

Целью настоящей работы была разработка и внедрение специального сварочного автомата и технологии его применения для приварки заглушки-доньшка внутри трубы на глубинах до 200 м, что позволит уменьшить временные потери; сократить финансовые затраты; снизить потерю полезной площади; повысить надежность теплообменника.

Конструкция горловины трубы и условия выполнения работ показаны на рис. 1.

Условия и среда выполнения сварки определяют сложность решаемой задачи как по техническим, так и технологическим аспектам. В основу разработки был положен опыт ИЭС им. Е. О. Патона по созданию механизированного оборудования для сварки мокрым способом с применением специальных электродных порошковых проволок. Однако достаточно большие глубины сварки, крайне стесненные условия (внутренний диаметр трубы не превышает 120 мм), а также среда (25 %-й водный раствор пропиленгликоля), потребовали большого объема дополнительных исследований как по отдельным узлам сварочного оборудования, так и по технологии сварки и сварочным материалам, поскольку опыт конструирования оборудования и его применения в автоматическом цикле сварки для этих условий в ИЭС им. Е. О. Патона отсутствует, как и в мировой практике.

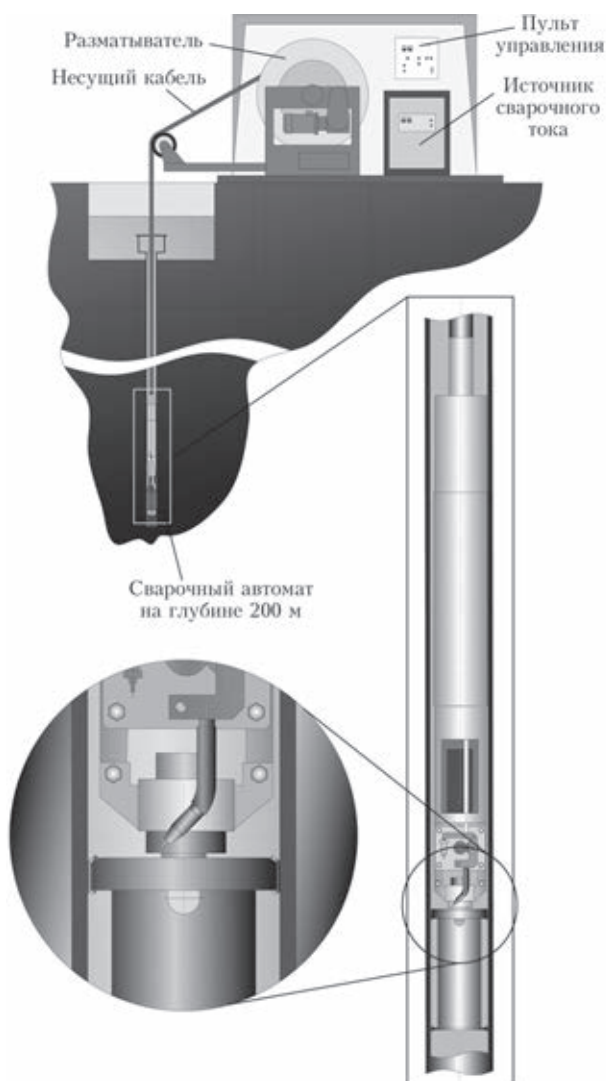


Рис. 2. Комплекс оборудования для автоматической сварки на большой глубине внутри трубы

Разработка собственно автомата для приварки доньшка на большой глубине – это только часть комплекса, в состав которого должен входить источник сварочного тока специальной разработки (удаленность места сварки с неизбежным падением сварочного напряжения в кабеле), специальный грузонесущий кабель с силовыми жилами и проводами управления, а также устройство для опускания и подъема сварочного автомата. Весь комплект оборудования и условия его применения приведены на рис. 2.

Алгоритм выполнения сварки предусматривает, что привариваемое доньшко специальной конструкции перед погружением устанавливается в зажиме сварочного автомата, а после приваривания и начала подъема автомата расцепляется с ним.

Учитывая, что все без исключения объекты комплекса не могли быть выбраны из промышленно выпускаемого оборудования, представляет интерес особенности их разработки и конструирования.

Рассмотрим автомат АДСП-200 для мокрой сварки на большой глубине в стесненных условиях. Автомат представляет собой трубчатую металлоконструкцию, объединяющую следующие основные узлы: модуль подачи электродной проволоки, модуль вращения сварочной головки (механизма подачи), модуль контактных узлов. Модуль подачи и модуль вращения выполнены на основе безредукторных компьютеризованных электроприводов постоянного тока в составе безколлекторных электродвигателей с конической передачей на подающий ролик. Модуль подачи состоит из устройства прижима электродной проволоки, мундштука с направляющим каналом и токоподводящим наконечником. Дополнительно модуль включает колебатель мундштука, а также узел фиксации доньшка с регулятором усилия фиксации для гарантированного расцепления автомата с доньшком после цикла сварки, а также скользящим контактным узлом токопередачи сварочного напряжения (обратный кабель «-»). Введение в состав модуля колебателя мундштука обусловлено наличием достаточно больших зазоров между привариваемым доньшком и внутренней поверхностью трубы с одной стороны и невозможностью существенно увеличивать режимы сварки из-за возможного перегрева узлов автомата и прожога стенки трубы. Направляющий канал, в котором размещается необходимый для однофазового цикла сварки запас электродной проволоки, выполнен из пластика с низким коэффициентом трения. Длина канала 15...18 м. Учитывая стесненные условия, электродная проволока не наматывается как обычно на кассету, а находится в расправленном состоянии. При этом достигается два эффекта: экономия пространства для систем автомата и существенное снижение усилия при подаче. Для защиты от жидкой среды электродвигатель механизма подачи заключен в герметический бокс, заливаемый изолирующе-смазывающей жидкостью, и имеющий компенсирующую диафрагму, а также специальный герметичный разъем для подвода кабеля управления.

Основные сложности при разработке автомата для сварки АДСП-200 состояли в выборе компоновочных решений в крайне ограниченном пространстве с проведением большого количества экспериментальных исследований с созданием макетов узлов сварочного оборудования и имитацией условий сварки. Это дало возможность эффективного решения задачи разработки колебателя мундштука оригинальной конструкции, привод которого совмещен с приводом подачи электродной проволоки,

и, как следствие, увеличения требуемого момента на валу приводного электродвигателя. Невозможность установки датчиков положения мундштука относительно свариваемого стыка определила поиски технических решений в двух направлениях. Перед опусканием автомата мундштук ориентируется по будущему зазору относительно закрепленного в зажим доньшка. Начало и окончание сварки возможно с любого места и программируется заранее контроллерной системой управления модулем поворота с анализом пути, пройденного мундштуком, а далее по аналогичному алгоритму производится операция перекрытия шва автоматом.

На рис. 3 представлен внешний вид сварочного автомата АДСП-200 в положении перед погружением для сварки.

Следует отметить сложность задачи подвода и герметизации сварочных кабелей и проводов управления. Большая длина предопределила необходимость разработки технических решений по их быстрой стыковке с системами автомата и герметизации. Это и специальные глубоководные разъемы, и заливаемые легкоплавкими диэлектриками муфты.

Источник сварочного тока типа ВДУ 25-506 МП. Очевидно, что используя традиционные источники сварочного тока с жесткими внешними вольт-амперными характеристиками (ВАХ), реализовать процесс сварки с требуемыми характеристиками на значительном удалении объекта сварки невозможно. Это следует из экспериментальных исследований и выводов работы [4]. Из-за больших длин сварочных кабелей ограниченного сечения (увеличивается активное сопротивление внешней цепи, а, следовательно, повышается падение напряжения на кабеле) существенно изменяется ВАХ источника в зоне горения дуги. При этом компенсация падения напряжения во внешней цепи за счет увеличения напряжения не приводит к необходимому результату. Заметно меняется индуктивность системы «источник-дуга», что отрицательным образом

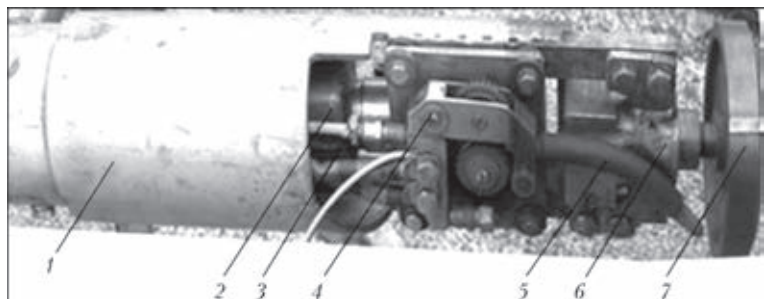


Рис. 3. Автомат для сварки в стесненных условиях на большой глубине: 1 — корпус; 2 — механизм вращения; 3 — направляющий канал; 4 — подающий механизм с колебателем мундштука; 5 — мундштук; 6 — крепление и элементы токопередачи на доньшко; 7 — доньшко



Рис. 4. Источник сварочного тока для работы с удаленными объектами

сказывается на характере горения дуги и переносе электродного металла. Для решения этих задач был разработан и изготовлен специализированный источник ВДУ 25-506 МП для механизированной и автоматической сварки при большом удалении подающего механизма (автомата) от источника питания, в том числе и мокрой автоматической сварки на глубине 200 м. На рис. 4 представлен внешний вид источника ВДУ 25-506 МП.

Для обеспечения высокого качества сварки при применении различных видов электродной проволоки источник имеет возможность регулирования динамических характеристик для установки необходимой для конкретного типа проволоки скорости нарастания тока. Возможность таких дополнительных регулировок обеспечивается с помощью программируемого логического контроллера фирмы «Molleg» (Германия). Применение принципа пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования динамики сварочного контура для создания необходимых характеристик источника питания при работе с длинными сварочными кабелями позволяет гарантировать его стабильную работу во всем диапазоне регулировок и повторяемость выбранных параметров настройки.

Кабель. Как показали результаты экспериментирования по возможностям передачи сварочного тока, сигналов управления и регулирования, единственно правильным техническим решением для работы в стесненных условиях является объединение всех электрических цепей в одном кабеле, который, к тому же, должен быть грузонесущим,

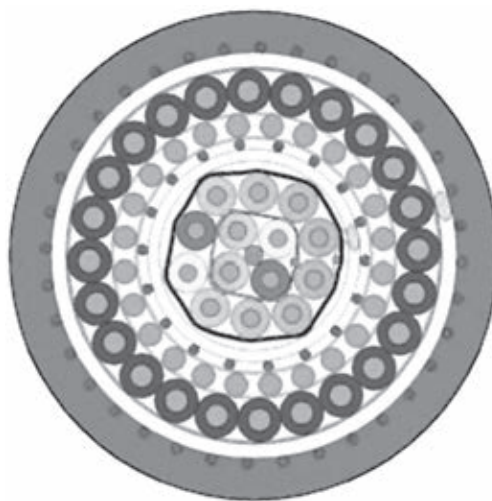


Рис. 5. Сечение кабеля для подводной автоматизированной сварки

т. е. выдерживать массу автомата, собственную массу, а также преодолевать гидростатическое сопротивление среды на этапах погружения и извлечения.

В промышленности отсутствуют кабели, способные удовлетворить такой комплекс требований. Решить все определенные выше задачи оказалось возможным при целенаправленной разработке кабеля, который получил техническое название «Кабель гибкий бронированный упрочненный погружной для электрической сварки КГБУПЭС 2x95+(4x2,5)э+(10x2,5)э» [5].

Основные технические характеристики кабеля

расчетная масса 1 км кабеля, кг.....	3850
наружный диаметр кабеля, мм.....	47,5
растягивающее усилие, Н не менее.....	20000
минимальный радиус внутренней петли изгиба кабеля в наружных диаметрах кабеля, не менее.....	8

Следует отметить, что все проводники с рациональной разбивкой по жилам и проводникам для обеспечения надежной изоляции и гибкости изготовлены из меди. Проводники питания и управления выполнены экранированными. На кабель нанесены мерные (на расстоянии одного метра) метки для дополнительного контроля длины его разматывания или сматывания. Поперечное сечение сложной конструкции кабеля КГБУПЭС 2x95+(4x2,5)э+(10x2,5)э показано на рис. 5. Обеспечение прочности кабеля при значительном растягивающем усилии осуществляется дополнительно введенными стальными охватывающими гибкими элементами, в том числе гибкой броней. Дополнительное упрочнение обеспечивалось большим количеством лавсановых нитей разного диаметра. Изоляция каждого проводника и слоя проводников выполнялась с применением надежных современных изолирующих материалов — ПЭТ-Э пленки, фолсан и др. с многократным (3...4 раза) перекрытием.

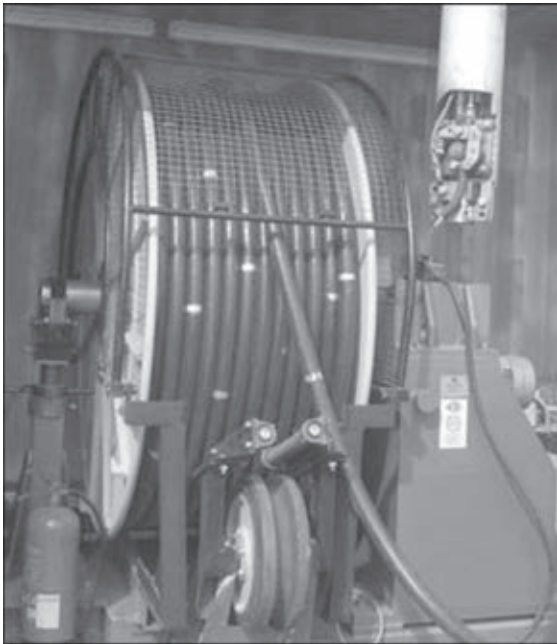


Рис. 6. Внешний вид разматывателя кабеля

Разматыватель кабеля. Разматыватель кабеля предназначен для хранения, транспортировки, подъема и опускания сварочного автомата в трубу на глубину 200 м и его последующего извлечения и представляет собой барабан решетчато-стержневой конструкции, установленный на приводном валу вращателя. Вал с другого конца дополнительно опирается на регулируемую по положению роликоопору (люнет). Вращательное движение вала с барабаном с регулируемой частотой осуществляется от регулируемого частотного электропривода с асинхронным электродвигателем, соединенным через редуктор с валом барабана. Конструкция барабана предусматривает наличие

специальной кабельной коробки для оперативного подключения сварочных кабелей и кабелей управления. Вся конструкция барабана, вращателя и роликоопоры установлена на сварной станине.

Разматыватель включает собственную локальную систему управления и регулирования, позволяющую управлять как направлением вращения барабана, так и частотой его вращения. Для удобства ведения погружения или подъема автомата разматыватель имеет выносной пульт управления. Кроме того, разматыватель содержит направляющий ролик, обеспечивающий стабильное движение кабеля в трубу к месту сварки. Ролик снабжен обрезиненной торцевой канавкой, позволяющей иметь сцепление ролика с кабелем при его размотке. Ролик также связан с датчиком пути инкрементального типа (цифровой преобразователь движения кабеля), обеспечивающего отсчет длины размотанного (опущенного к месту сварки) кабеля с цифровой визуализацией результата. На рис. 6 представлен рассматриваемый разматыватель в положении подготовки автомата к погружению.

Основные технические характеристики разматывателя кабеля

диаметр барабана минимальный, мм	100
номинальная частота вращения, об/мин	0,267
диапазон регулирования частоты вращения.....	1:10
номинальный момент, Н·м	40095

Система управления и регулирования автомата АДСП-200. Система предназначена для наладочного управления направлением вращения электродвигателей механизмов подачи электродной проволоки и вращения, установления (задания) скоростей подачи проволоки и сварочного перемещения (вращения механизма подачи). Система управления и регулирования базируется на модуле управления циклами сварки, которых может быть несколько и которые отличаются по способу возбуждения дуги и заварки кратера шва. Модуль создан на базе программируемого контроллера. В состав этой системы также входят модули контроллерного управления электродвигателями автомата с возможностью установки и контроля частот вращения их валов, а также управления циклами сварки. Каждый из модулей снабжен собственным блоком стабилизированного питания. Все сказанное выше размещено в специальном пульте управления с элементами герметизации (рис. 7). В этом же пульте, но отдельно, размещено согласующее оборудование, например, развязывающие реле для дистанционного управления источником сварочного тока. На лицевой панели пульта установлены сигнальная арматура, элементы защиты от перегрузок и токов короткого замыкания, элементы управления и регулирования, а также стрелочные контрольно-измерительные

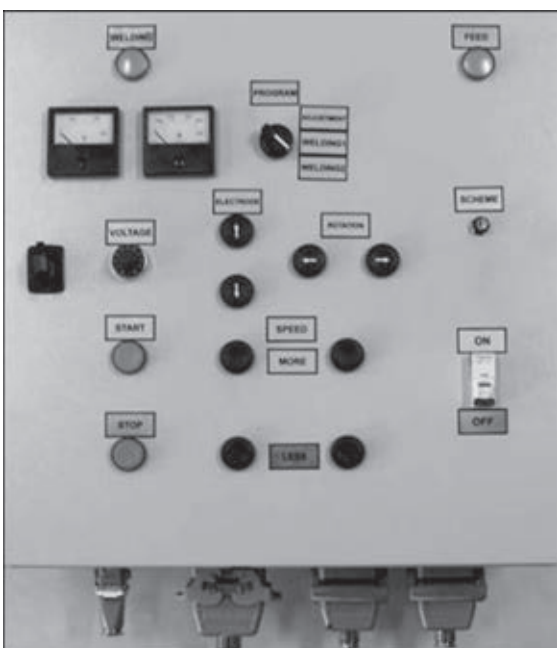


Рис. 7. Внешний вид пульта управления автоматом АДСП-200

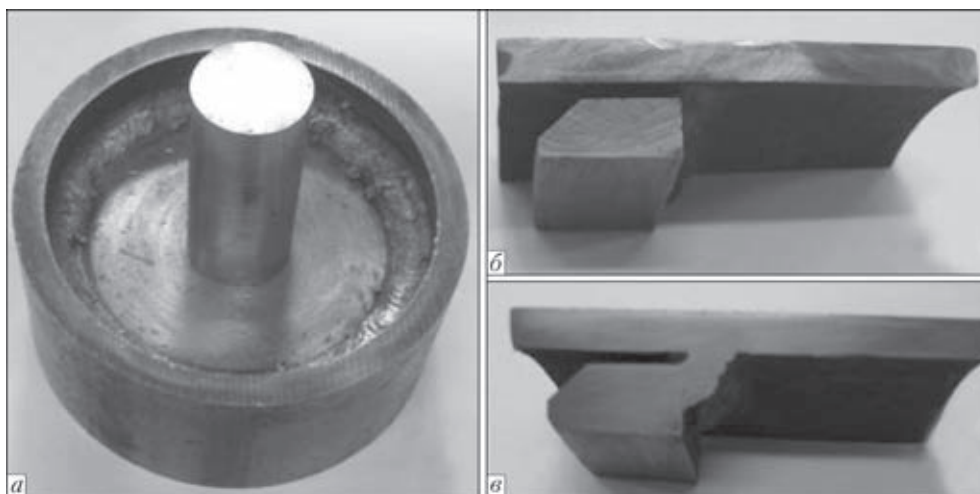


Рис. 8. Результаты приварки доньшка к внутренней поверхности трубы: *а* — кольцевой шов с перекрытием; *б* — реальный зазор между доньшком и трубой; *в* — форма сварного соединения

приборы. Связь с объектами управления осуществляется с помощью ряда разъемов.

Для проверки и наладки как отдельных узлов с автомата АДСП-200, так и комплекса в целом в ИЭС им. Е. О. Патона был создан специальный стенд, на котором проводили отработки элементов технологии. Глубоководные технологические эксперименты проводили в специальной барокамере. Некоторые результаты испытаний представлены на рис. 8. Следует отметить, что цикл сварки состоит из двух этапов: фиксация доньшка с использованием дугового процесса, предотвращающая вращение автомата с доньшком относительно трубы и выполнение цикла сварки по контуру зафиксированного доньшка с перекрытием шва.

Комплекс прошел производственную апробацию на объекте «GFE» (г. Лондон). Полученные результаты показали, что применение специального сварочного автомата позволяет повысить надежность теплообменника, сократить временные потери при выполнении работ по его герметизации, рационально использовать монтажную площадь, снизить финансовые затраты.

Выводы

1. Предложена технология и оборудование, позволяющие способом мокрой дуговой сварки порошковой проволокой в автоматическом режиме осуществить сварку конструктивных элементов, надежно изолирующих нижнюю часть колонны теплообменника.

2. Разработан сварочный автомат, способный работать погруженным в трубу с внутренним диаметром 119 мм на глубину 200 м в среду жидкого теплоносителя.

1. Савич И. М., Смолярко В. Б., Камышев М. А. Технология и оборудование для полуавтоматической подводной сварки металлоконструкций // Нефтепромысл. стр-во. – 1976. – № 1. – С. 10–11.
2. Кононенко В. Я., Рыбченков А. Г. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов // Автомат. сварка. – 1994. – № 9/10. – С. 29–32.
3. Кононенко В. Я., Грицай П. М. Мокрая механизированная сварка при ремонте корпусов судов // Морской флот. – 1994. – № 11–12. – С. 21–22.
4. Анализ возможности отработки системой саморегулирования характерных возмущений по длине дуги при подводной механизированной сварке / В. К. Лебедев, Ю. А. Узилевский, И. М. Савич, В. Я. Кононенко // Подводная сварка и резка металлов. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. – С. 10–23.
5. Высококачественные шланг-пакеты для подводной сварки и резки / В. Н. Мартинович, Н. П. Мартинович, В. А. Лебедев и др. // Автомат. сварка. – 2010. – № 9. – С. 42–44.

Поступила в редакцию 02.04.2014

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ШУМА ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО¹, В. А. КУЛЕШОВ¹, А. Ю. АРЛАМОВ²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² НТУУ «Киевский политехнический институт». 03056, г. Киев, ул. Дашавская, 6/2

Представлены результаты измерений характеристик шума на рабочем месте на расстоянии 0,55 м от сварочной дуги при применении покрытых электродов, предназначенных для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Установлено, что эквивалентный уровень звука составляют 83...86 дБА, а максимальный уровень не превышает 93 дБА. Показано, что при сварке покрытыми электродами уровень шума линейно повышается с увеличением сварочного тока, при этом основной вклад в шум на рабочем месте вносит сварочный процесс, а шум от генератора тока и вентиляционного оборудования находится в пределах погрешности измерений. Приведены данные, которые можно использовать для санитарно-гигиенической оценки уровня шума на рабочем месте при конкретных процессах дуговой сварки. Библиогр. 13, табл. 7, рис. 1.

Ключевые слова: электродуговая сварка, сталь, электроды МР-3, УОНИ-13/55, АНО-4, АНО-12, АНО-36, уровень шума, санитарно-гигиеническая оценка

Сварочные и родственные технологии остаются источниками многих опасных и вредных производственных факторов, в том числе и акустического шума [1, 2]. С психофизиологической и социально-экономической точек зрения шум — это любой вредный для здоровья звук, мешающий восприятию полезных сигналов и снижающий работоспособность человека [3]. В структуре профессиональной заболеваемости такой вид «шумовой болезни» как тугоухость вместе с заболеваниями органов дыхания, опорно-двигательного аппарата и с вибрационной болезнью составляет основную группу заболеваний работников промышленности [4].

Из 80-ти сварочных технологий согласно ISO 857-1:1998 [5] избыточный шум, превышающий предельно допустимый уровень (ПДУ) [6], присущ многим сварочным процессам. Так, из способов сварки плавлением выделяется газовая, лазерная, плазменная и электродуговая сварка, из способов сварки давлением — магнитно-импульсная, ударная, ультразвуковая и сварка взрывом, из комбинированных способов — контактная сварка. Однако в отечественных публикациях количественные данные об акустическом шуме в сварочном производстве, как правило, не приводятся [1].

Цель данной работы заключалась в исследовании шумовой обстановки на рабочем месте при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (МР-3, УОНИ-13/55, АНО-4, АНО-12, АНО-36),

предназначенными для сварки углеродистых и низколегированных сталей.

Методика исследований. Уровни шума определяли в процессе ручной наплавки электродами диаметром 4 мм с различными видами покрытий (табл. 1) на стальную пластину Ст.3, расположенную на сварочном столе при работающей местной вытяжной вентиляции производительностью 1700 м³/ч и мощностью 2 кВт. В качестве источника питания использовали сварочный выпрямитель ВДУ-506. Расстояние от места горения дуги до ближайшей стенки составляло не менее 0,5 м. Рабочее место сварщика находилось на расстоянии 0,55 м от сварочной дуги.

Параметры шума измеряли интегрирующим измерителем уровня звука первого класса точности (шумомер модели 2230 фирмы Brüel & Kjær), функциональные и технические характеристики которого соответствуют требованиям межгосударственного стандарта стран СНГ ГОСТ 17187–2010 [7]. Шумомер имеет свидетельство о поверке и позволяет определять характеристики шума с точностью до 1 дБ.

Измерения и санитарно-гигиеническую оценку шума на рабочем месте проводили в соответ-

Таблица 1. Характеристики электродов, применяемых для определения уровня шума при ручной наплавке

Марка	Вид покрытия	$I_{ср}$, А
МР-3	Рутиловый	140...220
УОНИ-13/55	Основной	130...160
АНО-4	Рутиловый	140...210
АНО-12	Основной	140...210
АНО-36	Рутил-целлюлозный	130...180



Таблица 2. Уровень фонового шума на рабочем месте сварщика на расстоянии 0,55 м от дуги

Параметры шума, дБА								
$L_{\text{экв}}$			$L_{\text{p max}}$			$L_{\text{p min}}$		
Количество измерений								
1	2	3	1	2	3	1	2	3
69,1	69,1	69,2	78,4	78,7	78,9	66,9	66,8	66,5

ствии с требованиями ГОСТ 12.1.003–83, ГОСТ 12.1.050-86 и ДСН 3.3.6.037–99 [8–10]. Длительность измерения равнялась длительности горения электродов (около 60 с). Каждое измерение повторяли три раза. Составной частью технологического шума являлся шум, производимый генератором тока и оборудованием вентиляции воздуха. Измерение фонового шума, производимого вспомогательным оборудованием, выполняли перед началом процесса электродуговой наплавки. При всех измерениях регистрировали уровни шума с частотной коррекцией А (дБА), необходимые для установления временного характера шума и проведения санитарно-гигиенической оценки [6]: эквивалентный уровень звука $L_{\text{экв}}$, максимальный $L_{\text{p max}}$ и минимальный $L_{\text{p min}}$ уровни звукового давления.

Результаты исследований. Измеренные уровни фонового и технологического шума на рабочем месте оператора приведены в табл. 2, 3. Наплавку каждым типом электрода выполняли на токе почти на уровне значений максимально допустимого сварочного тока (см. табл. 3).

Используем полученные результаты для оценки шума при сварке L . Регистрируемый шум складывается из шума $L_{\text{св}}$, производимого процессом дуговой сварки, и фонового шума $L_{\text{ф}}$, создаваемого работой вспомогательного оборудования. Используя принцип аддитивности энергетических потоков в точке измерения [11], измеряемый уровень шума можно определить как

$$L = L_{\text{св}} + 10 \lg(1 + 10^{(L_{\text{ф}} - L_{\text{св}})/10}). \quad (1)$$

Если $L_{\text{св}} - L_{\text{ф}} \geq 10$, то $L \approx L_{\text{св}}$, т. к. добавка составляет не более 0,4 дБ и сопоставима с погрешностью измерений. Из анализа полученных данных (табл. 2, 3) следует, что это условие выполняется для всех измерений. Следовательно,

вкладом фонового шума можно пренебречь и рассматривать измеряемый шум как сварочный.

Определим точность полученных результатов [12]. Наилучшая оценка N измерений одной и той же величины L равна их среднему значению:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^N L_i / N.$$

Можно ожидать, что истинное значение измеряемой величины лежит в пределах $\bar{L} \pm \delta \bar{L}$. Полная погрешность состоит из инструментальной или систематической погрешности шумомера $\delta L_{\text{инстр}} = \pm 1$ дБА и случайной составляющей погрешности $\delta \bar{L}_{\text{сл}}$, источником которой, в первую очередь, является неравномерность технологического процесса сварки. Случайная погрешность равна погрешности среднего значения:

$$\delta \bar{L}_{\text{сл}} = \sigma_L = \frac{\sigma_L}{\sqrt{N}},$$

где стандартное или среднеквадратичное отклонение единичного измерения равно

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (L_i - \bar{L})^2}.$$

Тогда полная погрешность будет

$$\delta \bar{L} = \sqrt{(\delta L_{\text{инстр}})^2 + (\delta \bar{L}_{\text{сл}})^2}.$$

Полагая, что $L = L_{\text{экв}}$ и $L = L_{\text{p max}}$, находим для данных в табл. 3 значения соответствующих ошибок (табл. 4, 5).

Из табл. 4, 5 следует, что погрешность измерений полностью определяется величиной инструментальной ошибки и, следовательно, дальнейшее увеличение количества измерений (больше 3-х) не приведет к уменьшению полной ошибки. Поскольку погрешность равна ± 1 дБА, уровень шума представлен с точностью до 1 дБА. Итоговые результаты анализа всех полученных данных сведены в табл. 6.

Рассмотрим характер зависимости уровня шума от сварочного тока в пределах его номинальных значений для электрода МР-3, применяемого при наиболее широком диапазоне значений сварочного тока (см. табл. 1). Результаты измерений шума на расстоянии 1 м от дуги даны в табл. 7.

Таблица 3. Уровень технологического шума на рабочем месте сварщика на расстоянии 0,55 м от дуги при наплавке электродами различных марок

Марка электрода	$I_{\text{св}}, \text{ А}$	Параметры шума, дБА								
		$L_{\text{экв}}$			$L_{\text{p max}}$			$L_{\text{p min}}$		
		Количество измерений								
1	2	3	1	2	3	1	2	3		
МР-3	200	83,1	83,4	82,7	89,6	90,1	89,9	68,3	68,4	67,9
УОНИ-13/55	150	82,4	82,8	82,4	90,5	90,3	91,9	68,7	69,3	69,0
АНО-4	200	86,0	85,9	86,1	89,3	90,0	90,4	70,2	69,8	70,1
АНО-12	200	84,6	84,2	84,7	92,8	92,7	93,0	69,5	69,5	69,4
АНО-36	170	83,5	83,4	83,2	92,1	89,9	91,9	68,0	67,9	68,1

Таблица 4. Погрешность при измерениях эквивалентного уровня звука, дБА

Марка электрода	Измеренный $L_{э\text{кв}}$			\bar{L}	$\delta L_{\text{инстр}}$	$\delta \bar{L}_{\text{сл}}$	$\delta \bar{L}$	Погрешность измерения $L_{э\text{кв}}$
	Количество измерений							
	1	2	3					
MP-3	83,1	83,4	82,7	83,1	1	0,2	1	83 ± 1
УОНИ-13/55	82,4	82,8	82,4	82,5	1	0,1	1	83 ± 1
АНО-4	86,0	85,9	86,1	86,0	1	0,1	1	86 ± 1
АНО-12	84,6	84,2	84,7	84,5	1	0,2	1	85 ± 1
АНО-36	83,5	83,4	83,2	83,4	1	0,1	1	83 ± 1

Таблица 5. Погрешность при измерениях максимального уровня звука, дБА

Марка электрода	$L_{p \text{ max}}$			\bar{L}	$\delta L_{\text{инстр}}$	$\delta \bar{L}_{\text{сл}}$	$\delta \bar{L}$	Погрешность измерения $L_{p \text{ max}}$
	Количество измерений							
	1	2	3					
MP-3	89,6	90,1	89,9	89,9	1	0,1	1,0	90 ± 1
УОНИ-13/55	90,5	90,3	91,9	90,9	1	0,5	1,1	91 ± 1
АНО-4	89,3	90,0	90,4	89,9	1	0,3	1,0	90 ± 1
АНО-12	92,8	92,7	93,0	92,8	1	0,1	1,0	93 ± 1
АНО-36	92,1	92,0	89,9	91,3	1	0,5	1,1	91 ± 1

Таблица 6. Уровень шума на рабочем месте сварщика на расстоянии 0,55 м от дуги при наплавке электродами различных марок

Марка электрода	Вид покрытия	$I_{\text{св}}, \text{А}$	$I_{\text{напл}}, \text{А}$	$L_{э\text{кв}}, \text{дБА}$	$L_{p \text{ max}}, \text{дБА}$
MP-3	Рутиловый	140...220	200	83 ± 1	90 ± 1
УОНИ 13/55	Основной	130...160	150	83 ± 1	91 ± 1
АНО-4	Рутиловый	140...210	200	86 ± 1	90 ± 1
АНО-12	Основной	140...210	200	85 ± 1	93 ± 1
АНО-36	Рутил-целлюлозный	130...180	170	83 ± 1	91 ± 1

Таблица 7. Уровень шума на расстоянии 1 м от дуги при сварке электродами MP-3 на разном сварочном токе

$I_{\text{св}}, \text{А}$	Параметры шума, дБА								
	$L_{э\text{кв}}$			$L_{p \text{ max}}$			$L_{p \text{ min}}$		
	Количество измерений								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
150	79,8	80,3	80,2	85,9	88,9	84,9	73,6	76,4	72,1
180	81,3	81,1	81,1	85,1	85,4	85,8	79,0	78,6	78,4
210	82,7	82,4	82,4	86,0	85,9	85,6	80,3	80,3	80,1
	$L_{\text{ф}}, \text{дБА}$								
	68,1	68,0	68,3	73,8	74,6	75,1	66,9	67,5	68,0

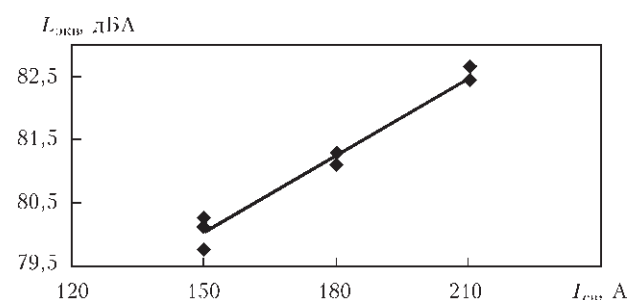
Методом наименьших квадратов [12] установлена следующая линейная зависимость между полученными данными (рисунок):

$$L_{э\text{кв}} = 0,04I_{\text{св}} + 74,056. \quad (2)$$

Квадрат величины линейной корреляции $R^2 = 0,9705$ указывает на высокую степень достоверности установленной линейной зависимости уровня шума от величины сварочного тока. Од-

нако из результатов проведенных исследований очевидно, что количественно повышение силы тока на уровень шума влияет незначительно. Так, увеличение тока на 40 % привело к росту уровня шума всего на 2,5 %. Понятно, что уровень производимого шума при наплавке электродами других типов и на других расстояниях от источника шума будет также линейно зависеть от силы тока, поскольку физическая сущность возникновения и распространения акустического шума при дуговой сварке на различных режимах одна и та же, а именно: уровень шума определяется стабильностью горения дуги.

Санитарно-гигиеническая оценка шума. Согласно требованиям ГОСТ 12.1.003–83 [8] определим временной характер шума и соответствующие ограничения на уровень контролируемых акустических параметров. Поскольку изменение уровня звука во время всех измерений превышает



Зависимость уровня шума от сварочного тока при наплавке электродами MP-3



5 дБА (см. табл. 2 и 3), шум при электродуговой сварке следует классифицировать как непостоянный. Для непостоянного шума ПДУ приняты для $L_{\text{экв}}$ и $L_{\text{p max}}$. ПДУ зависит от вида деятельности с учетом тяжести и напряженности труда. В данной работе ручная дуговая сварка рассматривается как физическая работа, связанная с точностью, сосредоточенностью или периодическим слуховым контролем. Для такого вида труда за 8-часовой рабочий день безопасный для персонала уровень $L_{\text{экв}}$ не должен превышать 80 дБА, а максимальный уровень звука на рабочем месте — 110 дБА. Как следует из измеренных значений (см. табл. 6), последнее условие выполняется, в то время как уровень шума превышает нормативный ПДУ. Однако неправильно утверждать, что ПДУ был превышен [13], поскольку сравнение необходимо проводить на одной временной базе, равной 8-ми часам. У нас же единичное измерение продолжалось только 1 мин. На практике процессы наплавки и сварки протекают прерывисто. При этом продолжительность шумовых эпизодов может быть намного меньше 8 ч, а уровень шума при этом значительно выше 80 дБА. Нормами допускается работа в условиях повышенного (больше 80 дБА) уровня шума, но ее продолжительность должна быть соответственно уменьшена по методике, регламентированной ГОСТ 12.1.050-86 [9].

Выводы

1. Установлено, что электродуговой процесс сварки покрытыми электродами вносит определяющий вклад в шум на рабочем месте, а вклад шума, создаваемого генератором тока и вентиляционным оборудованием, пренебрежимо мал и находится в пределах погрешности измерений.

2. Уровень производимого шума линейно растет с увеличением силы сварочного тока, но изме-

нение уровня в диапазоне значений номинальных токов незначительное.

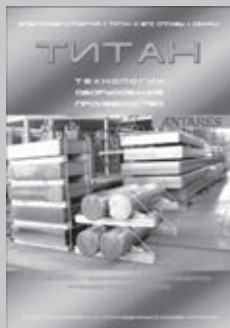
3. Эквивалентный уровень звука находится в пределах 83...86 дБА, а максимальный уровень не превышает 93 дБА. Уровни зарегистрированного шума формально превышают ПДУ (80 дБА), регламентированный нормативными документами для этого вида трудовой деятельности при 8-часовой рабочей смене. Однако для корректной санитарно-гигиенической оценки необходимо проводить сравнение на единой временной базе.

4. Приведенные данные могут быть использованы для санитарно-гигиенической оценки шумовых эпизодов конкретных процессов электродуговой сварки.

1. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навч. пос. для студентів зварюв. спец. — Київ: Основа, 2010. — 240 с.
2. Энциклопедия МОТ. Сварка и огневая резка // <http://base.safework.ru/loenc>
3. Юдин Е. Я., Борисов Л. А., Горенштейн И. В. и др. Борьба с шумом на производстве: Справ. / Под общей ред. Е. Я. Юдина. — М.: Машиностроение, 1985. — 400 с.
4. Кононова І. Г. Професійна захворюваність серед працівників підприємств машинобудування // Укр. журн. проблем медицини праці. — 2010. — № 1(21). — С. 9–14.
5. ISO 857-1:1998. Welding and allied processes — Vocabulary — Pt 1: Metal welding processes. — Publ. 12.01.1998.
6. Левченко О. Г., Кулешов В. А. Производственный шум. Ч. 1 // Сварщик. — 2013. — № 2. — С. 36–41.
7. ГОСТ 17187–2010. Шумомеры. Ч. 1: Технические требования. — Введ. 01.11.2012.
8. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности. — Введ. 01.07.84.
9. ГОСТ 12.1.050–86. Методы измерения шума на рабочих местах. — Введ. 01.01.87.
10. ДСН 3.3.6.037–99. Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука. — Введ. 01.12.99.
11. Грінченко В. Т., Вовк Ш. В., Мацітура В. Т. Основи акустики. — Киев: Наук. думка, 2007. — 640 с.
12. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. — М.: Мир, 1985. — 272 с.
13. Левченко О. Г., Кулешов В. А. Производственный шум. Ч. 2 // Сварщик. — 2013. — № 3. — С. 44–48.

Поступила в редакцию 17.02.2014

ТИТАН. ТЕХНОЛОГИИ. ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОИЗВОДСТВО. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2011. — 324 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.



Сборник включает 70 статей, опубликованных в журналах «Современная электротехнология» и «Автоматическая сварка» за период 2005–2010 гг., по электротехнологии, сварке титана и его сплавов. Тематика статей посвящена созданию новых технологических процессов и оборудования для производства и сварки титана. Сборник предназначен для широкого круга инженеров, технологов, конструкторов, занятых в машиностроении, энергетике, строительстве, судостроении, металлургии и других отраслях промышленного производства, связанных с обработкой и потреблением титана; полезен также преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Г. М. ГРИГОРЕНКО — 75



В августе 2014 г. исполнилось 75 лет академику НАН Украины, известному ученому в области специальной электрометаллургии и материаловедения, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственной премии УССР Георгию Михайловичу Григоренко.

Вся трудовая и научная деятельность Георгия Михайловича связана с Институтом электросварки им. Е. О. Патона, куда он поступил после окончания в 1961 г. Киевского политехнического института и прошел путь от инженера до руководителя одного из ведущих научных отделов.

С первых дней работы в ИЭС им. Е. О. Патона Георгий Михайлович занимается исследованием физико-химических процессов при сварке и переплаве металлов и сплавов. В 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1983 г. — докторскую, в 1997 г. был избран членом-корреспондентом, а в 2008 г. — академиком НАН Украины.

С 1969 г. Г. М. Григоренко занимается решением задач, стоящих перед специальной электрометаллургией, разрабатывает технологию выплавки высокоазотистых сталей легированием металла из газовой фазы. Работает над созданием и внедрением в производство плазменно-дуговых печей и технологии выплавки слитков сталей и сплавов. Принимает участие в разработке промышленной технологии выплавки высокоазотистых сталей в плазменно-дуговой печи на заводе «Электросталь». Руководит работами по освоению технологии выплавки слитков в вакуумно-дуговых печах способом переплава расходуемого плазмотрона на заводе «Днепроспецсталь».

Многие годы занимается разработкой технологии плавки титановых сплавов в гарнисажных печах на Запорожском моторостроительном заводе («Мотор Сич»). С 1973 г. руководит и принимает участие в проектировании, изготовлении и строительстве самой мощной плазменно-дуговой печи для выплавки титановых слитков из губки и кусковых отходов титана на Запорожском титаново-магниево-комбинате (1978 г.). В 1980 г. работа по плазменно-дуговой выплавке слитков сталей и сплавов была удостоена Государственной премии УССР в области науки и техники.

Многолетние фундаментальные исследования механизмов и закономерностей взаимодействия газов с жидкими металлами, газообменных процессов при плавлении и плавке металла с использованием электродугового и плазменного нагрева создали научные основы технологии выплавки высокоазотистых сталей в вакуумных печах, индукционно-плазменной плавки монокристаллов тугоплавких металлов, разработки способа и технологии дугошлакового переплава.

С 1984 г. Г. М. Григоренко возглавляет отдел физико-химических методов исследований материалов. С 1982 г. является заместителем заведующего базовой кафедрой физической металлургии и материаловедения Московского физико-технического института. С 1999 по 2013 гг. заведовал кафедрой целевой подготовки специалистов на сварочном факультете НТУУ «Киевский политехнический институт», неоднократно избирается председателем ГЭК в НТУУ «Киевский политехнический институт» и в Национальном университете кораблестроения им. Адмирала Макарова.

Как известный ученый в области материаловедения и электрометаллургии Г. М. Григоренко пользуется заслуженным признанием и высоким научным авторитетом в Украине и за рубежом. Он руководил разделом программы советско-американского научного сотрудничества в области электрометаллургии и сварки, проводит работы с учеными Массачусетского технологического института, Мичиганского и Стенфордского университетов, института Баттел в г. Коламбус. С 1995 г. и по настоящее время сотрудничает с Национальным политехническим институтом в г. Нанси (Франция).

С 1993 г. Г. М. Григоренко — заместитель главного редактора международного научно-теоретического и производственного журнала «Современная электрометаллургия». С 2010 г. возглавляет специализированный ученый совет по защита диссертаций и секцию ученого совета «Металлургия и материаловедение» при ИЭС им. Е. О. Патона.

Большое внимание Георгий Михайлович уделяет подготовке научных кадров и щедро делится своими знаниями с молодежью. Под его руководством подготовлено 7 докторских и 10 кандидатских диссертаций.

Г. М. Григоренко — автор свыше 600 научных работ, среди которых семь монографий (три изданы в Великобритании) и более 100 авторских свидетельств и патентов.



В августе исполнилось 75 лет Владимиру Федоровичу Демченко — известному ученому в области математического моделирования и вычислительных методов, доктору технических наук, профессору, ведущему научному сотруднику отдела физики газового разряда и техники плазмы Института

электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.

В. Ф. Демченко родился 3 августа 1939 г. в Киеве. После окончания в 1961 г. механико-математического факультета Киевского государственного университета им. Т. Г. Шевченко он работал в Институте кибернетики АН УССР, а с 1964 г. — в Институте электросварки им. Е. О. Патона, где основным направлением его научной деятельности стало математическое моделирование физических процессов, протекающих при сварке и в специальной электрометаллургии.

На протяжении своей 50-летней научной деятельности В. Ф. Демченко занимался проблемами тепло- и массообмена, гидро- и газодинамики, электромагнитными явлениями и теорией неравновесных фазовых превращений, физикой дуговой плазмы и кристаллизацией слитков, созданием компьютерных систем информационной поддержки сварочного производства и теоретической обработкой космических экспериментов по выращиванию монокристаллов в условиях невесомости. В опубликованных в последние годы работах В.Ф. Демченко и его коллег получила дальнейшее развитие теория процессов энерго-, массо- и электропереноса в многокомпонентной газоразрядной плазме, контактирующей с поверхностью испаряющегося металла, при дуговой, лазерной, а также гибридной сварке.

В. Ф. Демченко — автор и соавтор более 200 научных трудов, включая несколько монографий и изобретений. Награжден почетным знаком НАН Украины «За подготовку научной смены».

Сердечно поздравляем юбиляров, желаем им крепкого здоровья, творческих успехов в научной и педагогической деятельности, неиссякаемой энергии и большого человеческого счастья!

Контакты:

тел./факс: (38044) 200-82-77; 200-54-84

E-mail: journal@paton.kiev.ua

Подписано к печати 08.07.2014. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 17,09. Усл.-отт. 18,2. Уч.-изд. л. 20,00 + 4 цв. вклейки.

Печать ООО «Фирма «Эссе».

03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.

Опытному заводу сварочного оборудования Института электросварки им. Е. О. Патона — 55

В этом году Опытному заводу сварочного оборудования Института электросварки им. Е. О. Патона исполнилось 55 лет. Начиная с 1959 года, завод внедряет технологии и оборудование, разработанные отделами Института и ОКТБ ИЭС и предназначенные для высокоэффективной и экономичной автоматической сварки под флюсом, сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов, механизированной и автоматической импульсно-дуговой сварки и другое специализированное оборудование для многих отраслей промышленности. Разрабатываются и внедряются автоматизированные системы управления сварочным процессом для машиностроительных предприятий, серийно производятся трансформаторы и выпрямители для ручной и автоматической дуговой сварки и наплавки, сварочные полуавтоматы, аппараты аргонодуговой сварки, инверторная техника (МИГ-МАГ, ТИГ, ММА), установки и источники питания для электрошлаковых технологий, сварочные тракторы для автоматической сварки под флюсом и др.

Располагая собственными производственными мощностями, завод осуществляет весь комплекс работ по выпуску и тестированию сварочных аппаратов. Продукция Опытного завода вот уже более полувека пользуется высоким спросом как среди промышленных предприятий, так и в бытовом секторе на территории Украины и стран СНГ. Благодаря высокому качеству и оптимальным характеристикам оборудования, завод по праву считается лидером среди отечественных производителей сварочных аппаратов.

С 2011 г. сварочное оборудование марки «ПАТОН» представлено в торговых сетях Украины, среди которых Эпицентр, Новая линия, Олди и другие. Второй год подряд осуществляются регулярные поставки сварочных аппаратов в российскую торговую сеть СТД «Петрович».

Несмотря на нестабильную политическую обстановку и постоянные изменения в экономике стран СНГ, инженеры, конструкторы и технологи завода постоянно совершенствуют сварочные аппараты, отслеживая инновационные тенденции на рынке и стремясь максимально соответствовать ожиданиям потребителей.

Введение в этом году 5-летней гарантии на силовую часть инверторных источников питания для ручной дуговой и аргонодуговой сварки повысило лояльность конечных потребителей к продукции торговой марки «ПАТОН», а получение Сертификатов ЕС по электромагнитной совместимости и электробезопасности низковольтного электрооборудования на инверторные аппараты серий АДИ и ВДИ расширило рынки сбыта продукции завода.

В настоящее время разработчики завода проводят испытания полуавтоматического сварочного аппарата инверторного типа ПСИ-200М DC, предназначенного для проведения сварочных работ на токах 200-220 А. Инверторные источники серий АДИ и ВДИ проходят следующий этап модернизации — переход на цифровые платы управления, что позволит стандартным аппаратам ручного типа работать в режиме полуавтоматов, повышая качество процесса сварки.

Универсальный сварочный чоппер ЧСИ-315М, разработанный в мае этого года, также проходит испытания в опытном цехе завода. Этот аппарат будет интересен специалистам, занимающимся вопросами многостовой сварки. ЧСИ-315М обладает всеми свойствами инверторного источника и в то же время не зависит от изменений температуры и влажности, а также является более безопасным (не требуется питание 380В). Применение нескольких ЧСИ-315М, питающихся от одного источника, позволит исключить влияние сварочных постов друг на друга и проводить сварочные работы вне зависимости от колебания напряжения в сети и длины сварочных кабелей.

Статья на правах рекламы.





В стадии разработки находится классический сварочный аппарат ВДУ-1202П DC. Это универсальный сварочный выпрямитель, предназначение которого — сварка в среде углекислого газа, сварка под флюсом и воздушно-дуговая строжка угольным электродом. Особенность этого аппарата — плавное регулирование и стабилизация сварочного тока и напряжения на дуге.

На стадии разработки находится также ВДИ-1500М DC — инверторный источник для промышленных целей, обеспечивающий сварку металлов на токе 1500 А, а также низкое энергопотребление согласно современным тенденциям промышленного сектора.

Разработаны и запущены в производство сварочные многопостовые выпрямители ВДМ-6303П и ВДМ-1202П на токи 630 А и 1200 А соответственно, предназначенные для комплектации сварочных постов ручной дуговой сварки покрытыми электродами изделий из углеродистых и легированных сталей на постоянном токе. Выпрямители могут применяться в стационарных условиях в комплекте с балластными реостатами типа РБ – 302, РБ-306, регулирование сварочного тока производится для конкретного поста независимо с помощью балластного реостата. По сравнению с аналогичными многопостовыми выпрямителями ВДМ-6303П и ВДМ-1202П отличаются лучшими технико-экономическими показателями, современным дизайном, повышенным сроком службы.

Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона активно продолжает сотрудничество с ведущими предприятиями Украины и стран СНГ в части разработки специализированного оборудования. Вопросы технологий сварки при этом решаются с участием ИЭС им. Е. О. Патона и ОКТЬ ИЭС.

В качестве примера можно отметить контракт с ПО «Азнефть», на выполнение подводных ремонтно-сварочных работ по устранению трещины газопровода на месторождении «Гюнешли».

В конце ноября 2013 г. ОАО «Турбоатом» получил комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки под флюсом роторов мощных турбин (сварка кольцевых швов в узкую разделку). Оборудование успешно прошло испытания в условиях заказчика. В июне завершены пуско-наладочные работы оборудования и установка готовится к запуску в цехах ОАО «Турбоатом».

В этом году получен заказ на сварочное оборудование от предприятия по изготовлению металлоконструкций в Грузии, а также ведутся переговоры с потенциальными партнерами по расширению сотрудничества с предприятиями других отраслей промышленности. Также в этом году осуществлена первая поставка сварочных аппаратов в Польшу. Ведутся переговоры о поставках сварочных тракторов в Восточную Африку (Эфиопия).

Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона участвует в основных сварочных выставках Украины, СНГ и дальнего зарубежья. Участники и посетители выставок позитивно отметили тот факт, что с марта 2014 года установлена 5-летняя гарантия на сварочные инверторы серий АДИ и ВДИ. Наличие Европейских сертификатов на сварочные инверторы и собственные линии по производству электродов для сварки углеродных и низколегированных сталей (АНО-4, АНО-21, АНО-36 и УОНИ-13/55) расширяют возможности успешного развития марки «ПАТОН».

Лозунг коллектива Опытного завода сварочного оборудования
Института электросварки им. Е. О. Патона остается неизменным:
«Надежность, Качество, Традиции!»

Анатолий В. Степахо, Председатель правления завода,
В. А. Корицкий, научный консультант, канд. техн. наук,
Антон В. Степахо, пом. Председателя правления завода.



ОКБ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА НАНУ — 55

В мае 1959 г. было создано Опытно-конструкторское бюро (ныне Государственное предприятие ОКБ ИЭС им. Е. О. Патона) с целью разработки новой сварочной техники и технологий, конструкторско-технологического обеспечения научных исследований и ускорения внедрения научно-технических разработок в народное хозяйство. ОКБ создавалось на платформе разработок конструкторского отдела института в предвоенные и последующие военные и послевоенные годы. Полностью оправдался принцип «лаборатория–конструкторское бюро–опытное производство», заложенный Е. О. Патоном при создании института. Именно тесная связь с



практикой, производством, готовность решать любые задачи, выдвигаемые народным хозяйством, позволили ОКБ эффективно участвовать в создании надежных сварных конструкций и внедрении механизированных и автоматизированных процессов сварки.

Тесно сотрудничая с учеными и специалистами ИЭС, отраслевыми институтами и другими ведущими предприятиями, ОКБ в течение 55 лет создает оборудование для различных механизированных способов сварки, отрабатывает технику и технологию сварки, внедряет в промышленность завершённые научно-исследовательские разработки института. Главное внимание уделяется комплексной механизации сварочного производства, созданию высокопроизводительных установок и автоматизированных поточных линий.

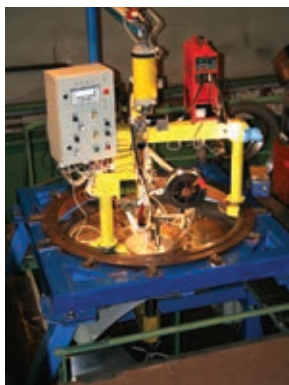
Сварочные аппараты, разработанные конструкторами ОКБ и выпускаемые многими заводами десятками тысяч, использовались в таких отраслях, как строительство, машино- и судостроение, производство магистральных труб, атомная энергетика и др.

В разные периоды в коллективе ОКБ работали пять докторов и более сорока кандидатов технических наук. Двадцать шесть работ, в которых вместе с учеными института принимали непосредственное участие сотрудники ОКБ, отмечены двумя Ленинскими премиями, восемью Государственными премиями СССР, девятью Премиями Совета Министров СССР и шестью Премиями Совета Министров УССР. 29 специалистов ОКБ имеют звание лауреатов этих премий. Многие сотрудники ОКБ отмечены также другими государственными наградами.

ОКБ за свою 55-летнюю историю возглавляли: соратник Е. О. Патона, канд. техн. наук И. И. Севбо; д-р техн. наук А. И. Четверто; д-р техн. наук В. Ф. Мошкин; С. И. Притула; В. С. Романюк. Долгие годы в качестве заведующего отделом, а затем заместителя начальника ОКБ работал талантливый конструктор, канд. техн. наук В. Е. Патон. В настоящее время руководит ОКБ Г. В. Жук.



Статья на правах рекламы.



- ОКТБ проводит работы по следующим основным направлениям:
- технология и оборудование для дуговой и контактной сварки;
 - материалы, технология и оборудование для механизированной наплавки и газотермического напыления износостойких материалов;
 - механизация и автоматизация сборочно-сварочных работ;
 - технология и оборудование для сварки в строительстве и мостостроении;
 - разработка и изготовление автоматизированных систем ультразвукового и вихретокового контроля;
 - разработка конструкторской документации и изготовление нестандартного оборудования для сварочного производства;
 - комплексная механизация и вспомогательное оборудование;
 - разработка и изготовление систем управления сварочным и наплавочным оборудованием.

Сегодня сварочное оборудование, созданное конструкторами и технологами ОКТБ, работает в наземных и подземных условиях, в космосе и под водой. На этом оборудовании выполняется большинство известных в современной технике технологий сварки, наплавки и напыления различных сталей, чугуна, цветных металлов.

В тесном сотрудничестве с научными отделами ИЭС им. Е. О. Патона и ОЗСО ИЭС им. Е. О. Патона конструкторами и технологами ОКТБ в период 2000–2013 гг. разработано, изготовлено и внедрено оборудование для сварки и наплавки большой гаммы металлов и сплавов. Эти работы выполняли по заказам предприятий и организаций Украины, стран ближнего и дальнего зарубежья, а также заказу НАН Украины и Госинформнауки.

ОКТБ в течение многих лет тесно сотрудничает со многими учебными заведениями Украины, в том числе с НТУУ «Киевский политехнический институт». Специалисты ОКТБ читают лекции по сварочному оборудованию, проводят практические занятия, руководят производственной и преддипломной практикой студентов, возглавляют Государственные экзаменационные комиссии по защите дипломных проектов.

В большинстве случаев в разработанном в ОКТБ сварочном оборудовании применены современные конструкторские и технологические решения, что позволило авторам получить сотни авторских свидетельств, десятки патентов и наград за участие в национальных и международных выставках. Специалисты ОКТБ опубликовали результаты своей работы в сотнях информационных писем и статей в журнале «Автоматическая сварка» и других ведущих технических журналах, наконец, в одиннадцати томах каталога-справочника «Сварочное оборудование», созданного в ОКТБ, первый том которого был издан в 1968 г.

Со дня своего основания до настоящего времени коллектив ОКТБ всегда чувствовал и чувствует постоянную и действенную поддержку директора института, Президента Национальной академии наук Украины, академика Бориса Евгеньевича Патона, который приложил немало усилий для создания ОКТБ, его становления и развития.

Сегодня ОКТБ — это мобильный дружный коллектив, в котором тесно сочетается огромный накопленный десятилетиями опыт ветеранов, зрелость высококвалифицированных специалистов среднего поколения и жажда знаний талантливой молодежи.

Г. В. Жук,
директор ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона

«Патон Турбайн Текнолоджиз» — новое название известной компании

История возникновения компании «Патон Турбайн Текнолоджиз» (Paton Turbine Technologies, или PTT), которая до апреля 2014 г. действовала под именем Pratt & Whitney-Paton, относится к началу 1993 г. Именно тогда Институт электросварки им. Е. О. Патона (ИЭС) НАН Украины и Pratt & Whitney — отделение корпорации United Technologies (UTC), США, один из ведущих мировых производителей авиационных двигателей, подписали соглашение о создании в Киеве совместного предприятия, которое успешно работает на мировом рынке вот уже более 20 лет.

В результате возникло современное высокотехнологичное предприятие, занимающееся как нанесением защитных покрытий на лопатки авиационных и промышленных газовых турбин, так и выпуском промышленного оборудования EB-PVD, материалов для испарения, а также ремонтом лопаток и других деталей турбин различного назначения.



Цех защитных покрытий

Напряженная работа сотрудников, а также продолжительная совместная работа с нашими американскими партнерами позволили предприятию достичь признанного во всем мире уровня организации производства, который оценен в системе оценки конкурентоспособности (система ACE) корпорации UTC как «Серебряный», что является весьма высоким показателем.

При содействии и при самом непосредственном участии «Pratt & Whitney» СП было сертифицировано по всем необходимым международным стандартам, что позволило ему успешно работать на мировых рынках авиационного и энергетического газотурбостроения.

Среди заказчиков компании такие известные имена, как «Pratt & Whitney» (USA), Siemens (Sweden), Honeywell (USA), Rolls Royce (UK), Turbine Overhaul Services (Singapore), Kawasaki Heavy Industries (Japan), Пермские моторы (Россия), Mayer Tools (USA), Glen Group (USA) и др., а также украинские предприятия, работающие в области газотурбостроения, авиаремота и транспортировки газа.

В марте 2014 г. корпорация Юнайтед Текнолоджиз в связи с глобальным изменением своей бизнес стратегии вышла из числа учредителей Pratt & Whitney-Paton, после чего компания изменила свое название на «Патон Турбайн Текнолоджиз». При этом сфера деятельности, стандарты и система управления компанией, включая систему управления качеством, и заказчики остались неизменными.

Система менеджмента качества (СМК) базируется на требованиях международного общетехнического стандарта ISO 9001, а также международного аэрокосмического стандарта AS9100, который гармонизирован со стандартами EN 9100 и JIS Q 9100. Предприятие сертифицирова-



Сертификаты Paton Turbine Technologies ISO 9001: 2008 (слева) и AS 9100- JISQ 9100:2009 (справа)

но в качестве иностранной ремонтной станции на соответствие Федеральному авиационному закону США CFR FAR145. Наличие такого сертификата дает право выполнять работы по техническому обслуживанию средств авиационной техники, зарегистрированных в США. С 2006 г. компания участвует в Национальной программе США по аккредитации и сертификации процессов в оборонной и аэрокосмической отраслях — Nadcap. В июле 2014 г. РТТ успешно прошла очередной аудит по этой программе, что еще раз подтвердило высокий международный технический уровень организации производства на предприятии.

Персонал компании — это высококвалифицированные рабочие, инженеры, научные сотрудники и офисные работники, которые постоянно совершенствуют свои навыки и повышают свое мастерство с помощью различных курсов и тренингов. На предприятии внедрена и действует Программа подготовки персонала в соответствии с требованиями Федеральной Авиационной Администрации США.

В настоящее время РТТ производит товары и предоставляет услуги с оптимальным соотношением цена — качество в следующих сегментах бизнеса:

- ◆ электронно-лучевое нанесение металлических и керамических покрытий на лопатки газовых турбин различного назначения;
- ◆ проектирование, изготовление и сервисное обслуживание электронно-лучевого оборудования для нанесения покрытий;
- ◆ производство расходных материалов (керамические и металлические слитки) для нанесения электронно-лучевых покрытий;
- ◆ комплексное восстановление компонентов газотурбинных двигателей с применением классических (сварка, пайка, микроплазма) и оригинальных (EB PVD) ремонтных технологий;
- ◆ инжиниринг процессов, материалов и оборудования.



Спроектированная и изготовленная Pratt & Whitney-Paton электронно-лучевая установка для нанесения защитных покрытий на лопатки авиационных газовых турбин на предприятии у заказчика

Теплозащитные покрытия толщиной до 200 мкм, которые предлагает заказчикам «Paton Turbine Technologies», наносятся путем электронно-лучевого испарения керамических слитков в основном диоксида циркония. Покрытия имеют колоннообразную структуру с заданным распределением толщины по сечению, что обеспечивает рекордные эксплуатационные характеристики покрытий на деталях турбин, которые подвержены как механическим, так и температурным циклическим нагрузкам.

Следует отметить, что получение заданного распределения толщины покрытия на лопатках турбины представляет собой сложную инженерную задачу, которая успешно решается на основании многолетнего опыта наших сотрудников.

В компании разработана технология нанесения покрытий на основе и других оксидов, что представляется перспективным для защиты деталей авиационных турбин с повышенными рабочими температурами.

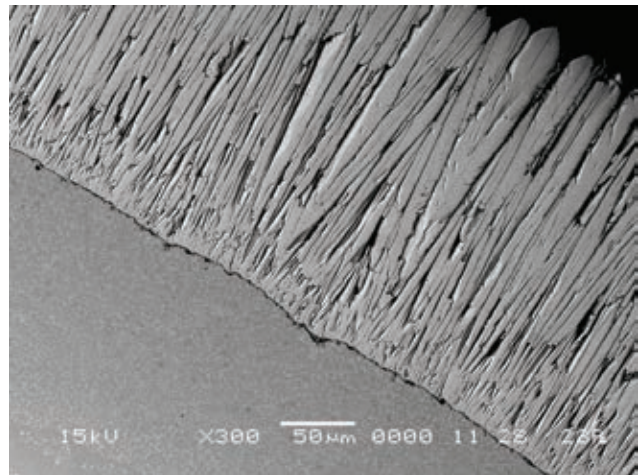
Нанесение защитного керамического покрытия требует наличия связующего покрытия (подслоя) на поверхности детали, что обеспечивает как сцепление теплозащитного керамического слоя с поверхностью детали, так и защиту ее от воздействия агрессивной рабочей атмосферы турбины. Разработанные в компании технологии (подготовка поверхности, термообработки, электронно-лучевое нанесение и др.) позволяют осуществлять как нанесение только керамического покрытия на детали с уже имеющимся подслоем, так и двухслойного покрытия (металл + керамика). Наиболее распространенные комбинации — это связующее покрытие из алюминид никеля (или платины), а также из сплавов никеля, кобальта и хрома, легированных алюминием и иттрием (MCrAlY). Осуществляется также осаждение и чисто металлических защитных покрытий различного состава.

Освоены методики осаждения конструктивных покрытий, например из сплавов титана, для восстановления формы изношенных вентиляционных лопаток. В этом случае может применяться технология EB-PVD с ионизацией испаряемого металла, что позволяет резко повысить адгезию покрытий к основе восстанавливаемых деталей.

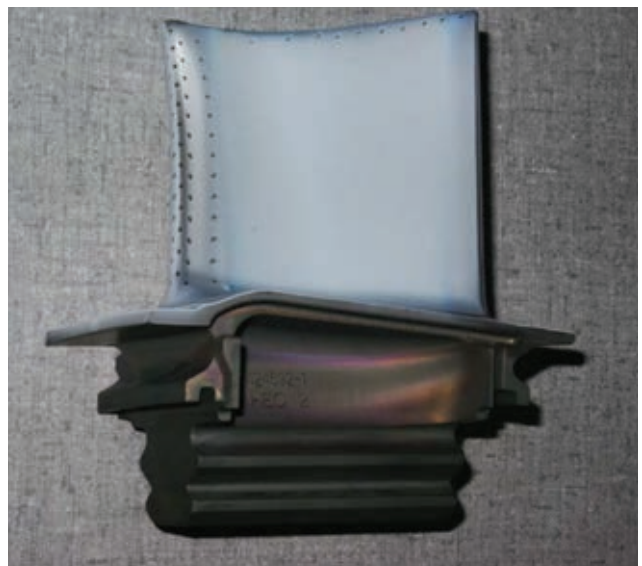
На протяжении многих лет работы на рынке компания приобрела опыт нанесения покрытий на детали различных типов газовых турбин, включая авиационные, наземные и морские варианты их исполнения. Вот некоторые из них: PW4000, JT9D-7Q, JT9D-7R4, PW4090, CF6-80C2, G61, CFM56-5B, CFM56-7B, GTX100, PS90A, PS90GP, V84.3A2, V94.3A2 и др.

Компания «Paton Turbine Technologies» по праву может считаться одним из надежных производителей промышленного электронно-лучевого оборудования для нанесения керамических и металлических покрытий (EB PVD) мирового уровня. Наше оборудование успешно работает в США и Сингапуре. Мы обеспечиваем также сервис нашего оборудования и поставку запасных и расходных компонентов.

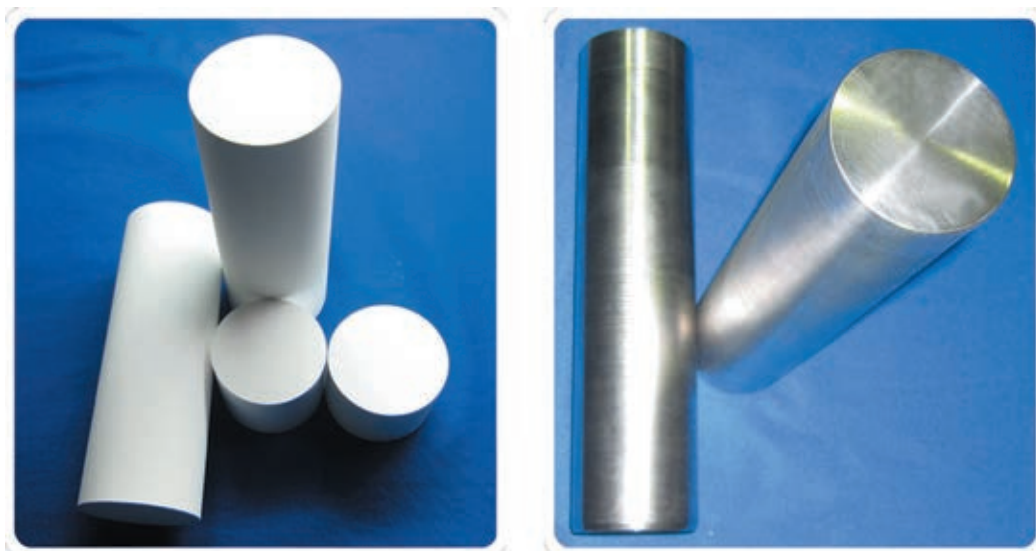
Как уже указано выше, РТТ производит высококачественные керамические и металлические



Типичная микроструктура теплозащитного покрытия



Лопатка промышленной газовой турбины с теплозащитным покрытием



Керамические (слева) и металлические (справа) слитки

слитки, которые используются как в собственном производстве, так и поставляются заказчикам в качестве отдельной продукции.

Керамические слитки изготавливаются специальными методами прессования порошков оксидов требуемого химического состава с последующим высокотемпературным спеканием. Наиболее распространенным типом материалов является диоксид циркония, частично стабилизированный оксидом иттрия (ZrO_2 — (6–8 %) Y_2O_3). Технология изготовления обеспечивает плотность слитков на уровне 3,6...4,2 г/см³.

Металлические слитки изготавливаются путем вакуумно-индукционной плавки с последующим двойным электронно-лучевым переплавом, что обеспечивает высокое качество заготовок для последующего испарения в вакууме. Возможно изготовление слитков по спецификации заказчика.

Компания занимается разработкой технологии и выполнением ремонта компонентов авиационных и наземных газотурбинных двигателей начиная с 2001 г. Многолетний практический опыт работы и уровень профессиональной подготовки персонала, использование высокотехнологичных процессов и уникального специализированного оборудования, высокие стандарты качества и эффективная система менеджмента позволяют ей максимально удовлетворить требования заказчика как с точки зрения качества, так и экономической эффективности (сроки, объемы, цена). На данный момент заказчику предлагается полный спектр ремонтных операций, в том числе с нанесением с применением электронно-лучевой технологии жаростойкого MeCrAlY и теплозащитного (ТВС) ZrO_2 -7 % Y_2O_3 покрытий.

Наличие современной лаборатории металлографического контроля, непосредственно интегрированной в технологический процесс, оборудования и приборов, применяемых для неразрушающего и разрушающего контроля, одновременно с высококвалифицированным персоналом дает возможность «Патон Турбайн Текнолоджиз» поддерживать и развивать надежное производство с неизменно высоким качеством продукции. Имеющаяся на предприятии лаборатория прошла сертификацию по системе LCS (Laboratory Control at Source), которая существует в UTC, а также подтвердила соответствие специальным требованиям программы Nadcap.

Из сказанного видно, что компания «Патон Турбайн Текнолоджиз» является надежным партнером, который успешно работает в Украине в соответствии с лучшими мировыми практиками ведения бизнеса.

Г. С. Маринский, д-р техн. наук,
директор ТОВ «Патон Турбайн Текнолоджиз»
www.patonnt.com

Опытный завод сварочных материалов Института электросварки им. Е. О. Патона

Производство сварочных материалов на ГП «ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины» имеет давние традиции. В 1946 г. городским Советом г. Киева было принято решение о создании Централных заготовительных мастерских для централизованной подготовки газовых сетей и изоляции труб, которые и явились основой нынешнего Опытного завода сварочных материалов.

Уже в 1947 г. строятся временные здания барачного типа для будущего сварочного цеха, цеха изоляции труб, прокладывается водопровод, устанавливаются поворотные грузоподъемные краны. В этом же году на базе мастерских трестом «Киевгазстрой» создается центрально-заготовительный завод для сварки и изоляции труб и газовых сетей для газопровода «Дашава-Киев», производственная программа которого включала изготовление покрытых электродов для ручной дуговой сварки методом окунания. Для увеличения производительности сварки труб в 1948 году внедряется установка автоматической сварки стыков труб под слоем флюса.

В 1950 г. завод осваивает новые виды продукции — бойлеры административных зданий и жилых домов, квартирных газовых установок, оборудования газовых котлов, камер управления и др. Для производства этих работ потребовалось большое количество металлических электродов и в 1951–1953 гг. на заводе строится цех для производства сварочных электродов. В последующие годы производство электродов стало одним из основных направлений деятельности предприятия.

В 1954 г. в электродном цехе было изготовлено 411 тонн электродов марок УОНИ 13/45, УОНИ 13/55. В этом же году завод осваивает новые виды изделий — котлы отопительные, фильтры катионитовые и солерастворители.

В 1955 г. Центрально-заготовительный завод был реорганизован в Киевский сварочно-электродный завод.

К 1958 г. выпуск сварочных электродов достигает 634 тонн в год. С этого же года завод начинает проводить реконструкцию со специализацией по выпуску только сварочных электродов, фильтров и солерастворителей.

В 1958–1964 гг. в результате реконструкции завода по проекту «Гипрометиз» (Ленинград) создаются новые, современные по тому времени технологические участки изготовления покрытых электродов. Так, в 1958–1959 гг. на заводе строится цех мощностью 3 тыс. тонн для производства электродов фтористо-кальциевого типа — он оснащается прессами ОСЗ-3 и камерными печами. В 1962–1964 гг. строится цех мощностью 12 тыс. тонн для производства электродов с покрытием рудно-кислого типа — в нем устанавливают конвейерные линии, укомплектованные прессами АОЭ-3 и сушильно-прокалочными печами ОКБ-463.

В 1970 г. с целью дальнейшего развития завода его объединяют с Метизным заводом им. Письменного. Неуклонно растет выпуск электродов — на начало 70-х годов теперь уже Киевский сеточно-электродный завод им. Письменного изготавливал ежегодно до 20 000 тонн электродов (28 марок) для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, чугуна и резки металлов, а кроме того, проволоки сплошной сварочной и телеграфной до 30 000 тонн, сеток сварных, плетенных до 1 млн. м².

В ноябре 1977 г. правительством Украины принято решение о передаче электродного производства завода в ведение Института электросварки с целью дальнейшего развития научно-исследовательских и экспериментальных работ по созданию новых сварочных материалов и технологии их промышленного производства.

Статья на правах рекламы.





С января 1978 г. Опытный завод сварочных материалов входит в состав Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. С этого времени завод специализируется только на выпуске сварочных материалов и экспериментальных марок материалов. С этой целью производится полная реконструкция завода.

В конце 70-х годов осуществлена реконструкция старого опрессовочного отделения фтористо-кальциевых электродов, в результате чего высвобождены производственные площади для создания мощностей по производству плавящихся и керамических флюсов, припоев, литых наплавочных колец, заканчивается монтаж

оборудования флюсоплавильного участка, и ввод в 1980 г. его в эксплуатацию. Мощности по выпуску плавящихся флюсов доводятся до 150 тонн в год. Кроме того, на участке обрабатывается технология производства новых разработок специализированного отдела №10 Института электросварки.

В 1980 г. на заводе введен в эксплуатацию участок по изготовлению отливок колец для наплавки клапанов двигателей внутреннего сгорания, заканчивается строительство производственного здания площадью 1800 м². В этом здании в 1980–1984 гг. установлены и смонтированы четыре механизированные линии для изготовления порошковой проволоки из стальной ленты. К 1985 г. мощность участка по производству порошковых проволок доведена до 1000 тонн в год.

По разработкам ряда отделов ИЭС им. Е. О. Патона завод освоил производство значительного количества марок порошковой проволоки, предназначенных для механизированной и автоматической сварки конструкций из углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей, используемых в различных отраслях народного хозяйства. Кроме того, осваивается производство порошковых лент и проволок для автоматической наплавки различных деталей.

К началу 1980-х годов построено второе производственное здание площадью 1800 м². В этом здании в последующие годы были размещены вспомогательные службы завода, а также металлорежущие и другие станки для ремонта существующего технологического и оборудования, а также изготовления нового оборудования и приспособлений. Устанавливается новая механизированная линия и осваивается технология резки стальной ленты. На подготовительном участке монтируются и внедряются в производство новые шаровые мельницы с непрерывным просевом для размолва различных компонентов, для расширения производства электродов модели АНО-21 производится реконструкция и переоборудование существующей механизированной линии, включающей электрообмазочный агрегат и конвейерную печь, под выпуск на ней электродов диаметром 2,5 мм и 3,0 мм.

В 1982–1984 гг. производится полная реконструкция стекловарного отделения электродного цеха. Установлены новые автоклавы емкостью 3 м³, разработано на заводе и смонтировано оборудование и арматура для качественного улучшения характеристик жидкого стекла, очистки его от примесей и стабилизации свойств. В результате существенно повысилось качество изготавливаемых электродов.

В 1983–1984 гг. организуется, оборудуется и вводится в эксплуатацию участок по изготовлению бессеребряных припоев для пайки меди и ее сплавов. Мощность участка в последующие годы доведена до 1 т припоев в год. Выпуск ряда марок бессеребряных припоев позволил значительно уменьшить расход драгметалла — серебра.

В конце 1980-х годов завод выпускал 32 марки электродов, 40 марок порошковых проволок для сварки и наплавки, 25 марок плавящихся и керамических флюсов.

Одним из достижений завода является создание и введение в эксплуатацию в 1998-1999 гг. нового цеха по переработке сырьевых материалов. Были установлены две новые электри-

ческие вращающиеся барабанные печи и камерная печь для сушки компонентов, щековая дробилка СМД-108 и две щековых дробилки С-182Б, десять реверсивных мельниц периодического действия собственной конструкции и изготовления, четыре мельницы с непрерывным просевом. Каждая мельница укомплектована виброситом СВ 2-06. Для контрольного просева материалов, поступающих на завод в молотом виде, установлены два вибросита СВ 2-09. Начала действовать механизированная линия дозирования компонентов шихты в цехе спецэлектродов, которая позволила заменить ручное дозирование.



Благодаря внедрению нового и постоянной модернизации действующего технологического оборудования, производящего сварочные электроды и другие материалы для сварки, а также благодаря высокой квалификации трудового коллектива предприятие смогло не только выжить в период становления рыночной экономики, но и занять одно из ведущих мест на рынке сварочных материалов.

В 2003 г. введено в эксплуатацию новое отделение приготовления и брикетирования обмазочной массы в цехе по изготовлению электродов общего назначения с рутиловым покрытием.

В 2005 г. модернизированы линии по производству порошковой проволоки — было изготовлено и смонтировано новое оборудование для подготовки стальной ленты, реализована двухстадийная схема волочения проволоки, изготовлен на заводе и смонтирован на участке перемоточный станок для рядной намотки готовой проволоки, производство укомплектовано необходимым оборудованием для работы с большегрузными катушками. Модернизация позволила наладить выпуск порошковой проволоки малых диаметров (1,2...1,6 мм) и рядную ее намотку на каркасные барабаны емкостью до 16 кг.

Одним из эффективных инструментов повышения качества продукции являются стандарты ISO серии 9000, которые воплощают современный комплексный подход в решении вопросов, связанных с качеством продукции. Поэтому в июле 2007 г. на заводе была внедрена Система управления качеством на соответствие требованиям ISO 9001:2000.

Специализированная испытательная лаборатория завода оснащена современным оборудованием, приборами и методиками, необходимыми для выполнения входного контроля сырьевых материалов, текущего контроля технологических процессов и приемо-сдаточных испытаний готовой продукции (сварочных электродов, порошковой проволоки, флюса). Испытательная лаборатория аккредитирована на техническую компетентность Национальным агентством по аккредитации Украины и имеет аттестат аккредитации, а также имеет техническую компетенцию в соответствии с требованиями Российского Морского Регистра Судоходства.

В настоящее время завод располагает производственными мощностями, которые позволяют ежегодно изготавливать 12 тысяч тонн электродов общего и специального назначения, 500 тонн порошковой проволоки, по 150 тонн плавящих и керамических флюсов и является одним из лидирующих предприятий по производству сварочных материалов в Украине и странах СНГ. В условиях высокой конкуренции на рынке, заводом принимаются все меры для достижения первенства в производстве сварочных материалов по показателям качества и ценовой политики, гарантируя тем самым устойчивую перспективу развития. И я уверен, что плоды нашего труда позволят заводу занимать достойное место среди производителей сварочной продукции.

Традиционно девизом ГП «ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ» является:
«ГЛАВНЫЙ КОНТРОЛЕР НАШЕЙ ПРОДУКЦИИ – ПОТРЕБИТЕЛЬ»

П. А. Косенко, директор ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона

СОКРАЩЕНИЕ РИСКОВ ПРИ СВАРКЕ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА ОФШОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ*

Достижение высокой производительности и низкой стоимости сварки не всегда требуют экономии на надежности сварочного оборудования, качестве и стабильности сварных швов. Воздействие диффузионного водорода, выбор материалов и методов — все это обязательно нужно учитывать, чтобы обеспечить должное качество сварки офшорных конструкций.

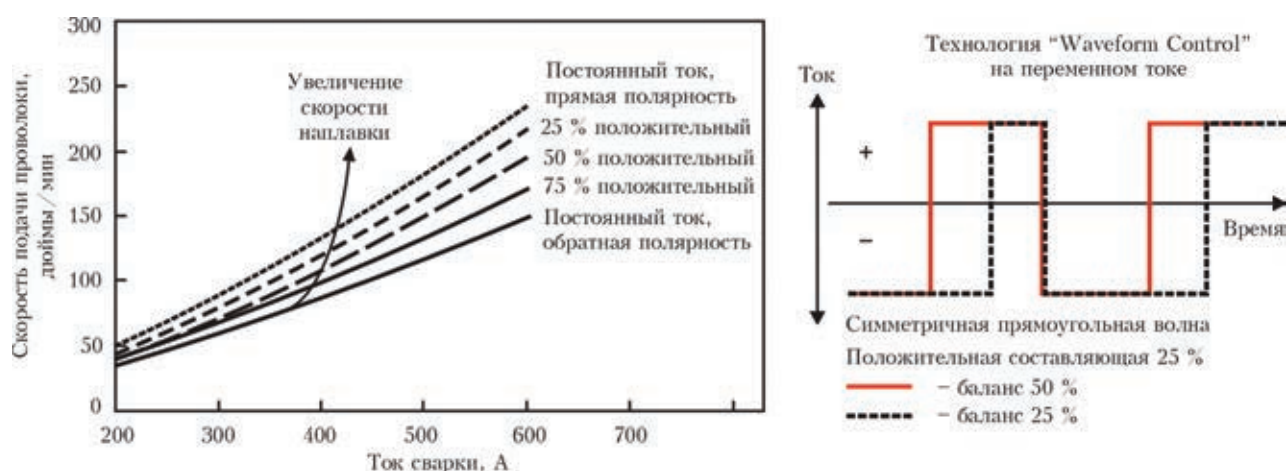
При строжайшем контроле со стороны государственных нормативных органов, представителей заказчиков и сертификационных центров сварочные производства и монтажные подразделения столкнулись со множеством новых проблем. Зачастую заказчики отказывают в заключении новых контрактов, если подрядчик не может обеспечить уровень брака менее одного процента. Для этого компании, занимающиеся проектированием, производством и строительством, должны пересмотреть допустимые отклонения параметров в процессе сварки. Для офшорной добычи нефти или газа все чаще используются изделия из высокопрочных сталей и высокопроизводительные методы сварки для их изготовления. Самый распространенный — сварка под слоем флюса. Однако изменения сварочных параметров могут привести к увеличению содержания диффузионного водорода в металле шва и высокому риску трещинообразования. Вероятность образования холодных трещин зависит от содержания диффузионного водорода, уязвимости микроструктуры металла и остаточных послесварочных напряжений в соединении. Методами и режимами сварки, которые позволяют регулировать содержание диффузионного водорода, часто пренебрегают. Повышение производительности сварки почти всегда приводит к увеличению толщины каждого слоя и количества накладываемых слоев в час (за счет меньшего времени ожидания между наложением швов). В результате уменьшается время рассеивания водорода и возрастает риск водородного растрескивания. Эти характерные для сварки офшорных конструкций факторы в сочетании с особенностями микроструктуры высокопрочной стали требуют полного пересмотра методов контроля содержания диффузионного водорода на каждом этапе сварки.

Помимо увеличения риска водородного растрескивания при получении крупных сварных швов традиционными сварочными материалами и методами также могут ухудшиться и механические свойства шва, например, прочность при испытании смещением края раскрытия трещины (CTOD тест). Для компаний, занимающихся строительством морских буровых платформ и прочих конструкций, важно постоянно повышать технические требования к сварочным работам, искать новые технологии и стратегии поддержания высокого их качества. В то же время необходимо помнить о производительности.

Повышение производительности при помощи технологии Waveform Control на базе сварочной системы Power Wave AC/DC 1000 SD компании Линкольн Электрик

Изготовление офшорных конструкций и компонентов требует не только постоянного контроля качества проведения сварочных работ, но и точного планирования затрат, сроков производства. В последнем поколении источников питания для сварки под слоем флюса реализована новая технология контроля формы волны переменного тока (AC Waveform Control). Как показано на рисунке, управление формой волны переменного тока, а именно увеличение отрицательной составляющей эпюры на 25 %, позволяет значительно повысить производительность наплавки и, соответственно, эффективность сварки при том же среднем тепловложении. Высоких результатов контроля диффузионного водорода в металле шва, высоких механических свойств сварного соединения можно достигнуть также за счет использования совершенных методов сварки и правильного выбора из широкого спектра предоставляемых Линкольн Электрик

* Статья на правах рекламы.



Увеличение производительности наплавки с помощью системы Power Wave® AC/DC 1000 SD

сварочных материалов — флюса и проволоки. А за счет регулирования термического цикла сварки посредством точного контроля за тепловложением — получить необходимую микроструктуру металла шва, зоны термического влияния. Система Power Wave AC/DC 1000 SD позволяет в реальном времени регистрировать и записывать в память сварочные параметры, фактическое тепловложение, давать оценку повторяемости однотипных швов — все направлено на полный качественный контроль.

Кроме этого, современные разработки позволяют в два раза снизить затраты на электроэнергию по сравнению со стандартным оборудованием для сварки под слоем флюса. И как результат — сокращение сварочных, операционных затрат и повышение производительности одно- или многодуговой системы сварки под слоем флюса без ущерба качеству.

Компания Линкольн Электрик готова предложить стандартные и индивидуальные решения по выбору технологии сварки, которая включает в себя: сварочное оборудование, комбинации сварочных материалов, рекомендации по режимам сварки и техническую поддержку на протяжении всего проекта.

Lincoln Electric — мировой лидер проектирования, производства оборудования и материалов для дуговой сварки, автоматических и роботизированных сварочных систем, оборудования для плазменной резки, газовой резки и сварки. Компания имеет 42 производственных предприятия в Северной Америке, Европе, Азии, Латинской Америке и на Ближнем Востоке, в том числе технологические и совместные предприятия в 19 странах. Международная сеть дистрибьюторов и региональных представительств компании покрывает больше 160 стран. Всемирный штат Lincoln Electric — около 10 000 человек, а объем продаж составляет более \$2,8 млрд в год. За инновационные продукты и решения компании присвоено звание «Экспертов в Сварке» — «The Welding Experts®».

В октябре 2010 г. ООО «Торговый дом «Межгосметиз» и ОАО «Межгосметиз-Мценск» вошли в состав Lincoln Electric. Объединение потенциалов компаний позволило предлагать и распространять полный спектр решений в области сварки на рынке России и стран СНГ.

LINCOLN
ELECTRIC
THE WELDING EXPERTS®

ЛИНКОЛЬН ЭЛЕКТРИК РОССИЯ И СНГ
Россия, 119334, г. Москва,
5-й Донской проезд, 15, стр. 5
www.lincolnelectric.ru

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЕ СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ*

Важной частью роботизированных комплексов является оборудование, которое обеспечивает технологические характеристики процесса сварки. В связи с этим компания «ШТОРМ» активно внедряет новую линейку сварочных аппаратов S-RoboMIG для робототехнических комплексов, обладающих оптимизированными технологическими характеристиками.



Сварочный аппарат S-RoboMIG

Серия импульсных аппаратов S-RoboMIG включает в себя источники питания для роботизированной сварки мощностью от 320 до 500 А. Данные аппараты были построены на основе импульсных аппаратов серии S. Они имеют схожую с аппаратами серии S концепцию управления, что позволяет легко и быстро разобраться в управлении данными источниками.

Данные аппараты имеют 4 уровня управления, которые покрывают весь спектр задач, стоящих перед производством: Basic, Synergic, Pulse, SpeedPulse. При этом при переходе от одного уровня к другому нет необходимости изменять аппаратную часть S-RoboMIG, а необходимо лишь обновить программное обеспечение аппарата. Таким образом, при покупке роботизированного комплекса, оснащенного данным сварочным аппаратом, потребитель получает комплекс с характеристиками, необходимыми в данный момент и неограниченными возможностями по модернизации в будущем.

Применение робота позволяет с высокой точностью поддерживать положение горелки относительно стыка, что дает возможность более точно задавать и контролировать параметры режима сварки. Кроме того, сварочные аппараты S-RoboMIG имеют набор сварочных программ, оптимизированных специально для применения в роботизированных комплексах.

Для выполнения функции слежения за стыком аппараты S-RoboMIG вырабатывают специальный сигнал, который, при последующей его обработке контроллером робота, позволяет управлять положением горелки относительно стыка. При этом нет необходимости устанавливать дополнительные устройства, чтобы осуществлять слежение за стыком.



Механизм подачи RF-06



Подводящий механизм RF-06 на салазках

Подключение робота и сварочного аппарата S-RoboMIG в единый комплекс осуществляется с помощью различных систем шин: DeviceNet, ProfiBus, EtherNet и др., обеспечивая работу практически со всеми моделями промышленных роботов.

При создании высокоэффективных робототехнических комплексов компания «ШТОРМ» также начала внедрять новый механизм подачи проволоки RF-06, отличающийся компактными размерами и широкими возможностями. RF-06 оснащен четырехроликовым приводом, обеспечивающим надежную подачу проволоки различного диаметра.

Данный механизм подачи может работать как с роботами с традиционной конструкцией руки, так и с роботами с полкой рукой. За счет новой компоновки механизма удалось значительно уменьшить его габаритные размеры и массу.

Подводящий механизм установлен на специально сконструированные полозья, по которым перемещается, позволяя осуществлять легкую замену шланг-пакета горелки без снятия подающего механизма.

Более подробную информацию об источниках питания серии S-RoboMIG, а также помощь в подборе оборудования для роботизированных комплексов можно получить у специалистов компании «ШТОРМ».

А. Ю. Мельников, инж.
А. М. Фивейский, канд. техн. наук,
ООО «ШТОРМ»



ООО «ШТОРМ»
Свердловская обл., г. Верхняя Пышма,
ул. Бажова, 28
Тел.: (343) 283-00-50, 379-29-75
ekb@shtorm-its.ru

* Статья на правах рекламы.

Высокотехнологичное оборудование для процессов изготовления и ремонта теплообменного оборудования от компании «ДельтаСвар»*

Процессы теплообмена имеют большое значение в химической, энергетической, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности. Они реализуются в теплообменных аппаратах различных типов и конструкций. Основными конструкционными материалами для изготовления теплообменного оборудования являются малоуглеродистые, низколегированные и высоколегированные стали, латунь, титан и их сочетания. На сегодняшний день теплообменные аппараты находят широкое применение также на объектах тепловой и атомной энергетики, что обуславливает особые требования к обеспечению качества продукции. Изготовитель такой продукции должен располагать всеми необходимыми лицензиями и разрешениями, а также современным технологическим и сварочным оборудованием.

Строение теплообменного аппарата предусматривает широкое использование трубных конструкций. Одной из операций в изготовлении теплообменного аппарата является приварка труб к трубной доске. Данная операция очень ответственная и требует высокой квалификации сварщика. Зачастую, именно квалификация сварщика является «узким» местом в возможном риске получения некачественного сварного соединения. Для минимизации человеческого фактора и сокращения брака при сварке особо ответственных узлов теплообменного аппарата специалисты ООО «ДельтаСвар» рекомендуют использовать автоматические сварочные головки для орбитальной сварки немецкой компании Orbitalum Tools GmbH. Лидер в области предоставления комплексных решений по подготовке и сварке трубных конструкций — Orbitalum Tools GmbH на протяжении более 20-ти лет разрабатывает и производит переносные пилы, подрезные станки, устройства для подготовки торцов труб, источники питания для орбитальной сварки с компьютерным управлением, а также открытые и закрытые головки для сварки. Продукция Orbitalum лидирует по эффективности, простоте эксплуатации и безопасной передвижной конструкции, отвечающей требованиям новейших стандартов безопасности.

Первым этапом на пути получения качественного сварного соединения является подготовка свариваемых кромок.

Прямые резы без деформаций и заусенцев и воспроизводимая подготовка торцов трубы обязательны для процессов орбитальной сварки. Для этого этапа компания Orbitalum разработала новую машину для торцовки и снятия фаски BRB 2 Full Auto. Полностью автоматическая машина с пневматическим приводом BRB 2 Full Auto обеспечивает высочайший уровень качества и точности обработки торцов труб, что существенно сокращает время сварки, а также позволяет проводить ремонтные работы с удалением трубы из трубной доски. Режущая система может работать одновременно с четырьмя резаками из особого сплава, что значительно снижает стоимость обработки одного конца трубы и увеличивает общий срок службы режущей системы. Запуск рабочего процесса осуществляется одной кнопкой — происходит автоматическая фиксация машины и автоматическая подача инструмента. Благодаря удобному, эргономичному и компактному дизайну, а также встроенному устройству балансировки обеспечивается безопасная и неустойчивая работа.

BRB 2 Full Auto имеет оптимизированный диапазон рабочих скоростей, который идеально подходит для работы с теплообменными аппаратами, а плавная регулировка скорости подачи режущего инструмента и встроенный концевой выключатель гарантируют воспроизводимую и качественную обработку.

ORBIMAT C Advanced — компактный источник питания для орбитальной сварки

Орбитальные источники сварочного тока серии ORBIMAT CA оснащены уникальной концепцией управления. Они обеспечивают простоту и удобство эксплуатации благодаря многофункциональному джойстику и 10-и дюймовому цветному графическому дисплею с меню навигации на русском языке.

Автоматизированное программирование генерирует параметры сварки на основе введенных значений диаметра трубы, толщины стенки, материала и защитного газа. Все модели ORBIMAT CA обладают эксклюзивной новой разработкой — «FLOW FORCE» для сокращения времени подачи газа в

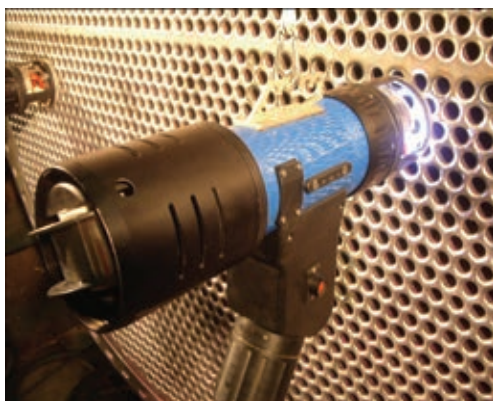


Машина для торцовки и снятия фаски
BRB 2 Full Auto

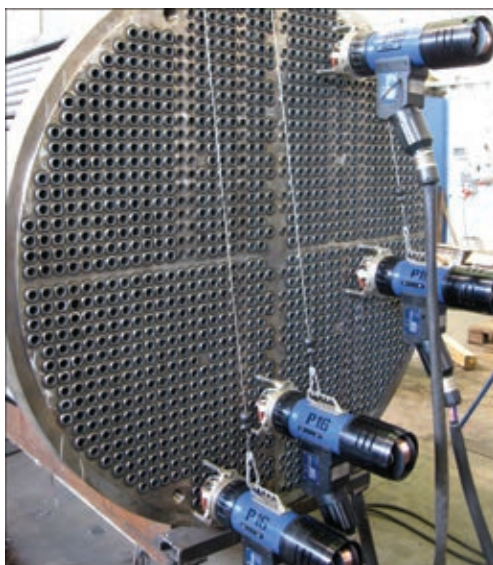
* Статья на правах рекламы.



Источник питания серии ORBIMAT S Advanced



Сварочная головка P16



закрытых сварочных головках. Функция контроля напряжения (AVC) автоматически вычисляет и программирует длину дуги в «мм» в зависимости от текущих характеристик напряжения. Это позволяет избежать расчетов необходимого напряжения дуги каждый раз при изменении мощности. Во время осцилляции (OSC) время задержки на каждой из кромок может быть синхронизировано с настройками высокоимпульсного режима. Встроенный принтер, слот для подключения карты памяти и простое перекодирование протоколов в форматы WORD и EXCEL обеспечивают простое протоколирование процесса сварки.

ORBIWELD P16 —

головка для орбитальной приварки труб к трубной доске

Головка устанавливается непосредственно на свариваемую трубу и крепится на внутреннем диаметре разжимным фиксатором. В зависимости от типа сварного соединения сварочная горелка головки перемещается по кругу внутри, либо снаружи трубы.

При установке трубы заподлицо с трубной доской электрод горелки поворачивается перпендикулярно к трубной доске. Сварочная головка P16 имеет полное жидкостное охлаждение корпуса и токоведущей части сварочной горелки. В зависимости от толщины стенки и разделки кромок сварочная головка может оснащаться механизмом подачи присадочной проволоки, встроенным в головку.

Уникальная конструкция механизма подачи проволоки предусматривает синхронное вращение катушки с проволокой со сварочной горелкой, что обеспечивает прецизионную подачу присадочной проволоки и исключает возможные рывки и перекручивание. Оснащение дополнительными модулями для сварки в различных положениях делает сварочную головку P16 самым универсальным инструментом для сварки теплообменного оборудования.

Компания «ДельтаСвар» является официальным дистрибьютором Orbitalum Tools GmbH и располагает прекрасно оснащенный залом для демонстрации оборудования орбитальной сварки труб. Вы можете в любое удобное для Вас время договориться о демонстрационных работах, предварительно обсудив с нашими специалистами все необходимые детали для решения Вашей задачи. Мы подберем для Вас необходимое оборудование для орбитальной сварки, в том числе оборудование для подготовки труб, дополнительные принадлежности, расходные материалы. Мы берем на себя поставку, монтаж техники и пуско-наладочные работы. Гарантия качества

поставляемой продукции является одним из неотъемлемых атрибутов нашей деятельности.

Высокий профессиональный уровень наших специалистов, накопленный опыт работы в области сварочных технологий позволяют предоставлять клиенту оптимальное решение технической задачи.



*Ермолин Александр Михайлович,
директор по развитию*



ООО «ДельтаСвар»
620141, г. Екатеринбург, ул. Завокзальная, 29
тел.: +7 (343) 384-71-72 многоканальный
тел./факс: +7 (343) 287-41-52
E-mail: info@deltasvar.ru, www.DeltaSVAR.ru

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДУГОВОЙ СВАРКИ С ПРОЦЕССОМ LSC*

«Дуга источника питания TPS была очень стабильной, но ее даже не стоит сравнивать с абсолютно невероятной дугой нового источника TPS/i с энтузиазмом рассказывает один из клиентов компании Fronius. Причина этого восторга — новый сварочный процесс LSC (Low Spatter Control), специально разработанный для аппаратов серии TPS/i. Расширенная версия новинки от Fronius характеризуется наличием графических характеристик «Universal» и «Root». На основании проведенных многочисленных тестов, можно с полной уверенностью заявить, что уникальные свойства процесса LSC позволяют пользователям открыть для себя принципиально новые возможности дуговой сварки.»

Новое поколение цифровых источников питания TPS/i — это значительное повышение качества сварки, улучшенный обмен данными между оператором и машиной, а также исключительно легкое и удобное управление. Модульная конструкция аппаратов для сварки MIG/MAG позволяет органично адаптировать систему к индивидуальным потребностям пользователей.

Высокоскоростная архитектура новой сварочной системы TPS/i обеспечивает повышение точности при измерении и анализе дуги, что дает возможность лучше ее оценивать и контролировать. В результате достигается уменьшение количества брызг при сварке с короткими замыканиями, увеличение скорости сварки, повышение надежности импульсного процесса, отличный поджиг, равномерное проплавление и многие другие преимущества. Иными словами, сварочный процесс становится более стабильным и точным, и при этом максимально быстрым. То есть речь идет о ключевых качествах, которые на данный момент не в состоянии обеспечить практически ни одна другая сварочная система.

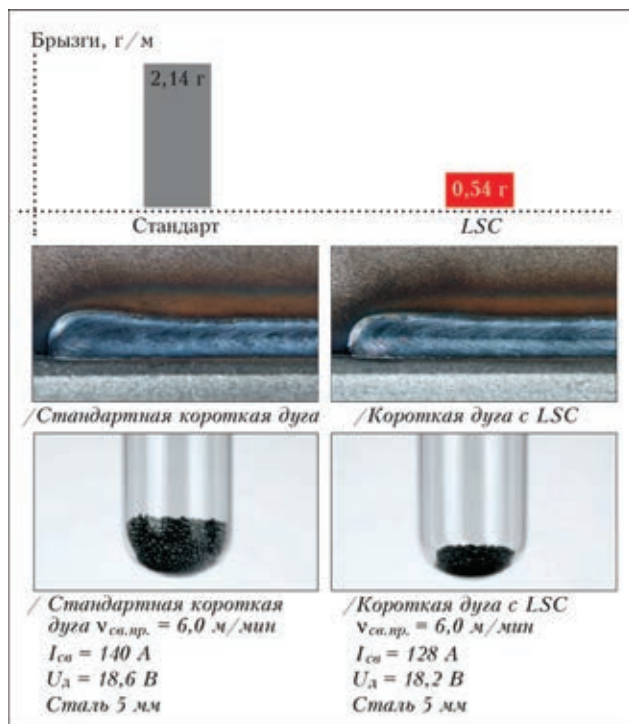
Что же делает процесс LSC настолько уникальным? Факты говорят сами за себя: высокая скорость обработки больших объемов данных позволяет чрезвычайно быстро определять состояния процессов, возникающих во время короткого замыкания. Измененная схема отрыва капли и точное управление током гарантируют удивительно мягкую и контролируемую дугу. Прецизионный капельный перенос металла обеспечивает невиданную ранее стабильность дугового процесса. Результатом является удивительно малое количество брызг при дуговой сварке с короткими замыканиями.

Благодаря наличию графической характеристики «Root», процесс LSC идеально подходит для сварки корня шва с использованием проволок сплошного сечения из малоуглеродистой и высоколегированной стали, а также порошковых проволок с металлическим наполнителем. Вне зависимости от типа и свойств выполняемого корневого прохода, оператор делает все необходимые настройки буквально нажатием одной кнопки. Кроме того, даже при сварке вертикальных швов сверху-вниз гарантированно обеспечивается надежное соединение. Ошибки при выполнении сварки сведены к минимуму, так как мы имеем дело со стабильной и отлично управляемой сварочной ванной.



Прецизионный капельный перенос металла при режиме LSC обеспечивает невиданную ранее стабильность дугового процесса

* Статья на правах рекламы.



Сравнение стандартного сварочного процесса с процессом LSC

Дополнительная графическая характеристика «Universal» является практически незаменимой при работе с угловыми швами, вертикальными швами «снизу-вверх» и нахлесточными соединениями. Важно отметить, что в данном случае мы получаем швы с отличным формированием даже при отсутствии серьезной подготовки кромок изделия под сварку.

Таким образом, благодаря вышеописанным графическим характеристикам сварочной платформы TPS/i достигается высочайшая стабильность сварочной дуги, которая гарантирует непосредственное увеличение скорости сварки и отсутствие сварочных брызг. Помимо этого, процесс LSC также идеально подходит для сварки в среде защитного газа CO₂ (100 %).

Новый сварочный процесс LSC Advanced является оптимальным решением везде, где применяются длинные кабели и шланг-пакеты. Почему? В связи с высокой индуктивностью в более длинных шланг-пакетах устанавливается

специальный контур для обеспечения мгновенного отключения тока. Поставляемое дополнительно оборудование для LSC Advanced понижает сварочный ток еще быстрее, исключая таким образом образование брызг и обеспечивая надежный и точный капельный перенос металла. Именно поэтому сварочная дуга высокой стабильности, свойственная процессу LSC, теперь также возможна и при сварке с использованием длинных шланг-пакетов. Кроме этого, процесс LSC Advanced является оптимальным решением для автоматизированной и роботизированной сварки.

Уменьшение количества брызг, улучшенный отрыв капли, повышение стабильности дуги и скорости сварки, контролируемые свойства поджига и многое другое, — до процесса LSC сварка еще никогда не давала таких потрясающих результатов.

Fronius International — это австрийское предприятие, главный офис которого расположен в Петтенбахе и которое также имеет отделения в Вельсе, Тальхайме, Штайнхаузе и Заттледте. Предприятие специализируется на сварочном оборудовании, зарядных устройствах для аккумуляторных батарей и солнечной электронике. Всего штат компании насчитывает 3239 сотрудников. Доля экспорта составляет 93 %, что достигается благодаря 19 дочерним компаниям и международным партнерам по сбыту (представительства предприятия Fronius более чем в 60 странах). Первоклассные товары и услуги, а также 864 действующих патентов делают Fronius технологическим лидером на мировом рынке.



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

ПРОМЫШЛЕННЫЙ АУТСОРСИНГ*

*В мировой практике очень хорошо понимают значение аутсорсинга для компаний-производителей, которые все чаще передают вспомогательные процессы собственного производства в руки аутсорсинговых компаний. Аутсорсинг** — понятие многогранное, условно его можно разделить на два направления: производственный аутсорсинг и аутсорсинг бизнес-процессов. Последний развивается в нашей стране достаточно динамично и включает в себя логистику, маркетинговые исследования, ведение кадрового делопроизводства, бухгалтерское обеспечение, рекламу, обслуживание компьютерных сетей и пр. Украина занимает одно из лидирующих мест по предоставлению услуг аутсорсинга в области IT-технологий, call-центров, но производственный аутсорсинг в стране развит очень слабо.*

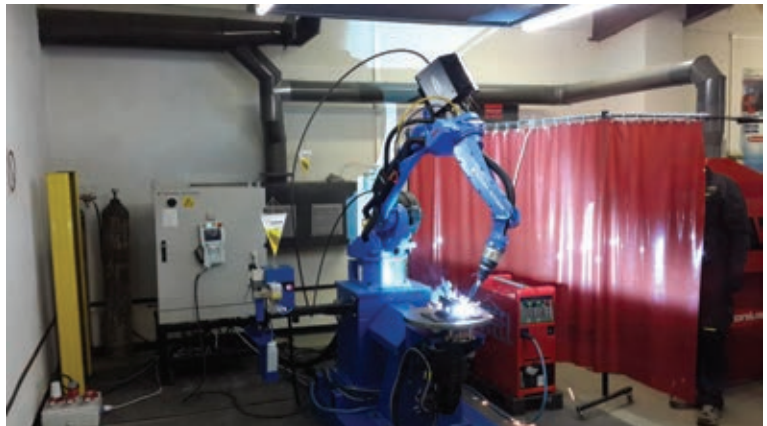
Предприятие «Триада-Сварка» предоставляет свои мощности именно для промышленного аутсорсинга и мы попросили директора компании Красносельского К. В. рассказать о своей деятельности.

Кор.: Кирилл Витальевич, считаете ли вы актуальными такие виды услуг в производственном секторе?

Красносельский К. В.: Очевидно, что в будущем промышленному аутсорсингу будут уделять больше внимания — это реальная возможность подключать высокопрофессиональных специалистов со стороны для решения внутренних задач, доступ к передовому оборудованию с минимальными для заказчика расходами. Это правильное перераспределение задач в производственном процессе, выделение главных и второстепенных направлений, гибкость деятельности; опыт партнерства, доверия и плечо предприятия-соседа.

Кор.: «Триада-Сварка» недавно на рынке подобных услуг, но уже прочно утвердилась в данной области, планируете развивать и дальше это направление?

Красносельский К. В.: В нынешней ситуации, когда экономика Украины находится не в самом благоприятном положении, мы вынуждены искать альтернативные пути развития. С мая 2014 года предприятие «Триада-Сварка» предоставляет свои промышленные мощности для аутсорсинга. Запущенный весной роботизированный комплекс «Мотоман» выполняет частично или целиком сварку различных деталей, передаваемых нам сторонними предприятиями, с которыми мы работаем по всей стране. Наблюдая кризис мелких и средних производств, мы решили предложить интересное для



обоих сторон взаимовыгодное сотрудничество. Требования к качеству выпускаемой продукции ужесточаются, многие компании, выходя на внешние рынки придерживаются определенных стандартов, и если в планы предприятия-изготовителя входила автоматизация или роботизация производственных процессов, то сегодня они вынуждены притормаживать темпы своего технического развития, включая переоснащение. Но выдерживать качество обязаны. Поэтому услуга аутсорсинга, предложенная нашей компанией, оказалась как нельзя кстати.

Кор.: Можете привести примеры такого сотрудничества?

Красносельский К. В.: К примеру, для компании «Блеск Металл Сервис» мы произвели сварку партии деталей «Опора каретки» на нашем роботизированном комплексе. Компания «Блеск Металл Сервис», являющаяся лидером рынка производства изделий из металла и специалисты компании остались довольны качеством сварного шва. Для выполнения этого заказа мы спроектировали и изготовили специальный кондуктор на четыре детали, с помощью которого увеличили производительность — пока робот варил две детали, установленные на кондукторе, с другой стороны кондуктора устанавливались еще две, затем кондуктор поворачивался и операция повторялась. Это позволило значительно сэкономить время и загрузить робот на сто процентов.

** Аутсорсинг — передача сторонней организации определенных задач, бизнес-функций или бизнес-процессов, обычно не являющихся частью основной деятельности компании, но тем не менее, необходимых для полноценного функционирования бизнеса. Это могут быть функции разработки, производства, технической поддержки, администрирования, даже продаж товара высококвалифицированными специалистами сторонней фирмы.

* Статья на правах рекламы.



Руководитель предприятия «Блеск Металл Сервис» Мысов В. Б.: Перед нами стояла задача обеспечить качественный сварной шов данного узла. Раньше мы выполняли подобные операции ручной дуговой сваркой, не всегда были довольны качеством шва, хотели увеличить количество изготавливаемых изделий. Так, сварщик за одну смену может сварить около сотни деталей, тогда как робот за ту же смену и на той же площади сваривает до тысячи деталей. Это позволяет увеличить производство в десятки раз, а качество шва при этом вне сомнений.

Кор.: То есть вы можете улучшить производство.

Мысов В. Б.: Несомненно. Объемы продукции растут, но увеличивать сегодня производственные мощности мы не готовы. Поэтому работа в партнерстве с предприятием Триада-Сварка — отличное решение для нас.

Кор.: Кирилл Витальевич, это дорогое удовольствие? Как формируется цена?

Красносельский К. В.: Относительно этого заказа цена формировалась из трех составляющих — разовые затраты на изготовление кондуктора, плюс написание техпроцесса и программирование робота, плюс стоимость метра шва, которая не зависит от сложности детали. Один раз потратившись на изготовление кондуктора и написание программы, при повторном обращении предприятие-заказчик платит только за метр шва.

Идея в том, что **мы продаем сварной шов**.

То есть предлагаем сварку ваших деталей

- ◆ на **наших** площадях
- ◆ **нашим** современным высокотехнологичным роботизированным сварочным комплексом
- ◆ **нашими** высококлассными специалистами.

Повторюсь — заказчик платит только за сварной шов! А остальное — наши заботы. Гарантируем 100 % качественный сварной шов. И полное отсутствие брака.

Кор.: Повторно обращаются?

Красносельский К. В.: Конечно. К примеру, компания «Блеск Металл Сервис» уже неоднократно обращалась с заказами, мы выполняем заказы до нескольких тысяч деталей.

Кор.: Кирилл Витальевич, кроме непосредственно процесса сварки, какие виды услуг промышленного аутсорсинга вы предлагаете?

Красносельский К. В.: «Триада-Сварка» на рынке сварочного оборудования работает более 20 лет, является официальным интегратором промышленных роботизированных сварочных комплексов на базе оборудования YASKAWA MOTOMAN (Япония) и FRONIUS INTERNATIONAL (Австрия); официальным представителем фирмы ABICOR BINZEL (Германия), ASKAYNAK (Турция); у нас работают специалисты высочайшего класса в области сварки, прошедшие специальное обучение в европейских роботолaborаториях, где тестируются роботы мировых брендов. Поэтому спектр наших услуг очень широк — от процесса сварки на наших роботизированных комплексах до подбора и поставки оборудования, консультаций по техническим и технологическим вопросам в области сварки, автоматизации производства в целом, роботизации.

Предприятие «Триада-Сварка» предлагает заказчику визуализацию проектного задания с помощью лицензированной программы трехмерного моделирования, которая разработана специально для поддержки инженерных проектов.

Мы предлагаем весь комплекс услуг с внедрением и поставкой промышленных роботов в производство, начиная с изучения технического задания, и заканчивая запуском РТК на территории заказчика и дальнейшим его обслуживанием. В это непростое время всегда готовы находить оптимальные решения для взаимовыгодного партнерства.

И еще хотелось бы подчеркнуть, что будущее Украины формируется сегодня каждым из нас. Мы верим в мощный экономический рост страны, и считаем что эффективное взаимодействие всех участников производственных процессов, внедрение передовых технологий, применение знаний и умений каждого из нас, сделает нашу страну еще сильнее.



Украина, г. Запорожье
+38(061) 220-00-79, 233-10-58
www: rfa-robotics.com

