



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Н. П. Алешин (Россия)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
В. И. Лысак (Россия)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Г. А. Туричин (Россия)
Чжан Янмин (Китай)
Д. фон Хофе (Германия)

УЧРЕДИТЕЛИ:

Национальная академия наук
Украины, Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ,
Международная
ассоциация «Сварка»

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ
Тел.: (38044) 287 6302, 529 2623
Факс: (38044) 528 3484, 529 2623
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001.

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Ищенко А. Я., Фальченко Ю. В., Устинов А. И., Мовчан Б. А., Харченко Г. К., Муравейник А. Н., Мельниченко Т. В., Руденко А. Э. Диффузионная сварка микродисперсного композита AMg5+27% Al₂O₃ с применением нанослойной фольги Ni/Al 5
Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П., Смиленко В. Н. Влияние электродинамической обработки на напряженное состояние сварных соединений стали Ст3 10
Скуба Т. Г. Пространственная модель сварного стыка по данным триангуляционного оптического сенсора 13
Роянов В. А., Коросташевский П. В. Выбор параметров роликового поля линий сборки и сварки тонколистовых полотнищ 19

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Патон Б. Е., Юценко К. А., Лычко И. И., Ковалев В. Д., Великий С. И., Питула С. И., Чепурной А. Д., Никитченко С. П., Шалашный А. Н. Оборудование, техника и технология электрошлаковой сварки неповоротных кольцевых стыков 25
Кирьян В. И., Кныш В. В., Кузьменко А. З. Продление ресурса металлических пролетных строений железнодорожных мостов с усталостными повреждениями 29
Илюшенко В. М., Воропай Н. М., Поляков В. А. Технологические особенности процессов автоматизированной дуговой сварки при ремонте крупногабаритных резервуаров 33
Демченко Э. Л., Васильев Д. В. Влияние структурно-фазового состояния высокопрочного металла шва на свойства сварных соединений закаливающихся сталей 38
Сальников А. С., Отроков В. В., Шеленков Г. М., Цымбал Э. Л., Лактионов М. А. Применение коррозионностойкой наплавки в технологическом оборудовании, эксплуатируемом в контакте с морской водой 44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Чайка Н. К. Блок смещения и питания катода электронно-лучевой сварочной пушки с использованием инверторных преобразователей 50
Диссертации на соискание ученой степени 53
Патенты в области сварочного производства 54
По зарубежным журналам 57

ХРОНИКА

Международная конференция «Ti — 2007 в СНГ» 60
«Железнодорожный транспорт. Сварка 2007» 61
М. Л. Жадкевичу — 70 63
В. И. Дворецкому — 70 64

ИНФОРМАЦИЯ 66
Разработано в ИЭС 18, 24, 32

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

№ 7 (651)

July 2007

Published since 1948

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Dilthey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
V. I. Lysak (Russia)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
G. A. Turichin (Russia)
Zhang Yanmin (China)

FOUNDERS:

The National Academy of Sciences
of Ukraine, The E. O. Paton Electric
Welding Institute,
International Association «Welding»

PUBLISHER:

International Association «Welding»
Address of Editorial Board:
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 287 63 02, 529 26 23
Fax: (38044) 528 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushtina
Electron galley:
I. S. Batasheva, L. N. Gerasimenko,
A.I.Sulima, I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Ishchenko A. Ya., Falchenko Yu. V., Ustinov A. I., Movchan B. A., Kharchenko G. K., Muraveinik A. N., Melnichenko T. V., Rudenko A. E. Diffusion bonding of microdispersed composite AMg5+27 % Al₂O₃ using nanolayered foil Ni/Al 5

Lobanov L. M., Pashchin N. A., Loginov V. P., Smilenko V. N. Effect of electrodynamic treatment on stressed state of welded joints in steel St3 10

Skuba T. G. Spatial model of welded joints based on data of triangulation optical sensor 13

Royanov V. A., Korostashevsky P. V. Selection of parameters of roller field of lines for assembly and welding of thin-sheet panels 19

INDUSTRIAL

Paton B. E., Yushchenko K. A., Lychko I. I., Kovalev V. D., Veliky S. I., Pritula S. I., Chepurnoj A. D., Nikitchenko S. P., Shalashny A. N. Equipment, method and technology for electroslog position butt circumferential welding 25

Kiryay V. I., Knysh V. V., Kuzmenko A. Z. Extension of life of railway bridge span structures containing fatigue damages 29

Ilyushenko V. M., Voropaj N. M., Polyakov V. A. Technological features of processes of automated arc welding in repair of large-size tanks 33

Demchenko E. L., Vasiliev D. V. Effect of structural-phase state of high-strength weld metal on properties of welded joints in hardening steels 38

Salnikov A. S., Otkrov V. V., Shelenkov G. M., Tsymbal E. L., Laktionov M. A. Application of corrosion-resistant cladding for process equipment operating in contact with sea water 44

BRIEF INFORMATION

Chaika N. K. Cathode displacement and power unit for electron beam welding gun using inverter-type transducers 50

Theses for scientific degree 53

Patents in the field of welding production 54

Review of foreign journals 57

NEWS

International Conference «Ti — 2007 in CIS» 60

«Railway transport. Welding 2007» 61

M. L. Zhadkevich is 70 years 63

V. I. Dvoretzky is 70 years 64

INFORMATION 66

Developed at PWI 18, 24, 32

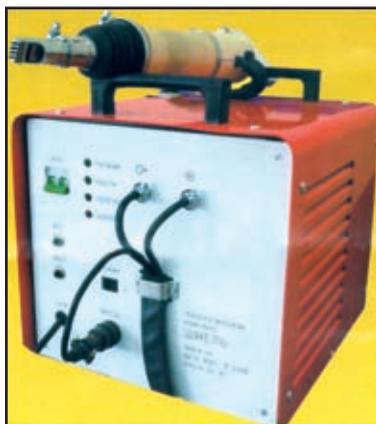
НКМЗ ОТГРУЗИЛ В УЗБЕКИСТАН ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Новоκραматорский машиностроительный завод (г. Краматорск Донецкой обл.) завершил поставку оборудования для коренной реконструкции 100-тонной дуговой сталеплавильной печи на Узметкомбинат (Узбекистан, Бекабад). С реализацией этого контракта НКМЗ впервые вышел на рынок электросталеплавильного оборудования. При этом новоκраматорцы доказали не только состоятельность новых технических решений, но и их превосходство над существующими. Улучшение технических характеристик дуговой сталеплавильной печи емкостью 100 т, предусмотренное специалистами НКМЗ, позволит узбекским металлургам почти вдвое сократить внеплановые простои и увеличить производство качественного металла.

В то же время с пуском печи НКМЗ замкнет сталеплавильный цикл и будет иметь референц-листы по всем агрегатам современного сталеплавильного комплекса.

УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ООО «МАГНИТ плюс» (г. Санкт-Петербург) предлагает технологический комплекс «Шмель», предназначенный



для упрочняющей обработки сварных соединений металлоконструкций, эксплуатируемых при переменных и постоянных нагрузках, методом ударного деформирования на ультразвуковой частоте. Комплекс обеспечивает снижение механических напряжений в сварном соединении и основном металле, создает упрочняющий слой с повышенной сопротивляемостью к образованию трещин.

Технические характеристики комплекса: рабочая частота 26...28 кГц, выходная мощность 500 Вт, напряжение питания 220 В, масса 21 кг, габариты 36×390×420 мм.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА СВАРКОЙ НАПЛАВОМ

На выставке «Сварка, резка, наплавка» в Москве (май 2007 г.) компанией «Weld Mold» (США) была представлена технология ремонта изношенных, треснувших и сломанных ковочных, прессовочных, высадочных и обрезных штампов, разрубных ножей, больших шлаковых тиглей, опорных плит и штамподержателей.

Большие по размеру полости ремонтируемых изделий могут быть заполнены наплавленным металлом за несколько часов (другие методы ремонта занимают дни и недели, а



порой и месяцы). Дуговая наплавка позволяет в широких пределах изменять химический состав и свойства наплавленного металла. Накоплен опыт восстановления свыше 3000 видов продукции с использованием электродов (с покрытием и без, сплошной и порошковой проволокой). Диаметр наплавочных материалов составляет от 1,2 до 19 мм. При необходимости технология



обеспечивает получение таких свойств наплавленного металла, как жаропрочность, износостойкость, коррозионностойкость. Электроды на никелевой основе применяют для заварки дефектов литья из чугуна. При соединении инструментов и штампов из углеродистой стали используют соответствующее легирование.

«Weld Mold» разработала и запатентовала устройства «Arm» (для электродов) и «Ма-



pipulator» (для порошковых проволок), обеспечивающие высокую скорость плавления сварочных материалов.

КОМПЛЕКС СЛР-02

В настоящее время и в ближайшем будущем технологии лазерной и плазменной резки будут наиболее востребованными способами раскроя и обработки листового материала благодаря своей простоте, надежности, безопас-



ности и экономичности в сравнении с любыми другими. Станки этого типа способны резать любые материалы: пластик, сталь, в том числе нержавеющую и высоколегированную, чугун, медь, латунь, бронзу, алюминий, титан и другие материалы, а также успешно применяются для гравирования и разметки.

ЗАО «Завод мехатронных изделий» (Московская обл.) освоил производство столов этой серии, в частности СЛР-02, для высокопроизводительного и качественного раскроя листового материала.

СЛР-02 состоит из трехкоординатного стола портального типа, СО₂-лазера с выходной средней мощностью 200 Вт, системы доставки луча к объекту, а также управляющего контроллера. Собственный стол построен на основе линейных модулей производства STS (Италия). Модули выполнены из точного алюминиевого профиля с интегрированными роликовыми направляющими качения. Узлы крепления модулей к станине позволяют скомпенсировать непрямолинейность самого мо-

дуля. В трансмиссии применены армированные полиуретановые ремни. Привод осуществляется синхронными сервомоторами с прецизионными планетарными редукторами. Опционально возможна установка гофрозащиты.

Лазерный комплекс может быть оснащен СО₂-лазерами с выходной средней мощностью 300 и 500 Вт. По требованию заказчика могут быть установлены более мощные щелевые лазеры РАС-1000 и РАС-250.

Инженеры этого завода создали оборудование, в котором идеально сочетаются прецизионные комплектующие в конструкции стола и лазер отечественного производства. Таким образом, удалось достичь высокой точности раскроя и низкой цены изделия.

ПРИБОР ДЛЯ ЗАТОЧКИ ВОЛЬФРАМОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ NEUTRIX

«Унитех» (г. Дубно Ровенской обл.) предлагает единственный в своем роде прибор Neutrix для заточки вольфрамовых электродов. В разрабатываемый прибор введена переносная шлифовальная машина, которая гарантирует воспроизводимое высококачественное шлифование вольфрамовых электродов для сварки дуговой плазмой, сварки способом WIG (вольфрам



— инертный газ) и «орбитальной» сварки (труб) и при этом отвечает жестким требованиям по охране окружающей среды.

Благодаря своей мобильности прибор Neutrix идеально подходит для монтажных работ и других заданий, при которых требуется переносной шлифовальный аппарат. Для стационарной работы его можно поставлять с закрепленной опорной станиной и с большим фильтром для улавливания пыли. Существенные преимущества прибора Neutrix:

с помощью шкалы угла заточки плавно устанавливаются желаемый угол острия. Углы заточки от 7,5 до 90° отвечают углам на электрод от 15 до 180°; экспериментальный диск позволяет трехкратное использование алмазного диска на трех полостях шлифования;

со специальным зажимным приспособлением можно затачивать короткие вольфрамовые электроды диаметром 1,0...4,0 мм длиной до 15 мм (для сложных работ, в том числе автоматической сварки труб);

точное определение длины износа достигается с помощью регулируемого калибра, таким образом возможен минимальный расход электродов и минимальный износ алмазного диска. С помощью регулируемого калибра также можно снимать gratы с вольфрамовых электродов (диаметр больше 1,6 мм) для сварки алюминия;

возможность через смотровое стекло наблюдать за процессом заточки и проверять давление шлифования, чтобы не допустить отжига электрода при заточке;

встроенный отсос и выносной фильтр для улавливания пыли являются важной особенностью прибора Neutrix. В таком исполнении Neutrix — единственный заточный аппарат для вольфрама на мировом рынке.



ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА МИКРОДИСПЕРСНОГО КОМПОЗИТА $AMg5+27\% Al_2O_3$ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСЛОЙНОЙ ФОЛЬГИ Ni/Al

Чл.-кор. НАН Украины **А. Я. ИЩЕНКО**, **Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО**, канд. техн. наук, **А. И. УСТИНОВ**, д-р техн. наук, академик НАН Украины **Б. А. МОВЧАН**, **Г. К. ХАРЧЕНКО**, д-р техн. наук, **А. Н. МУРАВЕЙНИК**, **Т. В. МЕЛЬНИЧЕНКО**, кандидаты техн. наук, **А. Э. РУДЕНКО**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Показано, что присутствие прослойки между свариваемыми поверхностями способствует формированию прочного (порядка 70 % прочности основного материала) сварного соединения без изменения однородности распределения упрочняющих частиц (Al_2O_3). Активирующее воздействие прослойки на процесс диффузионной сварки обусловлено реакцией синтеза с образованием в зоне соединения интерметаллидной фазы $NiAl_3$, которая в условиях нагрева под давлением фрагментируется и растворяется в матричной фазе композита.

Ключевые слова: диффузионная сварка, композит, электронно-лучевое осаждение, нанослойная фольга, твердофазный синтез

Применение композиционных материалов (КМ) при создании сложных механических систем (авиадвигатели, корпусные узлы, стабилизаторы ракет, поршни, шатуны и другие детали автомобильных двигателей) в ряде случаев сдерживается из-за неудовлетворительной свариваемости [1]. Использование традиционных методов соединения материалов путем плавления обычно приводит к насыщению металла шва газами и (или) к нарушению однородности распределения упрочняющей компоненты КМ (сварка лазером или электронным лучом). Кроме того, за время термического цикла сварки компоненты КМ, как правило, вступают между собой в химическое взаимодействие и материал теряет свои прочностные свойства.

Сварка плавлением дисперсно-упрочненных КМ на основе алюминия затруднена также из-за высокой вязкости металла в сварочной ванне, эффектов агломерации армирующих частиц (при применении в качестве армирующих частиц Al_2O_3), диссоциации армирующих частиц при применении частиц SiC. Образующиеся при этом в шве конгломераты упрочняющих частиц или карбидов алюминия приводят к снижению прочности и коррозионной стойкости сварных соединений [2–4].

Использование способа диффузионной сварки в вакууме (ДСВ) для формирования неразъемных соединений алюмокомпозитов позволяет избежать некоторых отмеченных выше трудностей и получить качественные соединения КМ с металлической матрицей [5].

Анализ явлений, протекающих при ДСВ, показывает, что значения параметров процесса сварки (температура, давление, время формирования сварного соединения и т. п.) в значительной степени зависят от условий, обеспечивающих активацию свариваемых поверхностей, т. е. разрушения оксидной пленки, пластической деформации поверхностных слоев кромок и т. п. Известно, что при ДСВ высокопрочных материалов условия активации поверхности значительно облегчаются при введении между свариваемыми поверхностями прослойки из пластичных сплавов — алюминия, меди, никеля, серебра или золота, а также в виде гальванических или тонкопленочных покрытий. В качестве прослойки при ДСВ используются также порошковые материалы, эффективность которых связывают с высокоразвитой свободной поверхностью порошков и, как следствие, их высокой диффузионной активностью [6].

Дополнительную активацию свариваемых поверхностей получали при использовании прослоек, состоящих из двух фольг на основе различных элементов, в которых при повышении температуры развивались процессы контактного плавления, сопровождающиеся появлением жидкой прослойки, что способствовало активации свариваемых поверхностей при более низких температурах и давлении [7].

Таким образом, из анализа работ, посвященных разработке методов формирования неразъемных соединений КМ, видно, что введение прослойки, способных к пластической деформации и ускорению протекания диффузионных процессов (например, из-за высокой плотности границ раздела), обеспечивает активацию свариваемых поверхностей и формирование сварного соединения. С



этой точки зрения для этих целей могут быть использованы слоистые материалы на основе элементов с высокой реакционной способностью.

Известно, что при нагреве в таких слоистых материалах происходят твердофазные реакции с образованием интерметаллидов, которые сопровождаются выделением тепла. Можно предположить, что в условиях приложения внешнего давления эти процессы будут способствовать развитию пластической деформации в приповерхностных слоях материала и удалению оксидной пленки с поверхности.

Скорость протекания твердофазных реакций в слоистых материалах зависит от толщины слоев. С их уменьшением скорость протекания реакции синтеза увеличивается [8], поэтому для наиболее эффективного воздействия прослоек на свариваемые поверхности предпочтительнее использовать нанослойные материалы.

В связи с изложенным в настоящей работе на примере КМ $\text{AMg5} + 27\% \text{Al}_2\text{O}_3$ исследованы возможности формирования сварных соединений с помощью нанослойной прослойки, состоящей из слоев никеля и алюминия.

Методика подготовки образцов для исследования. Нанослойную фольгу на основе системы Ni/Al получали методом послойного электронно-лучевого осаждения элементов на горизонтально вращающуюся подложку, закрепленную на вертикальном вале установки УЭ204, по методике, описанной в ряде работ (например, [9]). Схема процесса формирования фольги представлена на рис. 1. Для осуществления послойного осаждения элементов вакуумную камеру разделяли вертикально расположенным сплошным экраном на две равные части, в каждой из которых были уста-

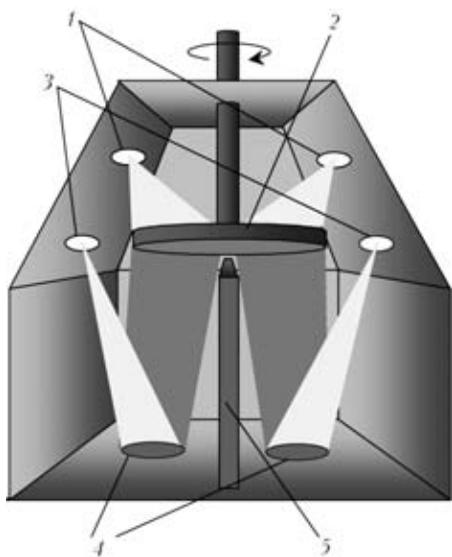


Рис. 1. Схема процесса электронно-лучевого осаждения конденсатов со слоистой структурой: 1 — нагревательные электронно-лучевые пушки; 2 — подложка; 3 — испарительные электронно-лучевые пушки; 4 — тигли со слитками для испарения; 5 — разделительный непроницаемый экран

новлены медные водоохлаждаемые тигли, в один из которых помещали слиток никеля, а в другой — алюминия. Подложку крепили на вертикальный вал, ось которого размещена над разделительным экраном. С помощью нагревательных электронно-лучевых пушек нагревали подложку до заданной температуры, которую контролировали в процессе осаждения термомпарой, спай которой был закреплен таким образом, чтобы он был максимально приближен к поверхности, на которой осаждался конденсат. До начала осаждения конденсата на поверхность подложки осаждался тонкий слой (1...2 мкм) CaF_2 , способствующий в дальнейшем отделению фольги от подложки. Затем испарительными пушками на поверхности слитков создавали расплавленную ванну, из которой производили испарение, интенсивность которого регулировали током электронного луча. Вращение подложки и наличие разделительного экрана позволяло последовательно осаждать слои из чистых элементов. Соотношение толщины отдельных слоев элементов определяли соотношением интенсивностей испарения слитков, а их суммарную толщину варьировали скоростью вращения подложки. Общую толщину фольги при заданной интенсивности испарения элементов задавали длительностью процесса осаждения.

Сварку КМ проводили в установке П-115 способом ДСВ в формирующих матрицах с принудительным деформированием зоны контакта.

Образцы из КМ размером $15 \times 15 \times 4$ мм для удаления нагарованного слоя, образующегося при прокатке, шлифовали, обезжиривали, а непосредственно перед сваркой зашабривали. Подготовленные образцы фиксировали в формирующих матрицах, которые устанавливали в массивной обойме между верхним и нижним пуансонами для соосности приложения давления сварки и выравнивания температурного поля вокруг образцов.

Нагрев осуществляли пластинчатыми нагревателями из молибдена. Для удобства обслуживания установки и доступа к изделию нагреватель состоит из двух половинок, закрепленных на водоохлаждаемых медных кронштейнах на дверцах вакуумной камеры. В рабочем положении при закрытых дверцах камеры нагреватель образует кольцо.

Температуру сварки измеряли потенциометром МПЩПл-54. В качестве датчика применяли хромель-алюмелевую термомпару, которую фиксировали в обойме в специальном зажиме.

Сварочное давление прикладывали от ручного пресса через клин, находящийся под вакуумной камерой, и нижний пуансон, прилегающий к сборке свариваемых заготовок. Прилагаемое давление контролировали индикатором типа ИЧ, установленным в динамометре между прессом и клином. Вакуум в камере оценивали по показаниям ионизационно-термомпарного вакуумметра марки ВИТ-3.

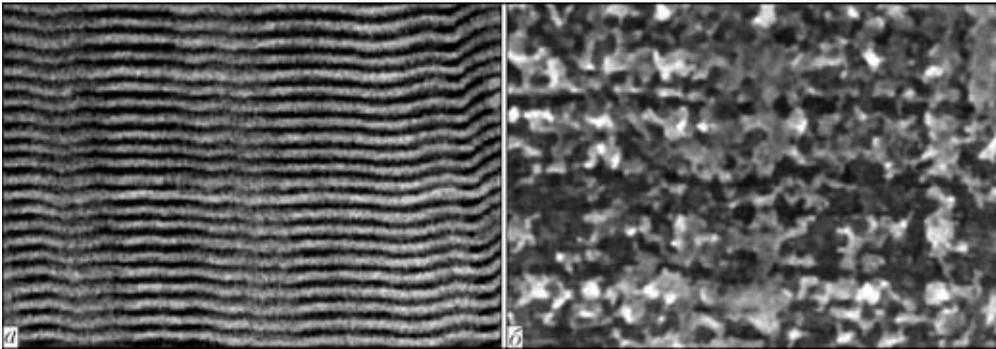


Рис. 2. Микроструктуры поперечного сечения многослойной фольги (светлые слои — никель, темные — алюминий) в исходном состоянии (а, $\times 20000$) и после протекания в ней реакции высокотемпературного синтеза без приложения давления (б, $\times 10000$)

После завершения процесса сварки и охлаждения обоймы до температуры $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ образцы вынимали из камеры. Порезку образцов для металлографических исследований структуры и механических испытаний проводили на электроэрозионном станке.

Для приготовления металлографических шлифов КМ с армирующими частицами, твердость которых значительно выше твердости материала матрицы, в качестве шлифовальных материалов использовали алмазные эластичные диски зернистостью от 125/100 до 3/2 мкм с последующим полированием алмазной пастой. Структуру композита выявляли электролитическим травлением в уксусно-хлорном электролите следующего состава: 1000 см^3 ледяной уксусной кислоты CH_3COOH и 70 см^3 хлорной кислоты HClO_4 , а также химическим травлением в 10%-м растворе H_3PO_4 . Для выявления в нанослойной фольге слоев Ni/Al использовали методы селективного химического травления в реактиве Васильева.

Микроструктурные исследования выполняли на микроскопах МИМ-8, Neophot, сканирующем электронном микроскопе «CamScan4», оснащенном энергодисперсионным микроанализатором «Energy 200» для определения химического состава исследуемого участка шлифа. Твердость образцов измеряли на приборе «Роквелл» при нагрузке 600 Н, микротвердость — на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,2 Н.

Образцы исходного КМ $\text{AMg5} + 27\% \text{ Al}_2\text{O}_3$, а также сварных соединений испытывали на растяжение с использованием стандартных образцов МИ-12 (тип 1 по ГОСТ 6996–66).

Результаты и их обсуждение. На рис. 2 представлены микроструктуры многослойного конденсата Ni/Al состава 77Ni–23Al мас. %, состоящего из слоев никеля и алюминия толщиной соответственно 0,05 и 0,07 мкм. Видно, что границы между слоями достаточно резкие, т. е. электронно-лучевая технология обеспечивает формирование слоистых конденсатов с разделенными элементами, способными к реакционной диффузии.

Кроме того, контакт между слоями создает условия для протекания в таких материалах реакции синтеза, развивающейся с высокой скоростью. На рис. 2, б представлена микроструктура фольги

после протекания в ней твердофазной реакции, которая развивалась по схеме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. В результате протекания этой реакции в фольге формируется консолидированная компактная структура с размером зерен менее 1 мкм.

КМ $\text{AMg5} + 27\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ был изготовлен литейным способом — замешиванием дисперсных упрочняющих частиц Al_2O_3 в расплав материала матрицы с последующим прессованием [10]. В исходном состоянии (рис. 3, а) КМ представляет собой α -твердый раствор алюминия с равномерно распределенными дисперсными интерметаллидными включениями, присущими матричному алюминиевому сплаву, и армирующими частицами оксида алюминия. Частицы Al_2O_3 угловатой формы, темно-серого цвета, размером 3...15 мкм и межчастичным расстоянием 3...20 мкм достаточно равномерно распределены в объеме матрицы. Основными

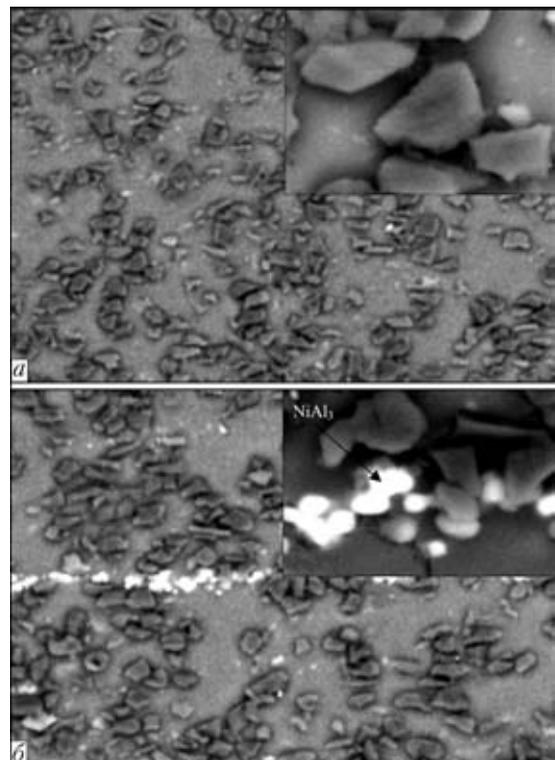


Рис. 3. Микроструктуры ($\times 300$) КМ в исходном состоянии (а) и в зоне сварного соединения (б); в правых верхних квадратах $\times 1500$

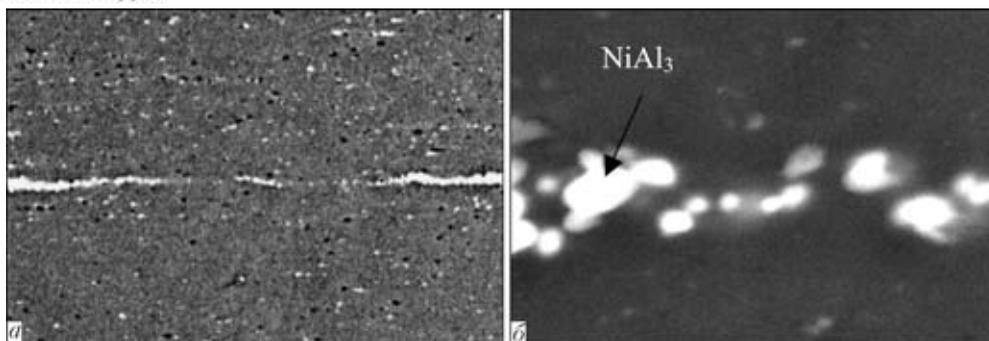


Рис. 4. Микроструктуры зоны соединения сплава АМг6: а — $\times 300$; б — $\times 3000$

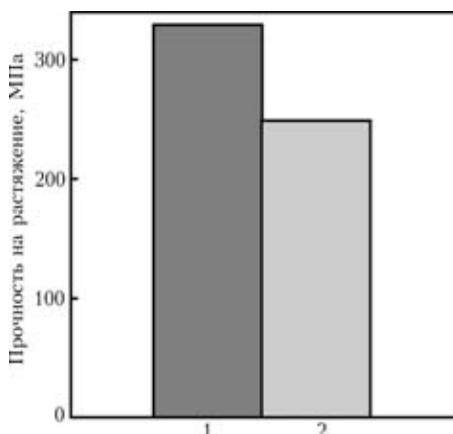


Рис. 5. Прочность образцов из исходного материала (1) и сварного соединения с нанослойной прослойкой Ni/Al (2) при испытании на разрыв

дефектами в КМ являются поры и несплошности в области скопления частиц, что оказывает отрицательное влияние на свойства материала. По сравнению со сваркой плавлением при сварке в твердой фазе подобные дефекты основного металла в меньшей степени влияют на качество соединений.

На рис. 3, б представлена микроструктура зоны сварного соединения КМ, полученного способом ДСВ с использованием многослойной фольги Ni/Al. Температура нагрева при сварке составляла $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующей выдержкой в течение 5 мин. В отличие от структуры исходного материала (рис. 3, а) в зоне соединения сформировалась цепочка выделений, локальный анализ химического состава которых показал, что они близки к составу интерметаллида NiAl_3 (39,5Ni–60,5Al мас. %). Кроме того, в процессе ДСВ характер распределения и морфология армирующих частиц Al_2O_3 в прилегающих к шву областях не нарушается, агломерации армирующих частиц не наблюдается.

Следует отметить, что по сравнению с исходным составом фольги синтез интерметаллида, обогащенного алюминием, является следствием высокой диффузионной подвижности никеля в алюминии. Следовательно, твердофазные реакции в нанослойной прослойке, инициируемые нагревом до температуры сварки, активируют реакцию

диффузию не только в самой пленке, но и в поверхностных слоях соединяемых заготовок.

Для выяснения возможного влияния частиц Al_2O_3 , упрочняющих КМ, на диспергирование интерметаллидной прослойки, образующейся в результате реакции синтеза при неоднородной пластической деформации в зоне соединения и их локальном механическом воздействии на прослойку, были проведены эксперименты по ДСВ алюминиевого сплава, близкого по составу к матричному КМ — сплаву АМг6.

В исходном состоянии сплав АМг6 представляет собой α -твердый раствор алюминия, в котором присутствуют дисперсные частицы β -фазы (Al_3Mg_2), а также могут быть AlMg_2Mn , $\text{Al}_6(\text{FeMn})$; Mg_2Si , $\alpha(\text{FeSiMn})$, Al_3Fe размером, как правило, менее 1 мкм (рис. 4, а).

На рис. 4 представлена микроструктура зоны соединения образцов из сплава АМг6, полученного с использованием многослойной фольги Ni/Al указанного выше состава. В процессе ДСВ в многослойной фольге происходит реакция твердофазного синтеза интерметаллида, которая сопровождается фрагментацией фольги на отдельные включения размером 2...5 мкм, распределенные равномерно вдоль сварного шва. Из сопоставления микроструктур сварных соединений КМ и сплава АМг6 видно, что степень фрагментации интерметаллидных включений в обоих случаях близка.

Таким образом, в процессе сварки сплава АМг6 так же, как и в КМ, прослойка фрагментируется на отдельные дисперсные частицы, что обусловлено особенностями протекания твердофазной реакции в условиях интенсивной пластической деформации материала, которая развивается под действием давления и локализована главным образом в зоне соединения, и не связано с наличием в КМ упрочняющих частиц Al_2O_3 .

Механические испытания сварных соединений КМ, полученных ДСВ с помощью нанослойной прослойки Ni/Al, показали, что их прочность равна 249 МПа, что составляет 76 % прочности основного металла (рис. 5). Полученные результаты свидетельствуют, что прослойки с подобной структурой не только активизируют процессы, обеспечивающие диффузионную сварку КМ, но



и не приводят к существенному снижению прочностных свойств сварного соединения КМ.

Из анализа полученных результатов видно, что путем вариации структуры и состава прослойки, термического цикла процесса диффузионной сварки и приложения давления можно оптимизировать параметры ДСВ для достижения необходимого уровня механических характеристик сварных соединений КМ.

Выводы

1. На примере КМ на основе алюминиевого сплава АМг5, упрочненного дисперсными частицами Al_2O_3 в количестве 27 %, показано, что нанослойные прослойки в виде фольги, имеющие высокую диффузионную активность, обеспечивают при ДСВ в вакууме получение неразъемных соединений без нарушения сплошности и равномерное распределение упрочняющей фазы в зоне соединения.

2. Активизация процесса соединения происходит благодаря протеканию в объеме нанослойной прослойки твердофазной реакции синтеза интерметаллидной фазы $NiAl_3$, которая в условиях нагрева под давлением фрагментируется и растворяется в матричной фазе основного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках национальной программы «Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии» (проект № 111/06-Н).

It is shown that the presence of an interlayer between the surfaces being joined leads to formation of a strong (about 70 % of strength of the base metal) bond with no change in uniformity of distribution of the reinforcing particles (Al_2O_3). An activating effect of the interlayer on the process of diffusion bonding is provided by the reaction of synthesis to form the $NiAl_3$ intermetallic phase within the bond zone, the phase being fragmented and dissolved in the matrix phase of the composite under the heating and pressure conditions.

1. *Сварка в самолетостроении* / Г. А. Кривов, В. Р. Рябов, А. Я. Ищенко и др. — Киев: МИИВЦ, 1998. — 696 с.
2. *Взаимодействие* металлических расплавов с армирующими наполнителями / Т. А. Чернышова, Л. И. Кобелева, П. Шебо и др. — М.: Наука, 1993. — 272 с.
3. *Исследование* свариваемости дисперсно-упрочненного композиционного материала $Al+SiC$ / В. Р. Рябов, А. Н. Муравейник, В. П. Будник и др. // *Автомат. сварка*. — 2001. — № 11. — С. 15–19.
4. *Исследование* структуры сварных соединений дисперсно-упрочненного алюминиевого сплава / В. Р. Рябов, А. Н. Муравейник, Андр. А. Бондарев и др. // *Технология легких сплавов*. — 1999. — № 1/2. — С. 139–144.
5. *Soldadura por difusion de peliculas de oro electrodepositadas sobre aluminio* / F. A. Calvo, A. J. Criado, J. M. Gomes de Salara // *Rev. Soldadura*. — 1987. — 17, № 2. — P. 71–77.
6. *Массоперенос* при сварке давлением с применением ультрадисперсного порошка никеля / А. В. Люшинский, В. Ф. Мазанко, М. Н. Белякова и др. // *Свароч. пр-во*. — 1999. — № 6. — С. 10–14.
7. *Лашко С. В., Сухачева Г. Н.* Контактно-реактивная пайка алюминия и его сплавов // *Пайка в машиностроении*. — Рига: ЛатИНТИ, 1968. — С. 15–24.
8. *Modeling and characterizing the propagation velocity of exothermic reactions in multilayer foils* / A. B. Mann, A. J. Gaven, M. E. Reiss et al. // *J. Appl. Phys.* — 1997. — 82, № 3. — P. 1178–1188.
9. *Structure and property relationships in microlaminate Ni–Cu and Fe–Cu condensates* / R. F. Bunshah, R. Nimmagadda, H. J. Doerr et al. // *Thin Solid Films*. — 1980. — 72, № 2. — P. 261–275.
10. *Состояние* и перспективы развития производства композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов, армированных керамическими частицами / Б. И. Бондарев, И. С. Полькин, В. С. Романова, Е. М. Трубкина // *Сб. науч. тр.* — Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — С. 52–57.

Поступила в редакцию 04.12.2006

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

объявляет ежегодный набор в

ДОКТОРАНТУРУ по специальностям:

- ✓ *сварка и родственные процессы и технологии*
- ✓ *автоматизация процессов управления*
- ✓ *металловедение и термическая обработка металлов*
- ✓ *металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов*
- ✓ *диагностика материалов и конструкций*

АСПИРАНТУРУ по специальностям:

- ✓ *сварка и родственные процессы и технологии*
- ✓ *автоматизация процессов управления*
- ✓ *металловедение и термическая обработка металлов*
- ✓ *металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов*
- ✓ *диагностика материалов и конструкций*

Прием в аспирантуру проводится в сентябре месяце. Контактный телефон: **289-84-11**.
 Подробная информация на сайте института (раздел аспирантура): [www:pfton.kiev.ua](http://www.pfton.kiev.ua)
 Документы направлять по адресу: **03680, Украина, Киев-150, ГСП, ул. Боженко, 11**
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ученому секретарю



ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ Ст3

Академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **Н. А. ПАЩИН**, канд. техн. наук,
В. П. ЛОГИНОВ, **В. Н. СМИЛЕНКО**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние электродинамической обработки (ЭДО) импульсами тока на напряженное состояние низкоуглеродистой стали Ст3 и ее сварных соединений. Разработана экспериментальная методика, с помощью которой изучен механизм дискретного падения усилия нагружения плоских образцов при одноактном электродинамическом воздействии. Установлено, что ЭДО стыковых сварных соединений стали Ст3 позволяет снизить уровень остаточных сварочных напряжений более чем на 50 %.

Ключевые слова: сварные конструкции, низкоуглеродистая сталь, электродинамическая обработка, импульс тока, основной металл, сварное соединение, усилие растяжения, плоский образец, оценка напряжений, остаточные напряжения

Прогресс в современной технике обусловлен применением сварных конструкций с высокими заданными технологическими и эксплуатационными характеристиками. При этом проблемы снижения себестоимости и металлоемкости сварных изделий весьма актуальны. Для изготовления сварных элементов конструкций ответственного назначения широко применяют низкоуглеродистые стали, что требует разработки новых подходов к повышению механических свойств их сварных соединений.

Одной из причин снижения работоспособности металлических конструкций являются остаточные сварочные напряжения (ОН), отрицательно влияющие на прочность конструкций при циклических нагрузках, их коррозионностойкость и пр. Это вызывает необходимость исследования эффективных способов регулирования напряженного состояния сварных соединений.

Установлено, что воздействие импульсов тока на металл, который подвергается растяжению до уровня пластичности, приводит к релаксации его напряженного состояния [1]. В сварном соединении имеют место напряжения растяжения, близкие к пределу текучести материала; обработка его импульсами тока может инициировать снижение уровня ОН в металле шва и околошовной зоне (ОШЗ).

Одним из способов воздействия на металлы и сплавы является электродинамическая обработка (ЭДО), основанная на инициировании в материале электродинамических сил, возникающих при переходных процессах, которые сопровожда-

ют прохождением в материале импульсов тока [2]. При суммировании электродинамических сил с ОН сварных соединений обрабатываемой конструкции в ней могут формироваться локальные области макропластических деформаций, что приводит к снижению общего уровня напряженного состояния материала.

Целью настоящей работы является исследование влияния ЭДО на напряженное состояние низкоуглеродистой стали Ст3 и ее сварных соединений.

Для оценки влияния ЭДО на релаксацию механических напряжений в материале проводили обработку плоских образцов лопаточного типа [3]. Для создания одиночных импульсов тока в металле использовали лабораторную установку, созданную на базе конденсаторной машины, принцип работы которой изложен в [1]. При этом разряды батареи конденсаторов передавались на образец посредством контакта медного электрода с поверхностью металла в зоне ЭДО.

Испытания материалов выполняли на разрывной машине ЦДМ-10 с максимальным усилием растяжения 10 т при скорости деформирования 6 мм/мин. В течение всего цикла нагружения образцов проводили запись изменения растягивающего усилия до достижения материалом требуемого напряженного состояния.

В настоящей работе изучали пики электродинамического эффекта, наблюдаемого в виде резкого снижения сопротивления материала деформированию под влиянием импульсов тока. Электродинамический эффект проявлялся в виде характерных сбросов деформирующего усилия на диаграммах растяжения.

В экспериментах образец, закрепленный в захватах испытательной машины, предварительно растягивали до заданного значения предварительного напряжения $\sigma_{пр}$, а затем производили



Изменение параметров напряженного состояния после ЭДО в образцах основного металла из стали Ст3 и ее сварных соединений

Вид образца	<i>n</i>	$\sigma_{пр}$, МПа	σ_n , МПа	$\Delta\sigma_n$, МПа	$\Delta\sigma\% = \frac{\Delta\sigma_n}{\sigma_{пр}} \cdot 100, \%$	$\Sigma\Delta\sigma\%$, МПа	Вид нагружения
Основной металл	—	186,0	—	—	—	~40	Упругое
	1		144,3	41,7	22,4		
	2		130,4	13,90	7,47		
	3		116,6	13,80	7,42		
	4		111,0	5,600	3,00		
	—	230,0	—	—	—	~38	Упруго-пластическое
	1		180,37	49,63	21,57		
	2		155,40	24,97	10,85		
	3		141,52	13,88	6,030		
	—	310,0	—	—	—	~18	Пластическое
	1		255,0	55,0	17,74		
	Сварное соединение	—	205,0	—	—	—	~36
1			185,9	19,10	9,31		
2			155,4	30,50	14,80		
3			141,52	13,88	6,77		
4			130,42	11,10	5,41		
—		230,0	—	—	—	~39	Упруго-пластическое
1			183,15	46,85	20,36		
2			160,95	22,20	9,65		
3			144,30	16,65	9,09		
—		310,8	—	—	—	~18	Пластическое
1			255,30	55,50	17,85		

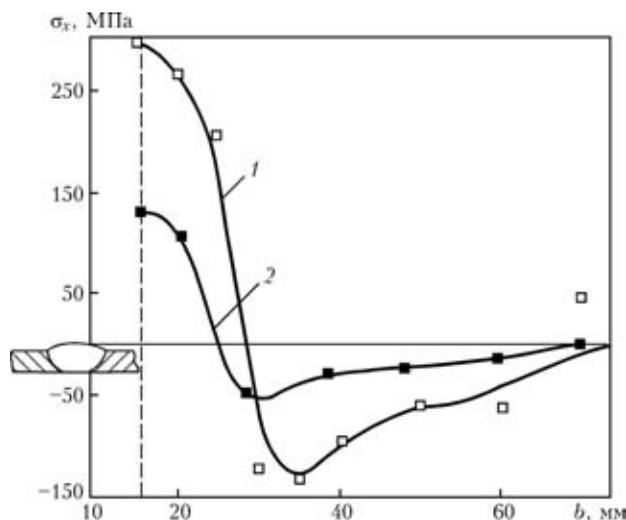
разряд. Падение деформирующего усилия $\Delta\sigma_n$ фиксировали с помощью самописца, который входит в состав разрывной машины ЦДМ-10. Растяжение осуществляли дискретно, с остановкой для ЭДО одиночными импульсами тока количеством *n* и фиксацией падения деформирующего усилия $\Delta\sigma_n = \sigma_n - \sigma_{n+1}$, где σ_n и σ_{n+1} — напряжения в материале образца соответственно до и после выполнения одиночного импульса.

Характеристики падения деформирующего усилия исследовали в широком диапазоне предварительного нагружения. Основное внимание при этом уделяли изучению электродинамического эффекта при предварительных напряжениях, близких по значению к ОН в сварных соединениях стали Ст3. Обработку выполняли на следующем режиме: ток на электроде $I_э = 3200$ А; напряжение $U_э = 480$ А; продолжительность воздействия тока $t_{имп} = 0,0012...0,80036$ с; емкость батареи конденсаторов $C = 4400$ мкФ.

Исследовали дискретные характеристики падения растягивающего усилия на основном металле и стыковых сварных соединениях, геометрические характеристики и схема обработки которых представлены в [3]. Образцы сварных соединений выполняли за один проход ручной сваркой покрытым электродом марки АНО-4И диаметром 4 мм на следующем режиме: ток дуги $I_д = 150$ А; напряжение на дуге $U_д = 70$ В; скорость сварки $v_{св} = 5$ м/ч.

Данные о предварительном напряжении $\sigma_{пр}$ и его дискретном падении в основном металле и сварных соединениях стали Ст3 при ЭДО представлены в таблице. Из таблицы можно заключить, что ЭДО образцов из стали Ст3 последовательными импульсами тока вызывает в материале падение усилия растяжения во всех диапазонах нагружения. При этом максимальные значения падения растягивающего усилия $\Delta\sigma\%$ достигаются при первом токовом разряде ($n = 1$) в цикле ЭДО. При последующих воздействиях импульсами тока снижение эффективности обработки материала происходит таким образом, что при $n \geq 5$ в цикле ЭДО значения $\Delta\sigma\%$ не превышают 1...2 %.

Суммарное относительное падение растягивающего усилия в упругой области $\Sigma\Delta\sigma\%$ в образцах основного металла (сталь Ст3) составляет около 40, а в сварном соединении — до 36 %. Это можно объяснить тем, что при сварке низкоуглеродистых сталей имеет место незначительное упрочнение участка перегрева ОШЗ [4], подвергаемого ЭДО, что снижает эффективность такой обработки. При предварительных нагрузках, значительно превышающих предел упругости стали Ст3 ($\sigma_{пр} = 310$ МПа), в основном металле и сварном соединении наблюдается наличие деформационного упрочнения, что также приводит к снижению эффективности ЭДО в пластической области нагружения, где $\Sigma\Delta\sigma\% \leq 18$ %.



Распределение продольных σ_x остаточных напряжений в сварных соединениях стали Ст3 без (1) и после ЭДО (2); b — полуширина сварного соединения

Напряжение плоского образца при $\sigma_{пр} = 230$ МПа примерно соответствует уровню остаточных растягивающих напряжений в ОШЗ сварного соединения стали Ст3. Таким образом, электродинамическое воздействие на нагруженный до 230 МПа образец может вызвать в нем суммарное падение растягивающего усилия $\Sigma\Delta\sigma_{\%}$, аналогичное снижению уровня ОН в реальных сварных соединениях металлоконструкций. Как следует из таблицы, с помощью ЭДО можно снизить уровень растягивающих напряжений «активной» зоны соединений стали Ст3 до 40 % первоначального.

Для подтверждения влияния электродинамического эффекта на изменение напряженного состояния тонколистовых сварных металлоконструкций выполняли ЭДО пластин размером $500 \times 500 \times 3$ мм с расположенным по центру продольным стыковым швом.

Уровень ОН определяли неразрушающим ультразвуковым методом (УЗ), основанным на зависимости скорости распространения ультразвуковых волн от напряжений в металле [5]. Этот метод позволяет анализировать плоское напряженное состояние, при этом целостность исследуемого объекта не нарушается.

Применяемый УЗ метод позволил провести многократные измерения текущих значений ОН после каждого импульса в цикле ЭДО. С помощью указанного метода оценивали эффективность ЭДО в зависимости от количества импульсов тока. Из-

мерения ОН проводили в центральном поперечном сечении пластин. Определяли продольную σ_x компоненту плоского напряженного состояния материала пластины до и после ЭДО. Обработку каждой пластины с продольным швом выполняли на режиме, ранее используемом при ЭДО плоских образцов. Пластина в момент ЭДО находилась в свободном состоянии, т. е. без приложения к ней статических нагрузок. Это позволило оценить влияние импульсного воздействия разрядов тока на релаксацию ОН, являющихся следствием термического цикла сварки. ЭДО выполняли точечными воздействиями на металл шва по направлению от его середины к краям с шагом 90...100 мм. Всего было произведено четыре разряда, что соответствует условиям обработки плоских образцов лопаточного типа. Выбор направления ЭДО обусловлен тем, что, согласно данным таблицы, максимально эффективными являются первый и второй разряды в серии, которые целесообразно выполнять в центральной части пластины, где уровень ОН максимальный.

Распределение продольных остаточных сварочных напряжений σ_x в обработанных и необработанных пластинах показано на рисунке. На основании эпюры ОН можно заключить, что ЭДО стыковых сварных соединений приводит к снижению продольной σ_x компоненты плоского напряженного состояния более чем на 50 %.

Приведенные данные свидетельствуют об эффективности применения ЭДО для регулирования напряженного состояния стали Ст3 и ее стыковых сварных соединений.

1. Влияние электродинамической обработки на напряженно-деформированное состояние теплоустойчивых сталей / Л. М. Лобанов, Н. А. Пашин, В. Ю. Скульский, В. П. Логинов // Автомат. сварка. — 2006. — № 5. — С. 28–32.
2. Теория электрических аппаратов / Г. Н. Александров, В. В. Борисов, В. Л. Иванов и др. — М.: Высш. шк., 1985. — 312 с.
3. Влияние электродинамической обработки на напряженно-деформированное состояние сварных соединений алюминиевого сплава АМг6 / Л. М. Лобанов, Н. А. Пашин, В. П. Логинов, В. Н. Смиленко // Автомат. сварка. — 2007. — № 6. — С. 11–19.
4. Грабин В. Ф. Металловедение сварки плавлением. — Киев: Наук. думка, 1982. — 416 с.
5. Основы ультразвукового неразрушающего метода определения напряжений в твердых телах / А. Н. Гузь, Ф. Г. Махорт, О. Н. Гуца и др. — Киев: Наук. думка, 1974. — 108 с.

The effect of electrodynamic treatment (EDT) with electric current pulses on the stressed state of steel St3 and its butt welded joints was investigated. The experimental procedure was developed to study the mechanism of a discrete fall of the loading force on flat specimens under a single electrodynamic effect. EDT of butt welded joints in steel St3 was found to provide a more than 50 % decrease in the level of residual welding stresses.

Поступила в редакцию 19.09.2006



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ СВАРНОГО СТЫКА ПО ДАННЫМ ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО ОПТИЧЕСКОГО СЕНСОРА

Т. Г. СКУБА, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрена задача построения пространственной модели стыка по данным, полученным от триангуляционного оптического сенсора. Результаты работы могут быть использованы в системах адаптивного управления процессом дуговой сварки листовых конструкций толщиной 30...50 мм в различных пространственных положениях.

Ключевые слова: сварные конструкции, стыковые соединения, геометрический размер, триангуляционный оптический сенсор, пространственная модель, аналитическое описание, аппроксимация, массив точек

При подготовке под сварку крупногабаритных изделий невозможно получить стыковые соединения (стык), геометрические размеры которого соответствуют указанным в чертежах. Поэтому управление манипуляционной системой сварочной горелки по «жесткой» программе, которая составляется на основе чертежей разделки кромок и параметров, характеризующих зазор и превышение кромок, образующихся при стыковке свариваемых частей изделия, не обеспечивает получение слоя наплавляемого металла реальной геометрии даже при неукоснительном соблюдении требуемых режимов сварки. Чтобы гарантировать точное соответствие геометрии наплавляемого слоя металла реальной геометрии разделки кромок, а не предусмотренной чертежами, что непосредственно влияет на качество сварного шва, необходимо применять адаптивное управление манипуляционной системой сварочной горелки [1, 2], алгоритм которого учитывает фактическое пространственное положение свариваемых изделий и геометрические параметры разделки кромок стыка.

В данной работе рассматривается задача построения пространственной модели реального стыка применительно к способу сварки толстостенных листовых конструкций, который называют способом поперечной «горки». Суть его состоит в последовательном заполнении стыка параллельными слоями металла, наплавляемыми под фиксированным углом к оси стыка. С помощью указанного способа сварки можно осуществлять однопроходную сварку стыковых и угловых поворотных и неповоротных стыков толстостенных конструкций в положении от нижнего до вертикального, в том числе в вертикальной плоскости.

Для формирования качественной наплавки слоев необходимо перемещать сварочную горелку по сложной пространственной траектории, которая должна соответствовать реальным пространственным параметрам стыка и обеспечивать постоянную толщину наплавляемого слоя металла. Для реализации этого процесса необходимо периодически измерять геометрические параметры свариваемого стыка на фиксированном расстоянии перед сварочной горелкой; по измеренным данным построить пространственную модель стыка; рассчитать траекторию перемещения сварочной горелки, соответствующую реальной геометрии стыка и обеспечивающую постоянную толщину и качество наплавки слоя металла с учетом транспортного запаздывания; выполнить адаптивное управление перемещением сварочной горелки в реальном времени в соответствии с геометрией каждого наплавляемого слоя.

Точность измерения геометрических параметров свариваемого стыка и позиционирования сварочной горелки как инструмента, закрепленного на последнем звене манипуляционной системы, должна составлять не менее 0,25 минимального диаметра электрода, используемого для сварки. При данном способе сварки точность измерения и позиционирования должна составлять не менее 0,2 мм.

В настоящей работе представлены результаты решения задачи построения пространственной модели стыка по данным, полученным от триангуляционного оптического сенсора (ТОС) со световым сечением стыка.

Использование ТОС. ТОС предназначен для формирования аналогового видеосигнала, представляющего изображение участка стыка свариваемых изделий, и передачи его системе управления процессом сварки. Он состоит из размещенных в одном корпусе осветительного устройства, формирующего световую плоскость, и видеокамеры.

Принцип работы ТОС [3] заключается в следующем. Осветительное устройство генерирует све-

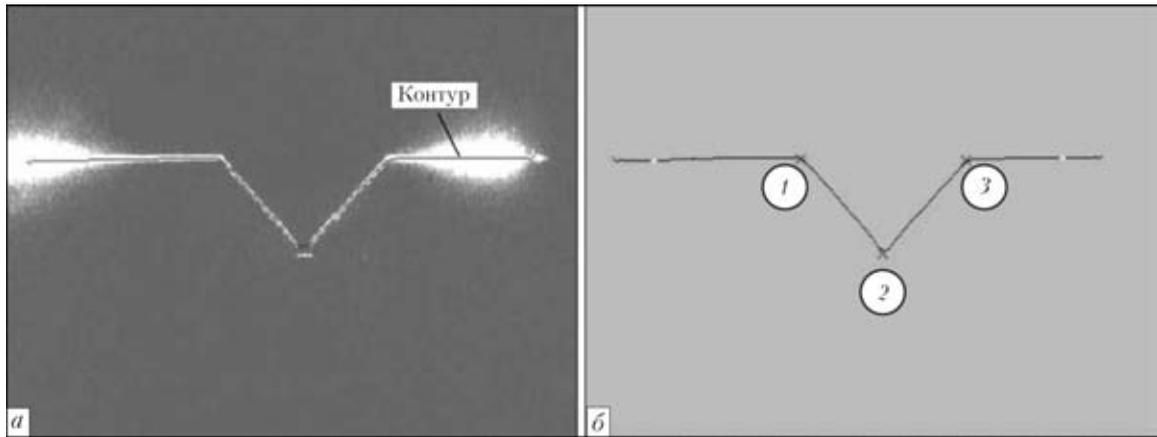


Рис. 1. Проекция световой плоскости на стык (а) и контур световой полосы (б): 1–3 — точки, находящиеся соответственно на левой кромке, в ее корне и на правой кромке

товую плоскость, которая проецируется на стык изделий в виде световой полосы (рис. 1). Ее контур принимает форму стыка, и при этом образуются точки перегиба. Точки перегиба (1–4) световой полосы при перемещении сенсора вдоль разделки во времени представлены на рис. 2.

Телевизионная камера принимает изображение световой полосы, спроецированной на свариваемые изделия. Из-за неоднородности обработки поверхности свариваемых изделий световая полоса, отражаясь от граней разделки, образует блики, которые являются источниками помех. В большинстве случаев прикладное программное обеспечение (ПО) ТОС отфильтровывает помехи и с требуемой точностью определяет пространственные координаты точек перегиба световой полосы. В некоторых случаях прикладное ПО ТОС рассчитывает координаты точек с некоторой погреш-

ностью, а в случае, если искомые точки не могут быть найдены, программа генерирует сигнал ошибки. В связи с этим гарантировать получение данных, отвечающих требуемой точности через заданный интервал времени, нельзя. Кроме того, непосредственно по показаниям ТОС невозможно определить координаты начала слоя металла, который необходимо наплавить, и его конца. Это объясняется тем, что запрос на получение информации от ТОС выдается не непрерывно, а через некоторые интервалы времени, и, кроме того, существует граница срабатывания ТОС. Пока эта граница не будет преодолена выполнить корректный численный расчет координат точек перегиба световой линии ПО сенсора не может. Нет возможности также непосредственно измерить с помощью сенсора притупление корня шва. Это объясняется тем, что боковые поверхности разделки кромок в корне стыка проточены под углом 90° , вследствие чего отраженные лучи генератора лазерной полосы не попадают в камеру и поэтому не могут быть измерены.

Сформированный массив значений координат точек перегиба световой полосы передается в виде структуры через файл, отображаемый в памяти компьютера, прикладному ПО построения пространственной модели стыка (ПМС).

Обоснование выбора метода статистической обработки результатов измерений. Задача прикладного ПО построения ПМС, реализующего выбранный метод статистической обработки результатов измерений, заключается в представлении стыка в аналитическом виде. Грани последнего описываются уравнениями плоскостей, которые составляются в результате аппроксимации набора данных, полученных от прикладного ПО телевизионного сенсора (ТС). Указанный метод позволяет с требуемой точностью воспроизвести поверхность разделки стыка. Данные о его положении относительно нулевой точки, выбранной заранее, и геометрии разделки кромок свариваемых частей изделия прикладное ПО ПМС полу-

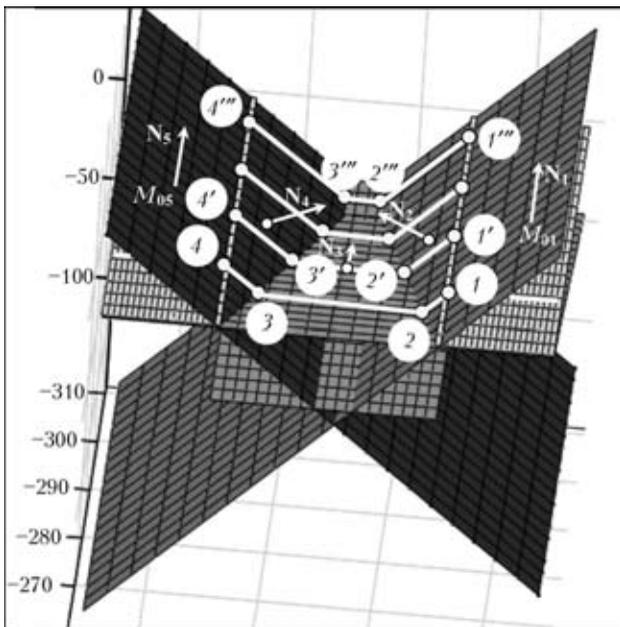


Рис. 2. Геометрия разделки, полученная в результате аппроксимации плоскостями: $M_{01} \dots M_{05}$ — точки на соответствующей плоскости; $N_1 \dots N_5$ — нормаль к плоскости, проведенная из соответствующей точки



чает от ТОС, установленного на сварочном тракторе. Каждое световое сечение, представляющее собой пространственные координаты точек перегиба контура полосы лазерного излучателя, заносится в список, который в дальнейшем является основой для аналитического описания стыка и расчета на его основе траектории перемещения звеньев манипуляционной системы. При этом также учитываются значения параметров, которые не могут быть непосредственно измерены с помощью ТОС (например, притупление корня шва), но заранее известны из конструкторской документации.

Для нахождения линии начала «горки» и линий, ограничивающих слева, справа, сверху и снизу каждый наплавляемый слой, решаются системы уравнений, состоящие из уравнений плоскостей. Эти уравнения получают путем аппроксимации плоскостями массива точек (см. рис. 2), которые находятся на ребрах левой и правой граней разделки, гранях «горки», верхней и нижней гранях свариваемых изделий. Количество точек на каждом ребре берется равным количеству корректных линий световой полосы, полученных от сенсора в процессе сканирования плоскости «горки». Для построения уравнения плоскости, описывающего правую кромку разделки, составляется массив точек, обозначенных на рис. 2 как $1, 1', \dots, 1'''$ и $2, 2', \dots, 2'''$. Плоскость, описывающая левую кромку разделки, строится по массиву точек, обозначенных на рис. 2, как $3, 3', \dots, 3'''$ и $4, 4', \dots, 4'''$. Уравнение плоскостей, описывающее плоскость «горки», рассчитывается по точкам $3, 3', \dots, 3'''$ и $2, 2', \dots, 2'''$. Поскольку стык по всей длине свариваемых изделий имеет переменную форму, то уравнения плоскостей пересчитываются в соответствии с текущим положением наплавляемого слоя металла. Для этого из массива точек, по которому для данного слоя рассчитываются уравнения плоскостей, удаляются те, которые описывали положение первого светового сечения, а в конец массива добавляются точки, описывающие положение следующего светового сечения,

не вошедшего в предыдущий массив данных. Причем формирование нового массива световых сечений осуществляется только в том случае, если значение координаты x начальной точки на следующем наплавляемом слое (рис. 3) больше, чем координаты x последнего светового сечения, входящего в текущий массив данных. В противном случае уравнения, описывающие боковые грани стыка, остаются неизменными, а положение плоскости, представляющей плоскость «горки», корректируется таким образом, чтобы она была смещена относительно предыдущей на толщину наплавляемого слоя. При этом ее наклон остается неизменным по всей длине протяжения стыка.

Подпрограмма аппроксимации плоскостью набора из n точек в пространстве вычисляет нормаль к плоскости $N\{A, B, C\}$ (единичный вектор) и точку $M_0(x_0, y_0, z_0)$, через которую проходит плоскость. Координаты точки вычисляются как среднее арифметическое значение координат исходных точек. Для нахождения вектора нормали использовали метод Якоби — нахождения собственных значений и собственных векторов для симметричных матриц [3]. Компонентами искомого вектора нормали являются компоненты собственных векторов исходной матрицы. Матрица составляется следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} xx & xy & xz \\ xy & yy & yz \\ xz & yz & zz \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} xx &= \sum_{i=0}^n x_i^2; & xy &= \sum_{i=0}^n x_i y_i; & xz &= \sum_{i=0}^n x_i z_i; \\ yy &= \sum_{i=0}^n y_i^2; & yz &= \sum_{i=0}^n y_i z_i; & zz &= \sum_{i=0}^n z_i^2 \end{aligned} \quad (2)$$

x_i, y_i, z_i — координаты точки $u_i(x_i, y_i, z_i)$; $u_i = v_i - M_0$; v_i — исходные точки в пространстве; $M_0(x_0, y_0, z_0)$ — точка, координаты которой являются

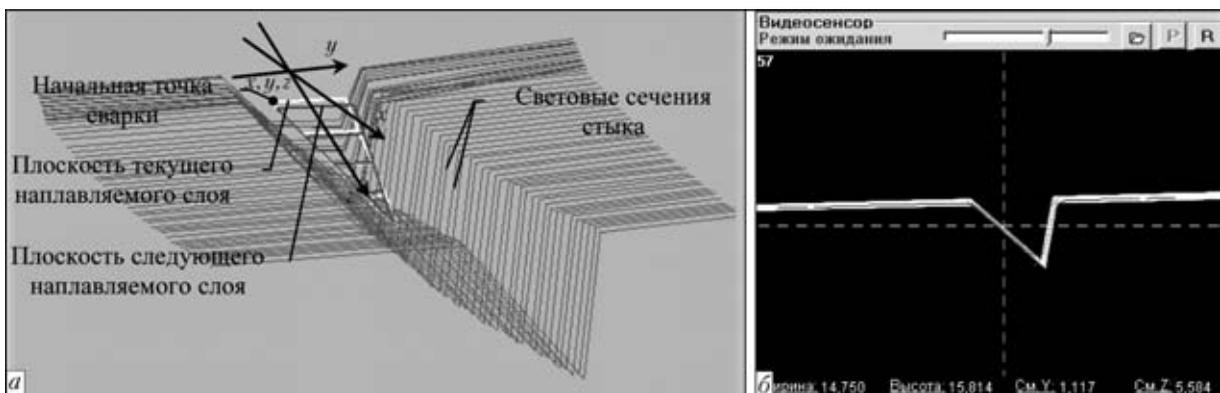


Рис. 3. Пространственная модель стыка (а) и видеосигнал ТОС (б)



средним арифметическим соответствующих координат $v_i(x_i, y_i, z_i)$ исходных точек.

Поскольку матрица A симметричная вещественная и размерность ее равна 3, то она имеет три собственных значения λ_i , каждому из которых ставится в соответствие собственный вектор V_i . Компоненты вектора нормали вычисляются следующим образом: если $\lambda_0 < \lambda_1$ и $\lambda_0 < \lambda_2$, то вектор нормали $N\{x_{V_1}, x_{V_2}, x_{V_3}\}$; если $\lambda_0 < \lambda_1$ и $\lambda_0 > \lambda_2$, то $N\{z_{V_1}, z_{V_2}, z_{V_3}\}$. Иначе, если $\lambda_0 > \lambda_1$ и $\lambda_1 < \lambda_2$, то $N\{y_{V_1}, y_{V_2}, y_{V_3}\}$; если $\lambda_0 > \lambda_1$ и $\lambda_1 < \lambda_2$, то $N\{z_{V_1}, z_{V_2}, z_{V_3}\}$.

Вычислив вектор нормали и точку, через которую проходит соответствующая плоскость (плоскость, описывающая левую или правую грань разделки, «горку» и т. д.), можно представить каждую из плоскостей уравнением вида

$$A(x - x_0) + B(y - y_0) + C(z - z_0) = 0. \quad (3)$$

Путем решения системы уравнений, описывающих горизонтальную плоскость поверхности металла и плоскость под углом 45° , определяем координаты начала первого наплавляемого слоя металла. Решение системы уравнений, описывающих горизонтальную плоскость на уровне корня разделки кромок и ту же плоскость под углом 45° , дает координаты конца слоя, который нужно наплавить.

Интервал времени, через который производится считывание данных, поступающих от ТОС, находится путем установки соответствующих значений свойств системного таймера, и составляет 150 мс. Считывание и запоминание информации осуществляют в реальном масштабе времени на этапе поиска начальной точки сварки, а также при перемещении сварочной горелки на каждый следующий наплавляемый слой. Пространственная модель разделки стыка представлена на рис. 3.

Синтез алгоритма построения ПМС. ПО ПМС выполняет три основные функции: считывание структуры данных из файла, отображаемого в памяти; аналитическое описание граней стыка в виде уравнений плоскостей; построение пространственного графического изображения стыка свариваемых изделий.

Модель стыка строится на основе данных, полученных от ТОС, с последующей аппроксимацией их плоскостями. Размер списка, в который заносятся данные от прикладного ПО ТОС, определяется транспортным запаздыванием — расстоянием от среза сопла сварочной горелки до ТС. Значения координат точек перегиба световой полосы ТС заносятся в список, начиная с нахождения координат начала стыка и заканчивая ус-

тановкой горелки в начальную точку сварки. В процессе сварки список обновляется при переходе на последующие наплавляемые слои. При этом из начала списка удаляются координаты точек перегиба первого светового сечения, а в его конец добавляются соответствующие координаты светового сечения, снятого ТС при перемещении сварочной тележки на следующий наплавляемый слой. Такой подход позволяет хранить в оперативной памяти компьютера небольшой, но достаточный для расчета объем данных, что делает возможным сваривать без остановок изделия сколь угодно большой длины.

Решение о пересчете плоскостей при перемещении сварочной тележки на следующий наплавляемый слой принимается из условия, что координата x начальной точки сварки на следующем слое металла (рис. 3), которая рассчитывается на основе технологических режимов сварки, превышает координату x точки I (см. рис. 1) контура светового сечения. Для принятия решения берется первое световое сечение, стоящее на очереди для занесения в список, на основе которого осуществляют текущий расчет уравнений плоскостей.

Для отображения на экране монитора пространственной модели использовали графическую библиотеку OpenGL, которая представляет математический аппарат для оперирования трехмерными объектами в пространстве.

Алгоритм построения пространственной модели стыка представлен на рис. 4. На блок-схеме присутствуют два системных таймера, выполняющих задание временного интервала, — считывания данных из файла, отображаемого в памяти, а также расчета и прорисовки трехмерного изображения стыка свариваемых изделий. Два таймера используются в связи с тем, что поставленные задачи выполняются через разные интервалы времени. Прорисовка изображения должна выполняться чаще, чем считывание новых данных от сенсора. Это объясняется необходимостью быстрого обновления изображения при его вращении и перемещении в окне отображения.

Результаты моделирования и экспериментальных исследований работы программного модуля ПМС. По результатам выполненной работы построена пространственная модель стыка свариваемых изделий, с помощью которой получают исходные данные для расчета траектории перемещения сварочной горелки, необходимой для осуществления сварки способом поперечная «горка». Панель настройки изображения, представленная на рис. 5, позволяет изменять внешний вид, масштаб и положение изображения в окне отображения до тех пор, пока изображение не достигнет желаемого для оператора вида.

Для проверки полученных результатов построения пространственной модели стыка на адек-



Рис. 4. Блок-схема алгоритма построения пространственной модели стыка

ватность использовался критерий Стьюдента [5]. Для этого выполняли расчет различий выборочных средних значений координат точек, полученных от ТС ($\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1$) и лежащих на рассчитанной плоскости ($\bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2$):

$$|t_x| = \frac{|D_x|}{S} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S}, |t_y| = \frac{|D_y|}{S} = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|}{S},$$

$$|t_z| = \frac{|D_z|}{S} = \frac{|\bar{z}_1 - \bar{z}_2|}{S}, \quad (4)$$

где $S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{g} + \frac{1}{h}\right) s^2}$; $S_1^2 = \frac{1}{g} s^2$; $S_2^2 = \frac{1}{h} s^2$; D — разность координат; взвешенное среднее значение равно:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=0}^g (x1_i - M_{x_1})^2 + \sum_{i=0}^h (x2_i - M_{x_2})^2}{g + h - 2},$$

g — количество точек, по которым рассчитывается уравнение аппроксимирующей плоскости ($g = 20$); h — расчетное количество точек, лежащих на плоскости ($h = 7$);

$$M_{x_1} = \frac{1}{g} \sum_i x_{1_i}, \quad M_{x_2} = \frac{1}{h} \sum_i x_{2_i};$$

$$D_x = -8,699 + 8,8125 = 0,113;$$

$$s^2_x = (93,516 + 177,881)/(20+7-2) = 10,856;$$

$$S^2_x = (1/20 + 1/7) \cdot 10,856 = 2,094;$$

$$t_x = 0,113/\sqrt{2,094} = 0,078;$$

$$t_y = 0,260/\sqrt{0,082} = 0,906;$$

$$t_z = 0,361/\sqrt{2,153} = 0,177.$$

Если абсолютные значения отношения $|t_x|, |t_y|$ или $|t_z|$ превышают значения t_β , взятые из таблицы, приведенной в работе [5], то гипотезу о том, что истинное среднее значение составляет соответственно $\hat{x}_1 = \hat{x}_2, \hat{y}_1 = \hat{y}_2$ или $\hat{z}_1 = \hat{z}_2$, следует отвергнуть. С вероятностью 0,95 можно считать $\hat{x}_1 = \hat{x}_2, \hat{y}_1 = \hat{y}_2$ и $\hat{z}_1 = \hat{z}_2$, если $t_x < 2,086, t_y < 2,086$ и $t_z < 2,086$ при $g = 20$.

Значения критерия Стьюдента $t < 2,086$ (t_x, t_y, t_z) дают основания предполагать, что набор точек аппроксимируется плоскостью корректно.

Таким образом, созданная в настоящей работе трехмерная модель стыка описана в виде уравнений плоскостей и предоставляет исходные данные для расчета любых траекторий перемещения сварочной горелки, точность воспроизведения которого является одним из важных факторов, влияющих на качество сварки.

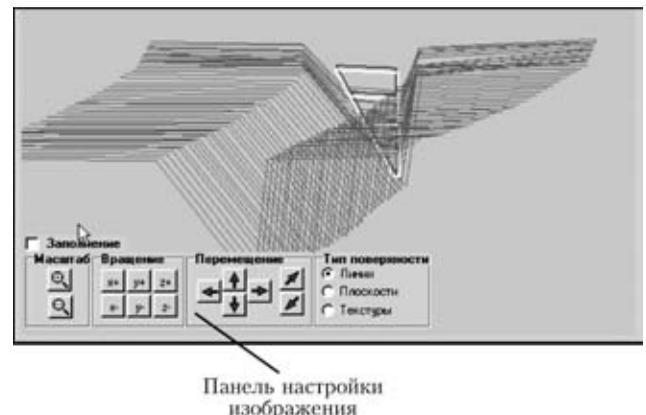


Рис. 5. Вид модели стыка при разных настройках



яющих на качество сварного соединения. Для визуальной оценки оператором корректности построенной графической пространственной модели стыка предусмотрены функции вращения изображения вокруг всех осей декартовой системы координат, перемещение его вдоль осей и изменение масштаба изображения. При создании графического представления пространственной модели стыка использовали одну из стандартных библиотек OpenGL для программирования графики. Это графический стандарт, который предоставляет широкие возможности и оптимальное быстродействие. При этом система спроектирована таким образом, что может быть включена в состав любой (не только графической) операционной системы.

Экспериментальные исследования показали, что модель стыка построена корректно и погреш-

ность описания стыка в аналитической форме не превышает допустимого значения, составляющего 0,25 минимального диаметра электрода (0,8 мм), используемого при указанном способе сварки, т. е. не более 0,2 мм.

1. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора / Пер. с англ. — М.: Наука, 1976. — 104 с.
2. Корнев Г. В. Целенаправленная механика управляемых манипуляторов. — М.: Наука, 1979. — 448 с.
3. Boillot J.-P., Noruk J. The benefits of laser vision in robotic arc welding // Welding Technique. — 2002. — № 8. — P. 33–34.
4. Уилкинсон Дж. Х. Алгебраическая проблема собственных значений. — М.: Наука, 1970. — 564 с.
5. Варден Б. Л. ван дер. Математическая статистика / Под ред. Н. В. Смирнова. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 435 с.

Considered is the problem of construction of a spatial model of butt joint by the data obtained from the triangulation optical sensor. Obtained work results can be used in systems of adaptive control of the process of arc welding of sheet structures 30...50 mm thick in different positions.

Поступила в редакцию 17.05.2006,
в окончательном варианте 03.07.2006

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОШЕННЫХ КУЗНЕЧНЫХ ШТАМПОВ

Разработан способ восстановления штампов малых и средних размеров с помощью электрошлаковой наплавки.

Изношенный штамп устанавливается в кристаллизатор, для наведения шлаковой ванны на его поверхности используются графитовые электроды. За счет тепла, выделяемого в шлаковой ванне, подплавляются ручки штампа на глубину, необходимую для удаления трещин разгара и других дефектов. Затем в шлаковую ванну подают стружку штамповой стали, которая, проходя через шлак, нагревается, плавится и пополняет металлическую ванну, образовавшуюся при оплавлении рабочей поверхности штампа. В процессе ЭШН происходит рафинирование наплавленного металла, благодаря чему он имеет более низкое содержание серы (до 0,008...0,012 %) и неметаллических включений, чем штамповые стали открытой выплавки. При необходимости наплавленный металл можно дополнительно легировать и модифицировать.

Эксплуатационные испытания восстановленных штампов показали, что их стойкость в 1,5–4 раза превышает стойкость штампов из ковальной стали обычного производства. Металл наплавленного слоя не склонен к хрупкому разрушению, сетка разгара проникает на меньшую, чем у кованых штампов, глубину, что позволяет производить ремонт штампов путем трех-, четырехразовой строжки гравюры. Стоимость восстановленных штампов в 2–3 раза ниже стоимости кованых.

Установочная мощность оборудования для ЭШН штампов — 500 кВт, расход воды — 30 м³/ч, площадь наплавочного участка — 30 м², максимальные размеры наплавленной поверхности штампов — 500×500 мм. Производительность участка — 1500 наплавленных штампов в год.

Наплавка штампов и штамповой оснастки применяется на предприятиях различных отраслей промышленности.

Контакты: Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11, отд. № 2
Тел./факс: (38044) 287 63 57
E-mail: ryabtsev@paton.kiev.ua



ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РОЛИКОВОГО ПОЛЯ ЛИНИЙ СБОРКИ И СВАРКИ ТОНКОЛИСТОВЫХ ПОЛОТНИЩ

В. А. РОЯНОВ, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
П. В. КОРОСТАШЕВСКИЙ, инж. (ОАО «ГСКТИ», г. Мариуполь)

Выявлена зависимость прогиба кромок тонколистовых полотнищ при транспортировке по роликовому полю от вылета свободно свисающей кромки, расстояния между смежными рядами роликов, свойств материала и толщины листов. Разработаны схемы выбора шага роликов и расстояния между смежными рядами роликов роликового поля для транспортировки полотнищ из листов разной толщины и различных материалов.

Ключевые слова: сварка, роликовое поле, линия сборки и сварки, тонколистовое полотнище

Сборка и сварка тонколистовых полотнищ обещают различных емкостей, в том числе котлов железнодорожных вагонов-цистерн и контейнеров-цистерн, осуществляется на поточно-механизированных линиях сборки и сварки полотнищ, одним из важных элементов которых является роликовое поле. От основных параметров роликового поля (диаметра роликов, типа подшипников, шага роликов, расстояния между смежными рядами роликов) зависят плавность перемещения полотнищ, мощность приводов транспортирующих устройств и производительность линии в целом. В то же время размеры и количество роликов влияют на массу и стоимость оборудования. При определении основных параметров роликовых полей линий полотнищ выбор остается за подшипниками качения в силу их общеизвестных преимуществ. Критерии выбора остальных параметров роликового поля практически отсутствуют. Их разработка является важной научной и практической задачей.

В публикациях, посвященных этой проблеме [1–6], особое внимание уделено выбору шага роликов рольгангов для транспортировки длинномерных грузов и тонколистового горячего проката. Транспортировка тонколистовых полотнищ обещает крупногабаритных емкостей, ширина которых в 2...3 раза превышает максимальную ширину прокатываемых листов так же, как и конструкция соответствующих роликовых полей, имеют свои особенности, практически не отраженные в технической литературе. Одна из них — значительный прогиб (свисание) кромок тонколистового полотнища, транспортируемого в холодном состоянии, под действием собственного веса, особенно первой по ходу движения лобовой кромки, препятствующей нормальному заходу полотнища на ролики при его перемещении и тран-

спортировке. На прогиб кромок оказывает влияние материал листов полотнища и параметры роликового поля.

В настоящей работе приведены результаты исследований зависимости прогиба кромок тонколистовых полотнищ от различных параметров роликового поля и свариваемых листов, а также разработаны критерии и методики выбора основных параметров роликовых полей линий сборки и сварки тонколистовых полотнищ, обеспечивающих нормальную работу, оптимальную металлоемкость и стоимость оборудования.

С целью снижения металлоемкости и стоимости оборудования для роликовых полей применяются неприводные дисковые ролики со сферической поверхностью катания, установленные в шахматном порядке. Неприводные рольганговые ролики устанавливаются в местах прижима полотнища к стенду для увеличения поверхности контакта и недопущения вмятин на листах. Диаметр роликов составляет от 100 до 360 мм (чем он больше, тем меньше сопротивление перемещению полотнищ), в качестве подшипников используются шариковые или роликовые подшипники качения. Перемещение полотнищ на различных участках линий сборки осуществляется при помощи специальных толкающих (тянущих) устройств и отдельных блоков приводных роликов в их различных сочетаниях.

При перемещении тонколистового полотнища по роликовому полю с шагом роликов S лобовая кромка полотнища шириной b по мере схода с роликов, отклоняясь вниз от общей плоскости транспортировки, под действием собственного веса образует прогиб f_c (рис. 1, а). Боковые кромки полотнища прогибаются при этом на f_c' , а часть полотнища, расположенная между рядами роликов, — на f_n (рис. 2, а); в местах установки рольганговых роликов прогибы f_c' и f_n отсутствуют.

На примере лобовой кромки определим прогиб свисающих при транспортировке кромок полот-

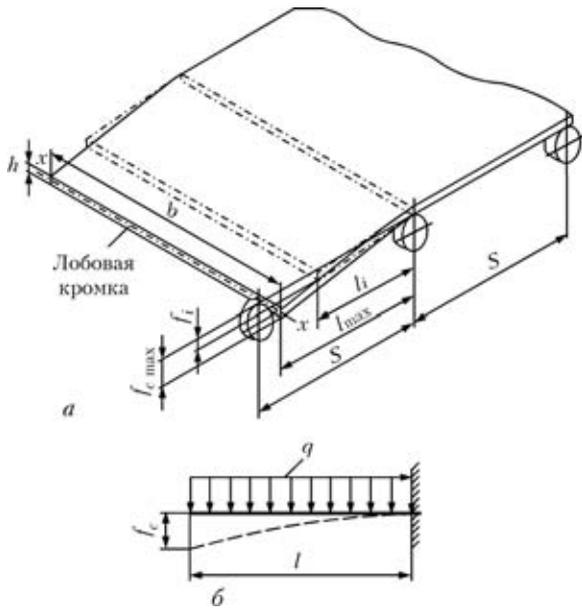


Рис. 1. Схема положений консольно свисающей лобовой кромки тонколистового полотна (а) и расчетная схема определения прогиба кромки (б)

нища. Для этого свисающую лобовую кромку полотна представим в виде балки с защемленным одним концом, находящейся под равномерно распределенной нагрузкой — собственным весом. Расчетная схема такой балки приведена на рис. 1, б, при этом вылет полотна l является функцией времени t и скорости перемещения v : $l = vt$. При перемещении полотна от ролика к ролику с изменением времени t от нуля до t_{\max} вылет меняется от нуля до l_{\max} , а прогиб лобовой кромки — от нуля до $f_{c \max}$. С учетом того, что скорость перемещения полотна равномерна и относительно мала (менее 0,2 м/с), формула прогиба лобовой кромки в любой момент времени, исходя из дифференциального уравнения изогнутой оси [7], примет вид

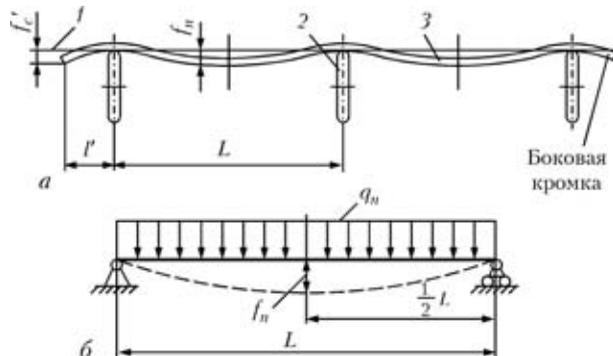


Рис. 2. Прогибы тонколистового полотна при перемещении по роликовому полю: а — схема прогибов; б — расчетная схема прогиба между двумя смежными рядами роликов; l' — общая плоскость транспортировки; 2 — ролик; 3 — тонколистовое полотно; L — расстояние между смежными рядами роликов; l' — вылет боковой кромки полотна; f_c' — прогиб свисающей боковой кромки; f_n — прогиб части полотна между роликами; q_n — равномерно распределенная нагрузка при провисании полотна

$$f_c = \frac{q(vt)^4}{8EI_x} = \frac{ql^4}{8EI_x}, \quad (1)$$

где q — равномерно распределенная нагрузка (в данном случае вес свисающей кромки полотна, условно приведенный к оси балки и равномерно распределенный по длине вылета l); E — модуль нормальной упругости; I_x — момент инерции сечения относительно оси изгиба.

Вес полотна в любой момент времени с учетом малого значения скорости перемещения составляет

$$G_n = \gamma hb(vt) = \gamma hbl, \quad (2)$$

где γ — удельный вес материала листов полотна; h — толщина свисающей кромки; b — длина листа (ширина полотна).

Тогда равномерно распределенная нагрузка определяется как

$$q = \frac{G_n}{l} = \gamma hb. \quad (3)$$

Момент инерции сечения относительно оси изгиба составляет

$$I_x = \frac{bh^3}{12}. \quad (4)$$

Подставив полученные значения в (1), получим

$$f_c = \frac{ql^4}{8EI_x} = \frac{\gamma hbl^4}{8E \frac{bh^3}{12}} = \frac{3\gamma}{2Eh^2} l^4. \quad (5)$$

Из (5) видно, что прогиб f_c свисающей под действием собственного веса лобовой кромки полотна прямо пропорционален четвертой степени вылета, зависит от удельного веса и материала листов и обратно пропорционален квадрату толщины свисающей кромки листа полотна. Обозначив величину $\frac{3\gamma}{2Eh^2}$, постоянную для листов из конкретного материала и конкретной толщины, как $K_{Т.М}$ — коэффициент толщины и материала, получим формулу прогиба лобовой кромки в виде

$$f_c = K_{Т.М} l^4. \quad (6)$$

Полотнища обечаек котлов железнодорожных вагонов-цистерн и контейнеров-цистерн изготавливают из конструкционных низколегированных сталей 09Г2С, коррозионностойких сталей 12Х18Н10Т и алюминия АД0 толщиной 4...26 мм. Значения $K_{Т.М}$ для листов толщиной 4...26 мм из указанных материалов приведены в табл. 1. Для расчета прогиба f_c используем диа-



Таблица 1. Значения коэффициента $K_{Т,М} \cdot 10^{-17}$ ($1/м^3$) для листов разной толщины из различных материалов

Толщина листа $h \cdot 10^{-3}$, м	Сталь 09Г2С ($E = 200$ ГПа, $\gamma = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м ³)	Сталь 12Х18Н10Т ($E = 198$ ГПа, $\gamma = 7,90 \cdot 10^3$ кг/м ³)	Алюминий АД0 ($E = 81$ ГПа, $\gamma = 2,70 \cdot 10^3$ кг/м ³)
4	3680	3741	3125
5	2355	2394	2000
6	1635	1662	1389
7	1202	1221	1020
8	920	935	781
9	727	739	617
10	589	598	500
11	487	495	413
12	409	416	347
14	300	305	255
16	230	234	195
18	182	185	154
20	147	150	125
22	122	124	103
24	102	104	87
25	94	96	80
26	87	89	74

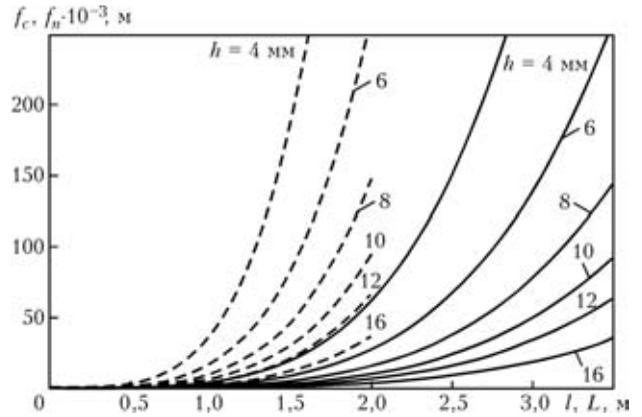


Рис. 3. Зависимость прогиба лобовой кромки f_c (штриховые) и провисания f_n (сплошные кривые) полотнища из листов стали 12Х18Н10Т различной толщины h от вылета l и расстояния между смежными рядами роликов L

Применив коэффициент толщины и материала $K_{Т,МL} = 5\gamma/32Eh^2$, получим

$$f_n = K_{Т,МL} L^4 \tag{9}$$

Зависимость провисания полотнищ от расстояния между смежными рядами роликов для листов из стали 12Х18Н10Т различной толщины показана на рис. 3.

Прогиб кромки полотнища при прохождении его по роликовому полю предопределяет положение точки контакта грани лобовой кромки с роликом (рис. 4, а). Возможность плавного захода кромки полотнища на ролик при этом определяется положением линии действия, возникающей в точке контакта реакции от усилия перемещения, которая проходит в плоскости, перпендикулярной торцу прогнувшейся кромки по касательной к ней. При прохождении ее ниже оси вращения ролика полотнище уходит под ролик, а выше — поднимается на ролик. Для беспрепятственного захода полотнища на ролик линия действия сил должна проходить по касательной к диаметру цапфы (внутреннему диаметру подшипника) ролика выше его оси вращения (рис. 4, а), при этом ее положение зависит от прогиба лобовой кромки полотнища и угла поворота сечения (плоскости торца) кромки, благодаря которым обеспечивается это условие. Значения указанных параметров являются определенными для каждого типоразмера роликов, имеющих конкретные наружный диаметр и диаметр цапфы. Следует отметить, что устанавливаемые между роликами в роликовых конвейерах (рольгангах) для предотвращения излишнего провисания транспортируемого груза промежуточные настилы в данном случае для этих целей неприемлемы, поскольку при контакте с настилом при перемещении полотнища портится грань лобовой кромки, подготовленной к сварке.

Для определения максимального допустимого прогиба лобовой кромки полотнища при прохождении его по роликовому полю рассмотрим схему,

пазон длины вылетов полотнищ от нуля до 2000 мм с интервалом 100 мм.

Анализ данных табл. 1 показал, что наиболее жестким, т. е. имеющим минимальный прогиб при одинаковой толщине листа и вылете, из трех исследуемых материалов является алюминий АД0, а наименее жестким — сталь 12Х18Н10Т. Зависимость прогиба от вылетов полотнищ для листов из стали 12Х18Н10Т различной толщины показана на рис. 3.

Прогиб боковых кромок f_c' изменяется по таким же зависимостям, как и прогиб лобовой кромки f_c . Для определения прогиба (провисания) части полотнища между двумя смежными роликами (рядами роликов) f_n (рис. 2, а) рассмотрим ее как лежащую на двух опорах балку, которая находится под равномерной сплошной нагрузкой — собственным весом. Расчетная схема балки приведена на рис. 2, б. Исходя из дифференциального уравнения изогнутой оси [7] максимальный прогиб балки расположен посередине пролета и равен

$$f = \frac{5q_n L^4}{384EI_y} \tag{7}$$

где I_y — момент инерции сечения. Сделав такие же преобразования, как и для (1), получим

$$f_n = \frac{5\gamma}{384E} L^4 \tag{8}$$

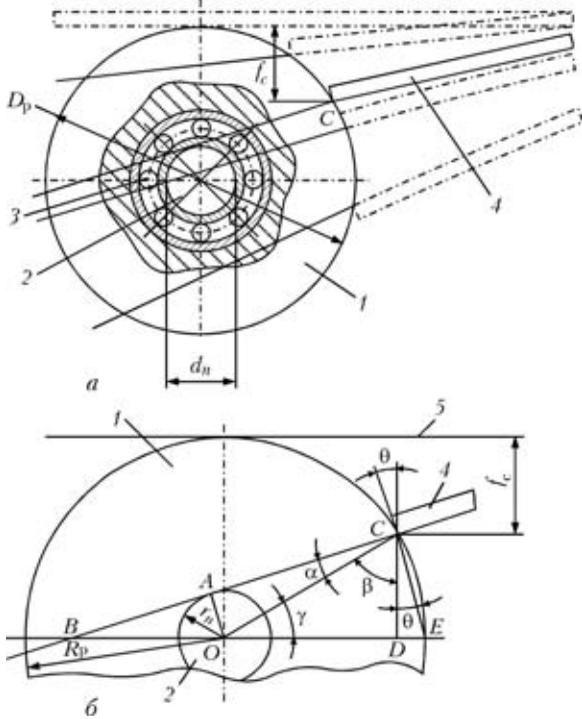


Рис. 4. Схема положения лобовой кромки полотна при контакте с роликом при различных прогибах: *a, б* — см. в тексте; 1 — диск ролика; 2 — цапфа (ось) ролика; 3 — подшипник; 4 — лобовая кромка транспортируемого полотна; 5 — плоскость транспортировки полотна; *C* — точка контакта нижней грани лобовой кромки полотна с диском ролика; D_p — диаметр диска ролика; d_n — диаметр цапфы ролика

Таблица 2. Значения коэффициента $K_\theta \cdot 10^{-17}$ (град/м³) для листов из различных материалов различной толщины

Толщина листа $h \cdot 10^{-3}$, м	Сталь 09Г2С ($E = 200$ ГПа, $\gamma = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м ³)	Сталь 12Х18Н10Т ($E = 198$ ГПа, $\gamma = 7,90 \cdot 10^3$ кг/м ³)	Алюминий АД0 ($E = 81$ ГПа, $\gamma = 2,70 \cdot 10^3$ кг/м ³)
4	281108	285756	238733
5	179909	182884	152789
6	124937	127003	106103
7	91790	93308	77954
8	70277	71439	59683
9	55527	56446	47157
10	44977	45721	38197
11	37171	37786	31568
12	31234	31751	26526
14	22948	23327	19488
16	17569	17860	14921
18	13882	14111	11789
20	11244	11430	9549
22	9293	9446	7892
24	7809	7938	6631
25	7196	7315	6112
26	6653	6763	5650

представленную на рис. 4, б. Искомый прогиб f_c равен разности радиуса поверхности катания ролика и отрезка CD . Треугольники CDE , CDO , ACO и CBE являются прямоугольными, при этом угол DCE равен углу поворота сечения (кромки) θ , отрезок OA — радиусу цапфы ролика r_n , OC — радиусу поверхности катания ролика R_p . Вычисляем прогиб:

$$f_c = R_p - R_p \sin \psi = R_p (1 - \sin \psi) = 2R_p \sin^2(45^\circ - \psi/2);$$

$$\psi = 90^\circ - \beta = 90^\circ - (90^\circ - \alpha - \theta) = \alpha + \theta; \quad (10)$$

$$f_c = D_p \sin^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha + \theta}{2} \right),$$

при этом угол $\alpha = \arcsin(r_n/R_p)$ и является постоянным для каждого ролика.

Формулу угла поворота сечения берем из дифференциального уравнения изогнутой оси балки с защемленным одним концом, находящейся под равномерной нагрузкой (собственным весом) [7]:

$$\theta = \frac{ql^3}{6EI_x}. \quad (11)$$

Преобразуя это выражение аналогично (1), получим

$$\theta = K_\theta l^3, \quad (12)$$

где K_θ — коэффициент угла поворота сечения, равный $2\gamma/Eh^2$.

Значение коэффициента K_θ для листов из сталей 09Г2С, 12Х18Н10Т и алюминия АД0 толщины 4...26 мм приведены в табл. 2. Анализ данных таблицы показал, что при одинаковой толщине максимальный угол поворота сечения имеют листы из стали 12Х18Н10Т, минимальный — из алюминия АД0. Это подтверждает вывод об относительной жесткости листов из этих материалов, сделанный на основе данных табл. 1.

Подставив в формулу (10) значение угла θ и заменив значение прогиба f_c на его значение, полученное из формулы (6), имеем

$$K_{T.M} l^4 = D_p \sin^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha + K_\theta l^3}{2} \right). \quad (13)$$

Условно заменив l на x , обозначив $D_p/K_{T.M}$ как K и преобразовав это уравнение, имеем

$$x^2 - \sqrt{K} \sin \left(45^\circ - \frac{\alpha + K_\theta x^3}{2} \right) = 0. \quad (14)$$

Графически решив это уравнение, получим две функции: $y_1 = x^2$ и $y_2 = \sqrt{K} \sin \left(45^\circ - \frac{\alpha + K_\theta x^3}{2} \right)$. Точка пересечения полученных кривых дает нам значе-

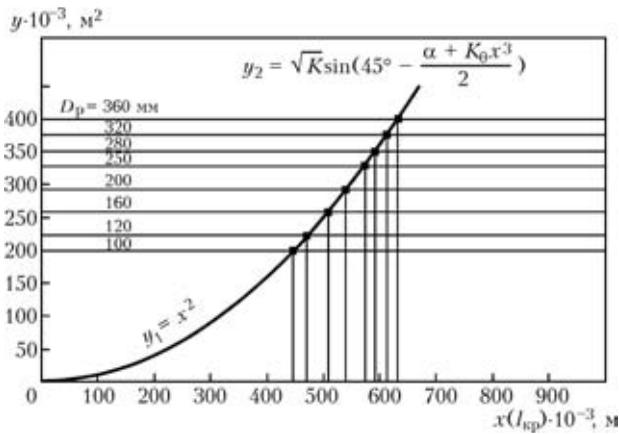


Рис. 5. Схема определения критических вылетов $l_{кр}$ для листа из стали 12X18H10T толщиной 8 мм и роликов различных диаметров

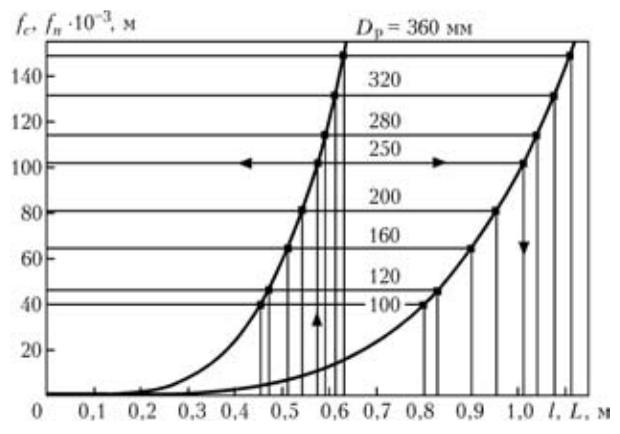


Рис. 6. Схема определения критических прогибов $f_{кр}$ и расстояния $L_{кр}$ между смежными рядами роликов различного диаметра для листа из стали 12X18H10T толщиной 8 мм

ние вылета полотнища, при котором лобовая кромка при контакте с роликом имеет прогиб f_c , т. е. имеет максимально допустимый свес для плавного захода на ролик. При этом линия действия сил в точке контакта полотнища с роликом проходит в плоскости, перпендикулярной торцу кромки по касательной к диаметру цапфы (рис. 4). Обозначим этот прогиб как критический $f_{кр}$, а длину вылета полотнища, при которой он происходит, как $L_{кр}$. Первая функция (парабола) будет одинаковой для всех роликов и листов применяемых материалов различной толщины, а вторая будет иметь свою кривую для каждого из этих параметров. Построение кривых (рис. 5) выполним для листа толщиной 8 мм из наиболее жесткого материала — стали 12X18H10T для роликов, имеющих оптимальный (25 до 60 мм) диаметр цапфы и дисков с диаметром по кругу катания от 100 до 360 мм. Имея значения критических вылетов $L_{кр}$ и используя зависимости прогибов кромки полотнища от ее вылета, получаем значения критических прогибов (свесов) лобовой кромки полотнища (рис. 6). Поскольку ситуация, представленная на рис. 4, одинакова как при заходе на ролик консольно свисающей лобовой кромки полотнища, так и при ее прогибе между двумя рядами роликов при расположении роликов в шахматном порядке, используя значения критических прогибов по кривым f_n определим также критические (максимальные) расстояния $L_{кр}$ между двумя смежными рядами роликов (рис. 6).

Зная значения критических вылетов, находим максимальный шаг роликов S_{max} роликового поля, равный критическому вылету плюс отрезок OD из треугольника CDO (см. рис. 4, б):

$$S_{max} = L_{кр} + R_p \cos \left(\arcsin \frac{R_p - f_c}{R_p} \right), \quad (15)$$

где $f_c = f_{кр}$.

Модернизация роликового поля линий сборки и сварки тонколистовых полотнищ ОАО «Азов-маш» с учетом представленных исследований позволила улучшить качество сварных швов полотнищ, при этом количество брака снизилось.

Проводятся дальнейшие исследования по определению сил дополнительного сопротивления перемещению тонколистовых полотнищ по роликовому полю, возникающих при заходе свисающей кромки на ролик, для определения мощности транспортирующих устройств.

Выводы

1. Главным критерием для определения параметров роликового поля для транспортировки тонколистовых полотнищ является наличие гарантированного захода на ролики свисающих (провисающих) под действием собственного веса при перемещении полотнища кромки, в первую очередь лобовой кромки.

2. Прогиб консольно свисающей или провисающей между роликами под действием собственного веса кромки полотнища прямо пропорционален четвертой степени вылета (расстояние между двумя смежными рядами роликов), зависит от материала (удельного веса и модуля нормальной упругости) и обратно пропорционален квадрату толщины листа.

3. Для выбора параметров роликовых полей необходимо получение зависимости прогибов кромок полотнищ от вылета и расстояния между смежными рядами роликов, а также построение графиков для определения максимальных прогибов и вылетов для листов из всех используемых материалов различной толщины.

4. Конкретный выбор параметров роликового поля следует осуществлять, определив материал и толщину листов изготавливаемых полотнищ и задавшись диаметром роликов (с учетом диаметра цапфы) по таблицам значений максимально до-



пустимых шагов и расстояний между смежными рядами роликов, которые должны быть разработаны для всех листов применяемых материалов различной толщины.

5. Выбор шага роликов и расстояния между смежными рядами необходимо осуществлять с учетом диаметров роликов, их расстановки по роликовому полю, количества, массы, стоимости, а также иных данных.

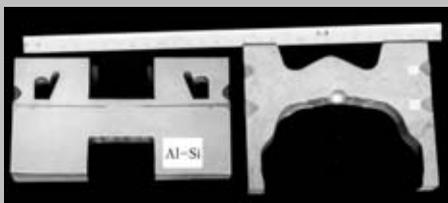
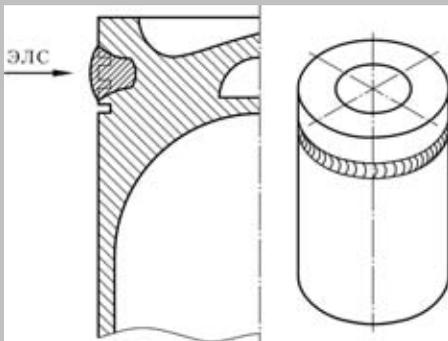
1. *Ивановский К. Е., Раковщик А. Н., Цоглин А. Н.* Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. — М.: Машиностроение, 1973. — 216 с.

Dependence of bending deflection of thin-sheet panel ends in transportation over the roller field on the extension of a free hanging end, distance between the neighbouring rows of rollers, material properties and sheet thickness was established. Schemes were developed for selection of a roller pitch and distance between the neighbouring rows of the rollers for transportation of panels of the sheets of different thickness and different materials over the rollers.

2. *Плавинский В. И.* Машины непрерывного транспорта. — М.: Машиностроение, 1969. — 720 с.
3. *Зенков Р. Л., Ивашиков И. И., Колобов Л. Н.* Машины непрерывного транспорта. — М.: Машиностроение, 1987. — 432 с.
4. *Спиваковский А. О., Дьячков В. А.* Транспортирующие машины. — М.: Машиностроение, 1983. — 487 с.
5. *Кружков В. А.* Металлургические подъемно-транспортные машины. — М.: Metallurgy, 1989. — 464 с.
6. *ГОСТ 5332-75.* Ролики и шаги рольгангов прокатных станов. — М.: Изд-во стандартов, 1975. — 12 с.
7. *Беляев Н. М.* Сопrotивление материалов. — М.: Наука, 1976. — 608 с.

Поступила в редакцию 20.11.2006

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ С ПРИСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ ЗОНЫ КОМПРЕССИОННЫХ КАНАВОК АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРШНЕЙ



В настоящее время усовершенствование двигателей внутреннего сгорания, в частности, дизелей, идет в направлении повышения их мощности, снижения металлоемкости и увеличения долговечности. В этой связи особое значение приобретают проблемы увеличения срока службы поршней, поскольку с повышением мощности двигателей существенно возрастают тепловые и динамические нагрузки на поршень.

Для повышения износостойкости и срока эксплуатации алюминиевых поршней разработана технология износостойкой упрочняющей наплавки поршней в зоне верхней компрессионной канавки с использованием легирующих присадок и высококонцентрированного нагрева электронным пучком.

Применение легирующего материала дает возможность получить необходимую твердость зоны упрочнения в пределах HB 150... 180. Горячая твердость упрочненного слоя в интервале температур 100...360°С в 2-3 раза выше

по сравнению с основным металлом поршня.

Разработанная технология упрочнения поршней позволяет отказаться от нерезиновой вставки и повысить моторесурс поршневой группы двигателей в 1,5-2 раза.

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



УДК 621.791.93

ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ НЕПОВОРОТНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СТЫКОВ

Академик **Б. Е. ПАТОН**, академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **И. И. ЛЫЧКО**, канд. техн. наук,
В. Д. КОВАЛЕВ, **С. И. ВЕЛИКИЙ**, **С. И. ПРИТУЛА**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. Д. ЧЕПУРНОЙ, д-р техн. наук, **С. П. НИКИТЧЕНКО**, **А. Н. ШАЛАШНЫЙ**, инженеры
(ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь)

Рассмотрены особенности техники и технологии электрошлаковой сварки аппаратом АШ 115 М неповоротных кольцевых стыков заготовок опорных колец кислородных конверторов на ОАО «Азовмаш». Описаны преимущества нового аппарата, обеспечивающего высокий технический уровень технологии и рентабельность производства сварных крупногабаритных металлоконструкций.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, неповоротные кольцевые швы, сварочный аппарат, информационно-регистрационная система, параметры режима сварки, визуализация

Внедрение электрошлаковой технологии в машиностроение позволило существенно повысить эффективность сварочного производства крупных металлических конструкций. Качество и работоспособность сварных соединений при электрошлаковой сварке (ЭШС) зависит от ряда технологических факторов (выбора сварочных материалов, температуры подогрева и видов термической обработки, режимов сварки, методов устранения дефектов, способах закрепления свариваемых деталей) и техники сварки (подачи электродного материала в зону сварки, способов формирования наружной поверхности шва, обеспечения непрерывного устойчивого электрошлакового процесса, соблюдения режима сварки, приемов подключения источников питания и манипулирования изделием). Очевидно, что эти факторы очень тесно связаны между собой и должны рассматриваться и учитываться одновременно.

Эффективность применения ЭШС во многом определяется наличием, технологическими возможностями и техническим уровнем сварочного оборудования, а также рациональным решением вопросов техники и технологии выполнения шва.

Конструктивные особенности сварочных аппаратов ЭШС определяются особенностями способа ЭШС (проволочный электрод, плавящийся мундштук или электрод большого сечения), размерами и конфигурацией свариваемой заготовки. В зависимости от этого сварочный аппарат может быть стационарным или переносным, перемещающимся по изделию либо по специальной колонне.

Многолетний научный опыт и современные тенденции создания сварочной аппаратуры для ЭШС позволили разработать оригинальную конструкцию модульного типа на базе современных серийных приводов.

Новый стационарный сварочный автомат АШ 115 М разработан и изготовлен на Опытном заводе сварочного оборудования в НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» специально для ЭШС неповоротных кольцевых стыков опорных колец кислородных конверторов, выпускаемых ОАО «Азовмаш». Он существенно отличается от своего предшественника (аппарата А-1555М) как конструктивно, так и по своим функциональным техническим возможностям.

Аппарат состоит из следующих основных механических узлов: механизма перемещения, модульного блока подачи проволочных электродов, механизма колебаний электродов, механизма изменения угла наклона электродов и подвески ползуна. Электрооборудование систем управления расположено в шкафу, стоящем рядом с установкой. Кнопки управления процессом смонтированы на поворотном съемном пульте, закрепленном непосредственно на аппарате. Последний укомплектован двумя источниками постоянного тока типа ВДУ-1250 и информационно-регистрационной системой.

Конструктивные и функциональные возможности аппарата максимально адаптированы к реальным требованиям сварочного производства ОАО «Азовмаш».

Конструкция аппарата АШ 115 М имеет следующие отличительные преимущества:

блочно-модульная схема позволяет легко и оперативно осуществлять установку аппарата на



направляющий рельс и последующий демонтаж в любом месте стыка;

наличие в системе управления режима «наладка» позволяет производить настройку параметров режима (скорость подачи электродной проволоки v_3 , амплитуду колебаний A , время остановки электродов у ползуна t и др.) до начала процесса сварки;

раздельная подача сварочных проволок с питанием от автономных источников сварочного тока обеспечивает возможность регулирования тепловой мощности процесса в зависимости от положения электродов относительно зеркала шлаковой ванны, что особенно важно при ЭШС криволинейных швов;

возможность оперативной корректировки с пульта управления основных параметров режима сварки;

механизированная корректировка угла наклона мундштуков в зависимости от пространственного положения шлаковой ванны;

высокая надежность работы системы управления аппаратом (с постоянным контролем за расчетными параметрами сварочного процесса);

высокая надежность работы приводов: механизмов перемещения аппарата по рельсу, подачи электродных проволок, поперечных колебаний, созданных на базе применения мотор — редукторов, с частотным регулированием скорости вращения;

наличие информационно-регистрирующей системы, снабженной персональным компьютером со специальным программным обеспечением визуализации процесса и регистрации технологических параметров.

Аппарат АШ 115 М предназначен для ЭШС вертикальных, наклонных и криволинейных стыков с радиусом кривизны $R > 4,0$ м и углом наклона к вертикали $\pm 25^\circ$.

Техническая характеристика аппарата АШ 115 М

Толщина свариваемых кромок, мм	40...200
Количество электродов, шт.	2
Диаметр электродной проволоки, мм	3; 4
Значение сварочного тока на один электрод при ПВ = 100 %, А	до 800
Скорость подачи электродов, м/ч	80...450
Схема подачи электродов	автономная
Скорость вертикального перемещения, м/ч	0,6...12
Разворот электродов при ЭШС наклонных стыков, град	± 25
Корректировка положения электродов:	
вдоль разделки	± 60
поперек разделки	± 20
Тяговое усилие ходового механизма, кг	≥ 800
Амплитуда колебаний, мм	100
Направляющий рельс — гибкая полоса с эвольвентной зубчатой рейкой	

Для аппарата разработана специальная техника и технология ЭШС неповоротных кольцевых стыковых швов заготовок элементов опорных колец конверторов.

При выборе и назначении параметров режима ЭШС прямолинейных стыковых соединений исхо-

дят из того, что в процессе выполнения шва сварочный аппарат или его основные узлы перемещаются вдоль стыка, практически не изменяя своего положения по отношению к зеркалу шлаковой ванны. Поэтому в процессе сварки параметры режима остаются практически неизменными.

В случае сварки неповоротных стыков в зависимости от длины выполненного шва наблюдается непрерывное изменение пространственного положения всего аппарата по отношению к зоне сварки, а также изменяется толщина свариваемых кромок (рис. 1). Вследствие этого изменяется (уменьшается или увеличивается) значение «сухого» вылета электродов L_c и угла наклона входа электродов в зеркало шлаковой ванны β (рис. 2). Увеличение или уменьшение L_c относительно принятых значений может привести к недопустимому нарушению электрошлакового процесса. Изменение угла β существенно влияет на формирование шва и может вызвать в нем несплавление с кромками. Кроме того, увеличение или уменьшение толщины свариваемых кромок S влечет за собой изменение амплитуды колебаний электродов A и корректировку зазоров между электродами и ползуном Δ_2 и остающейся накладкой Δ_3 . Для обеспечения нормальных условий ведения процесса сварки необходимо постоянно поддерживать требуемое значение L_c . При этом осуществлять эти манипуляции необходимо во время сварки, одновременно с постоянным управлением всем процессом.

Параметры режимов сварки в первую очередь выбираются исходя из размеров стыка (толщины свариваемых кромок, радиуса кривизны и протяженности швов), а также скорости сварки.

Для аппарата АШ 115 М диапазон свариваемых толщин находится в пределах 40...200 мм. Практика сварочного производства свидетельствует о том, что одним электродом можно сваривать металл толщиной до 50 мм. При больших толщинах

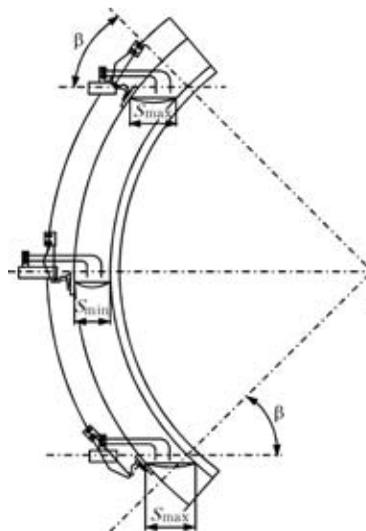


Рис. 1. Схема ЭШС элемента опорного кольца конвертора аппаратом АШ 115 М

необходимо применять колебание электрода или увеличивать количество электродов. Двумя электродами рекомендуют сваривать металл толщиной до 100 мм — без колебаний, а до 200 мм — с колебаниями.

Скорость сварки прежде всего зависит от свойств конструкционного свариваемого материала (химического состава, в первую очередь, содержания углерода), толщины свариваемых кромок и условий их закрепления. Для углеродистых и низколегированных сталей удовлетворительные значения скорости сварки в рассматриваемом диапазоне толщин (40...200 мм) находятся в пределах 2,0...0,5 м/ч, причем с увеличением толщины скорость сварки резко падает. В условиях жесткого закрепления деталей (остающаяся накладка) расширение существующих пределов в сторону увеличения может привести к образованию в металле шва кристаллизационных трещин.

При сварке с колебаниями расстояние между электродами d следует выбирать из соотношения $d = (S + \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3)/n$ (мм). По выбранным для конкретных толщин свариваемого стыка количеству электродов n и скорости сварки v_c рассчитывают необходимую скорость подачи электродной проволоки $v_3 = v_c F_n / \Sigma F_3$ (м/ч), где F_n — сечение зазора; F_3 — суммарное сечение электродов.

При сварке стыков заготовок полуколец с толщиной стенки $S = 100$ мм необходимо применять колебание электродов, поскольку толщина свариваемого металла меняется от $S_{max} = 130$ (в начале и конце стыка) до $S_{min} = 100$ мм (в середине). Поэтому в процессе сварки необходимо осуществлять дополнительные манипуляции — менять размах колебаний (амплитуду A) и расстояние между электродами d .

При ЭШС образцов (толщина стенки обечайки 60 мм, длина шва 1500 мм), выполненных двумя электродами в лабораторных условиях ИЭС им. Е. О. Патона, были получены качественные швы на скоростях сварки $v_c = 1,8...2,4$ м/ч. В процессе испытаний нового аппарата в заводских условиях (на натуральных образцах) были определены оптимальные значения L_c в начальной и завершающей стадиях выполнения шва, а также оптимизированы значения Δ_2, Δ_3 . Подборку требуемых значений

параметров осуществляли с помощью манипуляций механизмами поперечных колебаний и поворота подающих модулей относительно зеркала шлаковой ванны.

Удовлетворительное формирование шва достигается комбинированным регулированием L_c и β (рис. 1, 2), периодической корректировкой значений Δ_2, Δ_3 , а также регулировкой v_3 и U_c на каждом электроде в зависимости от положения зоны сварки.

При ЭШС кольцевых швов с толщиной стенки обечайки $S = 60$ мм можно применять один электрод с колебаниями, однако, v_3 будет находиться в пределах 250...450 м/ч, что может вызвать определенные технические трудности, связанные со стабильностью процесса сварки. Поэтому такую толщину рекомендуется сваривать двумя электродами без колебаний при $v_3 = 110... 250$ м/ч.

Стыки с толщиной стенки обечайки $S = 60... 80$ мм необходимо сваривать двумя электродными проволоками без колебаний на скоростях сварки $v_c = 0,8...1,5$ м/ч, а свыше 80 мм — двумя электродами с колебаниями на скоростях сварки в пределах 0,6...1,2 м/ч.

Техника выполнения ЭШС неповоротных кольцевых стыков с колебаниями электродов представляется более сложной, чем сварка неподвижными электродами. В процессе выполнения неповоротных кольцевых швов из-за непрерывного изменения толщины свариваемых кромок (см. рис. 1) сварщик-оператор должен периодически изменять значения A и d в соответствии с изменяющейся величиной S . Параметр A изменяется с помощью кнопок управления поперечными колебаниями, расположенными на пульте, а d — механизмами раздвижки электродов. Значения «сухого» вылета электродов L_c будут также переменными, причем они могут увеличиваться (уменьшаться) примерно в 2 раза (таблица). Значения L_c регулируются механизмом поворота наклона аппарата.

На начальном и конечном участках стыка скорость подачи электродных проволок v_3 регулируют таким образом, чтобы скорость сварки v_c соответствовала толщине свариваемых кромок на соответствующем участке с учетом величины L_c . По мере приближения толщины свариваемых кро-

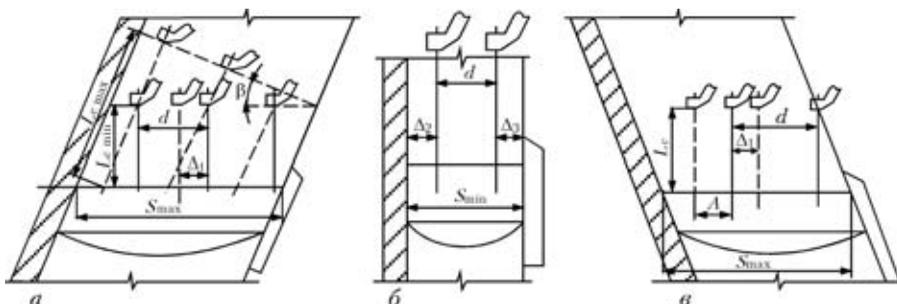


Рис. 2. Схема расположения электродов в зоне сварки при ЭШС на начальном участке стыка (а), горизонтальном диаметре стыка (б) и замыкающем участке стыка (в)

Изменение «сухого» вылета электродов L_c в зависимости от положения места сварки

Толщина металла, мм	Положение зоны сварки	L_{c1} , max, мм	L_{c1} , min, мм	L_{c2} , max, мм	L_{c2} , min, мм
150	Начало шва	90	75	70	50
	Середина	70	70	70	70
	Конец шва	70	55	90	75
100	Начало шва	80	70	65	55
	Середина	70	70	70	70
	Конец шва	65	55	80	70
80	Начало шва	80	70	65	50
	Середина	70	70	70	70
	Конец шва	60	50	80	70

Примечание. L_{c1} , L_{c2} — «сухой» вылет соответственно на переднем и заднем электроде.

мок к величине S скорости v_s для обоих электродов практически уравнивают.

В процессе сварки стыка толщиной $S = 100$ мм размах колебаний A будет изменяться от 37 до 20 мм, при этом будет также изменяться и «сухой» вылет электродов L_c . Для наружного стыка отношение L_{c2}/L_{c1} в начале шва будет составлять 0,8, в середине — 1,0, в конце шва — 1,25. При сварке внутреннего стыка указанное соотношение L_{c2}/L_{c1} в зависимости от места выполнения шва будет иметь соответственно значения 1,25; 1,0 и 0,8. При постоянной скорости подачи электродной проволоки увеличение (или уменьшение) «сухого» вылета электрода на 20...25 % может привести к некоторому снижению (увеличению) сварочного тока на электродах. Поэтому в процессе сварки необходимо учитывать текущие значения I_c и поддерживать их на заданном уровне путем регулирования скорости подачи электродов соответственно расположению зоны сварки.

Очень ответственной операцией при ЭШС с колебаниями является поддержание в процессе сварки требуемых значений Δ_2 и Δ_3 на всех участках шва. Особенно сложно (из-за плохого обзора) выполнять это требование для внутреннего электрода. Поэтому перед сваркой необходимо по длине стыка определить Δ_2 и Δ_3 (с интервалом 300...500 мм) и занести их значения в таблицу. Пользование данными таблицы существенно облегчает управление процессом сварки.

В процессе внедрения нового аппарата представители ИЭС им. Е. О. Патона провели обучение



Рис. 3. Рабочий момент ЭШС штатного изделия в цехе

специалистов ОГС и сварщиков цеха техники и технологии ЭШС новым аппаратом, для чего был оборудован специальный стенд — макет с наружными и внутренними стыками натуральных размеров.

ЭШС криволинейных стыков штатных заготовок опорного кольца конвертора (рис. 3) осуществлялась специалистами ОАО «Азовмаш» при техническом сопровождении представителей ИЭС им. Е. О. Патона. Аппарат АШ 115М было сварено восемь швов (четыре внутренних с толщиной кромок 100 мм и четыре наружных с толщиной кромок 80 мм) общей протяженностью около 48 м, без применения механизма колебаний мундштуков и один шов с толщиной кромок 160 мм, протяженностью 3 м с колебанием мундштуков вдоль зазора. Все исполнительные механизмы и системы управления аппарата работали без сбоев и отклонений от нормы. Основные параметры режимов сварки были близки к расчетным и фиксировались информационно-регистрирующей системой с дальнейшим оформлением записей в протоколе. Последующий 100%-й ультразвуковой контроль всех швов подтвердил отсутствие дефектов в металле сварных соединений.

Аппарат АШ 115М для ЭШС проволочными электродами является первым представителем гаммы сварочного оборудования нового поколения, разрабатываемого ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, которое должно обеспечить применение ЭШС в сварочном производстве на более высоком техническом уровне.

Апробация технологических рекомендаций по ЭШС аппаратом АШ 115М неповоротных кольцевых стыков элементов конверторов на ОАО «Азовмаш» подтвердили высокий технический уровень и рентабельность применения нового оборудования.

The paper considers features of equipment and technology of electroslag welding of position circumferential butt joints of supporting rings on oxygen-blown vessels by ASh1 115M machine at OJSC «AZOVMASH». Described are the advantages of the new machine, providing a high engineering level of the technology and cost-effectiveness of fabrication of large-sized welded metal structures.

Поступила в редакцию 25.04.2007

ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С УСТАЛОСТНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ*

Чл.-кор. НАН Украины **В. И. КИРЬЯН**, **В. В. КНЫШ**, канд. техн. наук, **А. З. КУЗЬМЕНКО**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены причины раннего накопления усталостных повреждений, зарождения и развития усталостных трещин в сварных узлах металлических пролетных строений железнодорожных мостов. Установлена высокая эффективность применения высокочастотной механической проковки (ВМП) для повышения ресурса сварных соединений после накопления в них значительных повреждений, включая появление трещин глубиной до 1 мм. Для развивающихся трещин исследованы способы торможения и установлены наиболее результативные: создание на пути развития усталостных трещин остаточных напряжений сжатия локальным нагревом металла; установка в высверленное отверстие возле вершины трещины высокопрочного болта; ремонт поврежденной усталостной трещиной зоны металла путем сварки с ВМП.

Ключевые слова: металлические пролетные строения, железнодорожные мосты, усталостные трещины, сварные соединения, высокочастотная механическая проковка, продление ресурса

Нормативный срок эксплуатации металлических пролетных строений железнодорожных мостов составляет 80...100 лет. Расчет их основных (несущих) элементов на усталость осуществляется, исходя из ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов изменения нагрузки. При этом во внимание принимается то, что одному циклу нагрузки пролетного строения отвечает проезд одного эшелона. Вместе с тем, как свидетельствует опыт эксплуатации, усталостные трещины зарождаются значительно раньше, через 1...7 лет и в тех элементах и сварных соединениях, в которых их не ожидали и не рассчитывали на усталость [1]. Наиболее часто они возникают в сварных пролетных строениях, в которых к стенкам главных балок приварены вертикальные ребра жесткости, фасонки и поперечные балки (рис. 1). Основные причины раннего накопления повреждений от усталости, возникновение и развитие усталостных трещин обусловлены конструктивными недостатками типовых пролетных строений. Среди них: выбор конструкций сварных узлов подобно клепаным без учета специфических особенностей технологии сварки, характеризующихся большей жесткостью соединений и образованием остаточных напряжений; использование верхних поясов значительной ширины (420...620 мм), через ко-

торые передается нагрузка на пролетное строение от прохождения поездов; нерациональное расположение продольных и поперечных вязей к стенкам главных балок; соединение вертикальных ребер жесткости с растянутыми поясами через сухарики. Все это привело к значительной эксцентricности передачи нагрузки от рельсов на главные балки, возникновению местных дополнительных напряжений в элементах пролетных строений и их вибрации. Частота вибраций и уровни дополнительных напряжений определяются скоростью поезда и добротностью (количественная характеристика резонансных свойств колебательной системы) узла. Высокочастотная составляющая напряжения от вибрации элементов накладывается на вторичные низкочастотные напряжения. Двухчастотная, а в общем случае по-

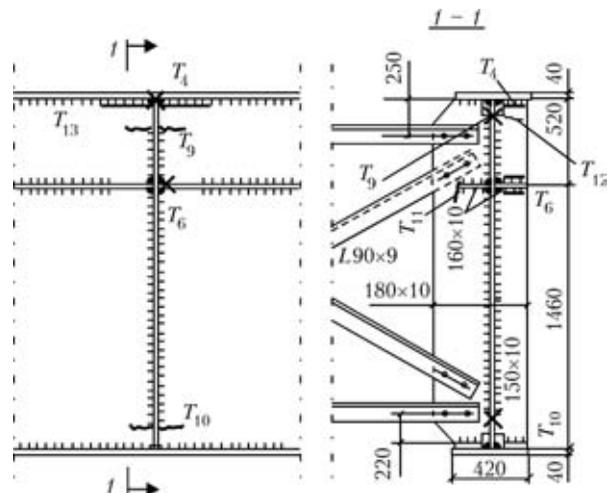


Рис. 1. Места зарождения усталостных трещин в элементах типовых пролетных строений железнодорожных мостов, спроектированных в 1960–1970-х годах (проекты № 541 и № 821). Обозначение типов трещин буквой Т с индексом внизу отвечает указаниям [2]

* Статья подготовлена по результатам выполнения целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» (2004–2006 гг.).



Рис. 2. Оборудование мощностью 0,3 кВт для высокочастотной механической проковки сварных соединений металлоконструкций: 1 — ручной инструмент с пьезокерамическим излучателем; 2 — ультразвуковой генератор; 3 — компьютер

личастотная, нагрузка существенно снижает циклическую долговечность. Поэтому для обеспечения расчетного срока эксплуатации пролетных строений железнодорожных мостов необходимо усовершенствование их конструкции, т. е. исключение появления недопустимых дополнительных местных напряжений и вибраций.

Настоящая работа посвящена рассмотрению способов продления ресурса эксплуатируемых пролетных строений железнодорожных мостов усталостными повреждениями разного уровня и усталостными трещинами, которые развиваются.

В последние годы большое внимание уделяется высокочастотной механической проковке (ВМП) сварных соединений как одному из наиболее перспективных способов повышения их сопротивлению усталости. Этот метод достаточно исследован, установлены основные закономерности повышения циклической долговечности и границы выносливости сварных соединений упрочнением ВМП сразу после изготовления, показано

его преимущества по сравнению с другими известными способами пластического деформирования поверхности металла [3]. Наиболее существенными преимуществами технологии ВМП, что делает возможным ее широкое применение для продления ресурса эксплуатируемых металлоконструкций, являются высокая производительность и экономичность, компактность и мобильность оборудования, обработка в произвольном пространственном положении (рис. 2). Важно, что для повышения сопротивления усталости сварных соединений достаточно обработать узкую зону перехода от металла шва к основному материалу шириной 4...7 мм. Главные факторы повышения циклической долговечности и границы выносливости сварных соединений при ВМП такие: создание в зоне перехода остаточных напряжений сжатия; уменьшение коэффициента концентрации рабочих напряжений α_σ ; деформационное упрочнение поверхностного слоя металла.

Ниже приведены результаты исследований эффективности применения ВМП для повышения циклической долговечности сварных соединений металлоконструкций, которые эксплуатируются и уже имеют значительный уровень накопленных усталостных повреждений в зонах концентраторов напряжений, а в отдельных случаях усталостные трещины глубиной до 1 мм [4]. Испытание на усталость проводили при отнулевом цикле сменной нагрузки ($R_\sigma = 0$) на образцах из стали СтЗсп с поперечными ребрами жесткости, приваренными с полным проваром ручной электродуговой сваркой. Первая серия образцов была в исходном состоянии после сварки, вторая — обработана ВМП сразу после сварки, третья — обработана ВМП после циклической нагрузки и накопления в сварных соединениях усталостных повреждений на уровне приблизительно 50 % тех, которые отвечают зарождению трещины. Полученные кривые усталости (рис. 3) демонстрируют повышение долговечности образцов третьей серии (залитые кружки), испытанных в диапазоне напряжений $\sigma_{max} = 175...225$ МПа при сравнении с образцами первой (залитые треугольники) и второй (светлые кружки) серий соответственно на порядок и больше чем в 2 раза. При этом границы выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов также увеличились по сравнению с исходным состоянием на 66 и 50 %. Повышение уровня напряжений $\sigma_{max} = 175...225$ МПа при наработке 50 % долговечности и испытании образцов третьей серии связаны с тем, что даже после накопления около 95 % усталостных повреждений и ВМП, долговечность оказалась больше нормативной — $2 \cdot 10^6$ циклов (залитые квадраты на рис. 3). Такой высокий (приближенный к границе текучести) уровень напряжений способствовал существенному пластическому деформированию метал-

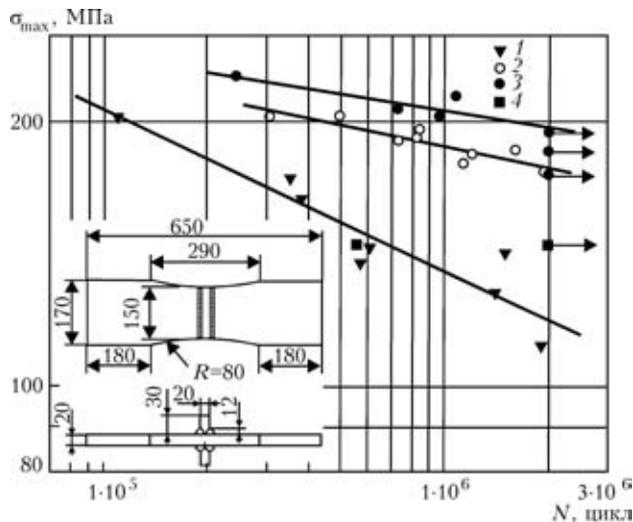


Рис. 3. Кривые усталости тавровых сварных соединений (СтЗсп): 1 — исходное состояние после сварки; 2 — ВМП сразу после сварки; 3 — ВМП после наработки до 50 % долговечности; 4 — то же самое до 95 %

ла около концентраторов и образованию остаточных напряжений сжатия (как при перегрузке). В результате этого дополнительного эффекта повысилась сопротивляемость усталости сварных соединений после наработки и ВМП (залитые кружки на рис. 3) относительно обработанных ВМП сразу после сварки (светлые кружки на рис. 3).

Существенное повышение долговечности после ВМП наблюдается и у сварных соединений металлоконструкций, которые имеют усталостные трещины глубиной до 1 мм. Так, долговечность таврового соединения из стали 10ХСНД в исходном после сварки состоянии достигла приблизительно 300000 циклов изменений напряжений ($\sigma_{max} = 220$ МПа, $R_{\sigma} = 0$). В результате ВМП зоны перехода от металла углового шва к основному материалу, в котором возникла усталостная трещина (глубина до 1 мм), долговечность образца превысила $2 \cdot 10^6$ циклов.

Несущие элементы пролетных строений железнодорожных мостов с усталостными трещинами, которые развиваются и имеют значительные размеры, исследовали при разных способах их торможения. С целью сопоставления одновременно с новыми рассматривались известные способы, которые сегодня используют на практике, в частности высверливание в зоне вершины усталостной трещины отверстия без или с установлением в него высокопрочного болта для создания сжимаемых напряжений.

Крупномасштабные плоские образцы для исследований из сталей 10ХСНД и ВстЗсп толщиной соответственно 12 и 14 мм имели центральную начальную сквозную усталостную трещину длиной $2a_0$. После применения указанных в таблице способов торможения трещин циклическую нагрузку образцов осуществляли в мягком режиме (поддержка постоянным усилием) при отнулевой асимметрии цикла ($R_{\sigma} = 0$) и максимальном напряжении $\sigma_{max} = 150$ МПа. По построенным зависимостям роста трещины от количества циклов сменной нагрузки до полного разрушения образцов определяли коэффициент увеличения долговечности K_d (рис. 4, таблица).

Из рассмотренных способов заслуживает внимания создание на пути развития усталостной трещины остаточных напряжений сжатия с помощью кратковременного локального нагрева металла до температуры около 350 °С на небольшом расстоянии от вершины трещины ($K_d = 19$). Для конкретных случаев технологические параметры нагрева определяют путем решения термоупругой задачи при условии создания на пути развития усталостной

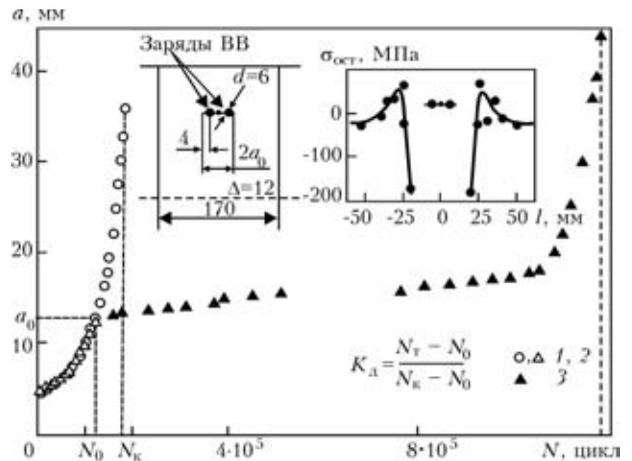


Рис. 4. Зависимость полудлины усталостной трещины ($a = a_0 + \Delta a$) от количества циклов сменной нагрузки в образце из стали 10ХСНД при торможении усталостной трещины созданием на пути ее развития остаточных напряжений сжатия с помощью локальной обработки взрывом (a_0 — полудлина трещины к началу торможения, N_0 — число циклов до начала торможения трещины, N_k — число циклов до разрушения образца в исходном состоянии, N_t — число циклов до разрушения образца в условиях торможения трещины): 1, 2 — исходное состояние; 3 — применение локальной обработки взрывом

трещины максимальных напряжений сжатия. Достаточно эффективным ($K_d \approx 21$) является установление в отверстие возле вершины усталостной трещины высокопрочного болта с натяжением 20 тс. При $K_d > 41$ возможен ремонт трещины с помощью сварки, а долговечность ремонтных швов после ВМП превышает нормативную $2 \cdot 10^6$ циклов.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют рекомендовать разработанную в Институте электросварки им. Е. О. Патона технологию ВМП для широкого использования в целях продления ресурса сварных металлоконструкций, срок эксплуатации которых дос-

Результаты экспериментальных исследований эффективности способов торможения усталостных трещин в плоских образцах из стали ВстЗсп ($2a_0 = 76$ мм; $R_{\sigma} = 0$, $\sigma_{max} = 150$ МПа)

Номер образца	Способ торможения трещины	Долговечность N, цикл	Коэффициент увеличения долговечности K_d
1	Исходное состояние	35000	
2	Высверливание отверстия $\varnothing 23$ мм около вершины трещины	52200	1,45
2'	То же с последующей наклепкой поверхности отверстий ВМП	84500	2,41
3	Установка в отверстие высокопрочного болта $\varnothing 22$ мм с натяжением 20 тс	730550	20,87
4	Локальная обработка взрывом	277700	7,93
5	Локальный нагрев	668300	19,09
6	Ремонт трещин сваркой	1450000	41,43
6'	То же и ВМП	$> 2 \cdot 10^6$	



тиг нормативного (возникли усталостные трещины до 1 мм) или приближается к нему. Восстановленная долговечность после ВМП в зависимости от уровня действующих сменных напряжений при эксплуатации может возрасти до нормативной — $2 \cdot 10^6$ циклов.

Наиболее эффективными способами торможения усталостных трещин, которые распространяются, являются создание на пути их развития остаточных напряжений сжатия с помощью локального нагрева металла, высверливание отверстий возле вершины трещины и установление высокопрочных болтов с натяжением 20 тс и ремонт трещины сваркой и ВМП зоны перехода от металла шва к основному материалу.

На базе проведенных исследований для «Укрзалізниці» составлено «Рекомендації по підси-

ленню, ремонту та збільшенню ресурсу суцільно-стінчатих зварних прогонових будов».

1. Усталостные трещины в сплошностенчатых пролетных строениях / Ю. П. Миролубов, Э. М. Панин, В. В. Фролов и др. // Вопр. проектирования и эксплуатации искусственных сооружений. — Л.: Ин-т инж. ж.-д. транспорта им. В. Н. Образцова, 1983. — С. 62–69.
2. Указания по осмотру и усилению эксплуатируемых сварных пролетных строений. — М.: МПС, ГУП НИИЖТА, 1990. — 28 с.
3. Повышение сопротивления усталости сварных соединений металлоконструкций высокочастотной механической проковкой (Обзор) / Л. М. Лобанов, В. И. Кирьян, В. В. Кныш, Г. И. Прокопенко // Автомат. сварка. — 2006. — № 9. — С. 3–11.
4. Лобанов Л. М., Кир'ян В. И., Кныш В. В. Підвищення ресурсу зварних металлоконструкцій високочастотною механічною проковкою // Фізико-хімічна механіка матеріалів. — 2006. — № 1. — С. 56–61.

Considered are the features of early accumulation of fatigue damage, initiation and development of fatigue cracks in welded components of metal span structures of railway bridges. A high effectiveness of application of HF mechanical peening (HFMP) for extension of residual life of welded joints after accumulation of considerable damage in them, including development of cracks up to 1 mm deep. Methods of retardation have been studied for propagating cracks, and the most efficient of them have been determined, namely inducing compressive residual stresses in the fatigue crack propagation path by applying local heating of the metal; placing a high-strength bolt in the drilled-out hole near the crack tip; repair of the metal zone damaged by the fatigue crack using welding with HFMP.

Поступила в редакцию 20.03.2006

ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО СВАРКЕ, ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ И КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС, ТЭЦ, ТЦ, ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЕН, ТЕПЛОВЫХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Предприятия тепловой энергетики относятся к разряду объектов повышенной опасности. Практически все теплотехническое оборудование ТЭС, ТЭЦ, ТЦ, других теплоагрегатов, отопительных котелен, тепловых и распределительных сетей, значительная часть вспомогательного оборудования должны отвечать требованиям государственных нормативных актов, обеспечивающим безопасные условия эксплуатации энергоблоков. К ним относятся нормативные документы ДНАОП 0.00-1.11-08, ДНАОП 0.00-1.08-94, ДНАОП 0.00-1.07-94, ДНАОП 0.00-1.20-98, ГД 34.03.101-96, РД 34.15.027-89, ряд СНиПов, ГОСТов, ОСТов, ДСТУ и др. Объемы и сложность сварочных работ при изготовлении, монтаже и ремонте технологического оборудования тепло- и энергоблоков весьма велики. Это обусловлено большой номенклатурой применяемых сталей, заготовок, деталей, блоков, сложностью выполняемых работ (пространственное положение свариваемых стыков), необходимостью соблюдения высокого качества сварки и достоверности контроля качества сварных соединений, применением нескольких видов сварки, подогрева и термообработки сварных соединений.

ИЭС им. Е. О. Патона в содружестве с ОАО «Энергомонтажпроект» и АК «Киевэнерго» разработал блок технологических инструкций с техкартами (29 наименований) и операционных карт (3 наименования) по подготовке к сварке, сборке, термической обработке и контролю качества сварных соединений конкретных узлов энергоблоков, работающих при температуре до 450 и 575 °С: паропроводов, трубопроводов, труб поверхностей нагрева, коллекторов, экономайзеров, барабанов, котлов и др. Ряд инструкций относятся к ремонту конкретных узлов энергоблоков.

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



УДК 621.791.1/8:[621.797+621.642.2/3]

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПРИ РЕМОНТЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ*

В. М. ИЛЮШЕНКО, канд. техн. наук, **Н. М. ВОРОПАЙ**, д-р техн. наук, **В. А. ПОЛЯКОВ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен сравнительный анализ процессов автоматизированной дуговой сварки в защитных газах, самозащитной порошковой проволокой и под флюсом применительно к ремонту металлоконструкций крупногабаритных резервуаров. Рассмотрены технологические особенности выполнения разных типов швов, а также принципы разработки специализированных монтажных аппаратов. Отмечен опыт и перспективы использования новых разработок.

Ключевые слова: дуговая автоматизированная сварка, низколегированные стали, стыковые швы, соединения внахлестку, тавровые соединения, защитный газ, самозащитная порошковая проволока, монтажный сварочный аппарат, резервуары

Современные сварные металлоконструкции крупногабаритных резервуаров являются ответственными сооружениями с высокими техническими требованиями к их герметичности, безопасности и срокам эксплуатации. Анализ работоспособности этих конструкций показывает, что в монтажных соединениях с горизонтальными и вертикальными швами наиболее распространенными дефектами являются повреждения типа трещин, коррозионный износ и потеря их геометрической формы. Отдельные участки резервуаров испытывают деформацию вследствие перекосов и неравномерной осадки, что требует их восстановления или полной замены секций [1].

До настоящего времени при текущем и капитальном ремонте резервуаров преимущественно использовали ручную дуговую сварку покрытыми электродами и механизированную в защитных газах. Эти процессы характеризуются невысокими производительностью и качеством сварных соединений. Испарение нефтепродуктов в дефектных местах резервуаров приводит к значительным материальным затратам. В связи с резко возросшей стоимостью сооружения новых резервуаров большое внимание необходимо уделить восстановлению работоспособности существующего парка. Чаще всего необходимо ремонтировать или заменять поврежденные участки днища и прилегающих к нему частей вертикальной стенки.

Для днища вместо традиционной подачи отдельных листов во внутрь резервуара предложено подавать непрерывную полосу, которая уже сварена встык из отдельных листов [2]. Из этой полосы изготовляют отрезки необходимой длины. Таким образом, все соединения поясов получаются стыковыми, а соединения внахлестку располагают в одну линию. В этом случае создаются условия для автоматизации технологии сварки.

В данной статье рассмотрены технологические особенности высокопроизводительных средств автоматизированной дуговой сварки стыковых и угловых швов в разных пространственных положениях при ремонте крупногабаритных резервуаров.

Типы сварных швов и соединений резервуарных конструкций. В отечественной и зарубежной практике для хранения нефти и нефтепродуктов применяют разнообразные емкости. Это в первую очередь вертикальные цилиндрические резервуары вместимостью до 50 тыс. м³. Для секций стенок и днищ резервуаров используют низколегированные стали разных марок в зависимости от объемов и характера продуктов, особенностей эксплуатации и климатических условий. Для нефтерезервуаров вместимостью до 20 тыс. м³ в четырех нижних поясах стенки в качестве основного металла используют сталь 09Г2С [1], а вместимостью 30 и 50 тыс. м³ — сталь марки 16Г2АФ. Диапазон толщин низкоуглеродистых низколегированных сталей составляет 10...40 мм.

На основании всестороннего рассмотрения конструкций и анализа эксплуатации типичных резервуаров можно отметить четыре разновидности сварных швов и соединений: стыковые горизонтальные швы на вертикальной плоскости стенки; стыковые вертикальные швы на вертикальной плоскости стенки; угловые швы в нижнем положении соединения заготовок днища внахлестку; угловые швы, которые соединяют горизонтальное днище с вертикальной стенкой (нижнее положение, тавровое соединение).

* Статья подготовлена по результатам выполнения целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» (2004–2006 гг.).



Механические свойства сварных соединений низколегированной стали 09Г2С толщиной 10...40 мм

Толщина металла, мм	Тип шва	Количество проходов	KCU, Дж/см ² (не менее), при t, °C							
			центр шва				ЗТВ			
			+20	-20	-40	-60	+20	-20	-40	-60
10	Горизонтальный стыковой (односторонний)	2	160	130	120	60	130	100	90	50
15	То же	4	150	120	110	50	120	105	80	45
25	Горизонтальный стыковой (двусторонний)	6 + 6	140	110	105	55	140	105	75	40
40	То же	9 + 9	130	105	90	40	120	95	80	35
40	Вертикальный стыковой	2	130	100	80	35	120	90	70	35

В зависимости от толщины листов основного металла при сварке стыковых горизонтальных и вертикальных швов на стенках резервуара применяют одно- и двустороннее раскрытие кромок. Тавровое соединение угловых швов днища с вертикальной стенкой на металле толщиной до 16 мм сваривают без раскрытия кромок, а металла большей толщины — с двусторонним раскрытием.

Выбор способов автоматизированной дуговой сварки. Для выполнения горизонтальных и вертикальных стыковых швов на вертикальной плоскости оценены технологические возможности процессов автоматизированной дуговой сварки в углекислом газе электродной сплошной проволокой Св-08Г2С и процесса сварки самозащитной порошковой проволокой ПП-АН19Н [3]. Наибольшую производительность при удовлетворительном формировании швов обеспечивает автоматизированная сварка самозащитной порошковой проволокой. При этом способе сварки в монтажных условиях для предотвращения пористости металла швов в зону сварочной ванны необходимо подавать дополнительно углекислый газ. Самозащитная порошковая проволока ПП-АН19Н обеспечивает высокую стабильность горения дуги, среднекапельный перенос электродного металла и легкое отделение шлаковой корки.

Ориентировочный режим автоматизированной дуговой сварки самозащитной порошковой проволокой следующий: $d_{пр} = 3,0$ мм; $I_{св} = 320...380$ А; $U_{д} = 24...28$ В; $v_{св} = 16$ (горизонтальные швы), $v_{св} = 3$ м/ч (вертикальные); $Q_{CO_2} = 16...20$ л/мин. Количество проходов горизонтальных швов в зависимости от толщины металла составляло при односторонней сварке 2 (для $\delta = 10$ мм) и 4 ($\delta = 15$ мм). Для металла больших толщин целесообразна двусторонняя сварка, при которой количество проходов соответствует 6-7 при $\delta = 25$ мм и 9-10 при $\delta = 40$ мм. Такие режимы способствуют равномерному формированию многослойных швов без дефектов типа пор, трещин и оксидных включений.

Изучены механические свойства сварных соединений низколегированной стали 09Г2С толщиной 10...40 мм при температурах +20...-60 °C (таблица). Сварные соединения с горизонтальными и вертикальными швами, выполненные самозащитной порошковой проволокой ПП-АН19Н на оптимальных режимах, отвечают существующим техническим требованиям для строительных металлоконструкций аналогичного назначения. Механические свойства сварных соединений с горизонтальными швами, как правило, лучше, чем у сварных соединений с вертикальными швами, выполненными за один проход. Увеличение толщины основного металла от 10 до 40 мм несколько снижает механические свойства соединений при комнатной и минусовых температурах.

Необходимость автоматизации сварки угловых швов в нижнем положении соединений внахлестку актуальна, учитывая, что нередко нужна полная замена полотнища днища. Эти технологические операции, как показали исследования, целесообразно выполнять автоматизированной дуговой сваркой под флюсом АН-60СМ электродной проволокой Св-08ГА диаметром 3,0 мм [4].

Для выбора эффективных способов сварки угловых швов, которые соединяют горизонтальное днище резервуара с вертикальной стенкой, изучены технологические возможности трех процессов автоматизированной дуговой сварки: под флюсом, самозащитной порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения в защитных газах. Вследствие того, что самозащитная порошковая проволока в 4...5 раз дороже проволоки сплошного сечения, для дальнейшего испытания были выбраны автоматизированные дуговые процессы сварки под флюсом и в смеси защитных газов.

Опыты по сварке под флюсом низколегированной стали 09Г2С толщиной 10...30 мм выполняли с использованием флюса АН-66 и электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 2,5 мм. Режимы сварки следующие: $I_{св} = 380...420$ А; $U_{д} = 28...30$ В; $v_{св} = 30...38$ м/ч; вылет электродной проволоки 25 мм; положение сварки — нижнее.



Отработана техника сварки тавровых соединений на металле указанной толщины, предусматривающая раскрытие кромок (при толщине металла до 16 мм) и двустороннее несимметричное раскрытие кромок с углом $45 \pm 5^\circ$ (при толщине металла больше 16 мм). В зависимости от толщины основного металла и формы раскрытия кромок выбирали оптимальный угол наклона электродной проволоки к горизонтальной плоскости. Для обеспечения нужного катета шва в пределах 6...12 мм сварку выполняли за 1-4 прохода с каждой стороны таврового соединения. По сравнению с ручной электродуговой сваркой покрытыми электродами разработанная технология автоматизированной дуговой сварки под флюсом позволила повысить производительность процесса в 3...4 раза.

Изучены механические свойства сварных соединений низколегированной стали 09Г2С. Полученные результаты механических испытаний отвечают требованиям СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции». Результаты механических испытаний ударной вязкости сварных соединений стали 09Г2С толщиной 20 мм при разных температурах следующие: при температуре -20°C — $90...110 \text{ Дж/см}^2$; -40 — $75...90$; -60 — $65...100$. Учитывая возможные трудности использования сварки под флюсом в монтажных условиях, связанные в основном с подачей и уборкой флюса, сейчас отрабатывается технология сварки таких швов проволокой сплошного сечения диаметром 2,0...2,5 мм в смеси газов $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$.

Исследованы также некоторые приемы управления характеристиками процессов автоматизированной дуговой сварки горизонтальных и вертикальных швов, а именно — путем увеличения вылета электрода, модуляции тока и скорости подачи электродной проволоки. В качестве сварочных материалов применяли самозащитную порошковую проволоку ПП-АН19Н и электродную проволоку марки Св-08Г2С в комбинации с углекислым газом. Для выполнения автоматизированной дуговой сварки с увеличенным вылетом электрода в монтажном аппарате АД-333М модернизированы токоподводящий мундштук и механизм подачи электродной проволоки. В результате он обеспечил регулирование вылета электрода в диапазоне 40...120 мм со скоростью подачи проволоки до 500 м/ч.

Установлено, что в результате увеличения вылета электрода до 80...100 мм коэффициент наплавки повышается на 20...30%, настолько же уменьшается зона термического влияния. Существенного изменения химического состава металла шва, уменьшения надежности защиты сварочной ванны и механических свойств швов не наблюдалось. Следует отметить, что одновременно с отмеченными положительными факторами при уве-

личении вылета электрода немного уменьшается рабочий диапазон тока, при котором сохраняется необходимая стабильность процесса сварки.

При изучении влияния модуляции тока на процесс дуговой сварки использовали следующий прием: при постоянной скорости подачи электродной проволоки сварочный ток кратковременно выключали [5]. Оптимальные значения продолжительности импульсов и пауз ориентировочно равнялись 1,2 и 0,5 с. При меньшей длительности импульсов процесс мало чем отличался от стационарного режима. Во всех случаях в металле швов наблюдались поры и оксидные неметаллические включения. По этой причине использование увеличенного вылета электрода и модуляции тока в монтажных условиях нецелесообразно.

Суть процесса дуговой сварки с управляемым переносом электродного металла заключается в подаче электроду импульса движения в направлении ванны, под действием которого капля расплавленного металла на торце электрода получает значительную кинетическую энергию [6, 7]. Последняя способна при мгновенной остановке электрода вызвать принудительный отрыв капли или обеспечить ее обязательный контакт с металлом сварочной ванны. При этом сила инерции должна превышать равнодействующую силу электромагнитного происхождения и силу поверхностного натяжения. Основными характерными параметрами процесса сварки с импульсной подачей электродной проволоки являются шаг, частота следования и продолжительность импульсов подачи и паузы. В результате проведенных опытов выбраны оптимальные значения шага (0,5...3,0 мм) и частоты импульсов ($10...50 \text{ с}^{-1}$) для выполнения швов в разных пространственных положениях.

Разработка монтажных аппаратов для ремонта резервуарных конструкций. Учитывая специфические требования к монтажной аппаратуре — небольшие масса и габариты, возможность установки непосредственно на сварочном изделии, оптимальный уровень автоматизации, при ремонте металлоконструкций подвергли испытанию разнообразные узлы легких аппаратов, которые используются в специальном оборудовании для автоматизированной дуговой сварки. К таким узлам относятся прежде всего ходовая тележка, механизм подачи электродной проволоки, схема управления процессом и источник питания дуги. Для стыковых горизонтальных швов предложена техника автоматизированной сварки с принудительным подформовыванием металла. Суть этого технологического приема заключается в том, что сварочная дуга горит в зоне, ограниченной с одной стороны основным металлом (или формирующим устройством), а с другой — медным водоохлаждающим ползуном. При этом ванна открыта с двух сторон — сверху и впереди, а угол наклона мун-



Рис. 1. Опытный образец монтажного аппарата для сварки угловых швов

дштука механизма подачи электродной проволоки может изменяться в диапазоне $\pm 30^\circ$.

Для реализации описанной техники автоматизированной дуговой сварки стыковых горизонтальных швов разработан специализированный монтажный рельсовый аппарат типа АД-330М. Ходовым механизмом аппарата является компактная трехколесная тележка, которая позволяет выполнять криволинейные швы с минимальным радиусом кривизны (до 1000 мм). Механизм подачи электродной проволоки и электрическая схема аппарата позволяют дистанционно управлять параметрами режимов. Аппарат перемещается по стенке резервуара по рельсовому пути. Технологические возможности испытанных источников питания сварочной дуги (ВДУ-504, ВДУ-506, ВДУ-601 и ВС-600М) практически равноценны при сварке электродной проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой.

Для стыковых вертикальных швов, которые выполняются автоматизированной дуговой сваркой самозащитной порошковой проволокой с принудительным формированием, в зависимости от толщины листов могут использоваться как существующие рельсовые аппараты типа А-1381, так и модернизированный нами аппарат типа АД-333М.

Для автоматизации выполнения угловых швов в соединениях внахлестку (днище) и швов, которые соединяют днище с вертикальной стенкой, выполняются исследовательско-конструкторские работы по созданию специализированных аппаратов тракторного типа на базе унифицированных узлов, которые успешно использовались в аппаратах типа АД-330М и АД-333М. Особенностью

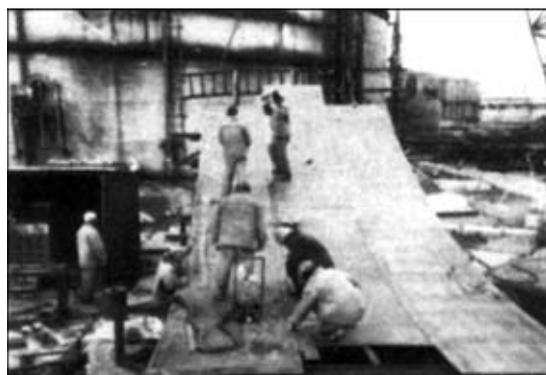


Рис. 2. Автоматизированная сварка под флюсом монтажных блоков при ремонте резервуара в ЗАО «ЛИНОС» (г. Лисичанск)

этих аппаратов является их компактность, небольшие размеры и масса, а также возможность перемещаться по поверхности сварочных листов и надежно копировать линию сварного соединения. В частности, в аппарате для сварки соединений внахлестку особое внимание уделено обеспечению надежного соблюдения расположения электродной проволоки относительно линии соединения. В аппарате для сварки угловых швов выбор ходового устройства магнитоэлектрического типа обусловлен необходимостью расположения аппарата непосредственно на вертикальной стенке, поскольку кромка днища, которая выступает извне, не превышает 40...50 мм и не может быть базой для перемещения аппарата.

На рис. 1 показан опытный образец аппарата для сварки угловых швов, который соединяет кромку днища с вертикальной стенкой резервуара.

Практический результат. По технологии, разработанной Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины совместно с фирмой «Экорембуд» (г. Ривне), отремонтирован цилиндрический резервуар вместимостью 20 тыс. м³ в г. Лисичанске Луганской области. Необходимо было заменить вертикальную стенку практически на всю высоту резервуара. По периметру корпуса этот участок составлял почти 25 %. В условиях ремонта резервуара использовали два процесса автоматизированной дуговой сварки: под флюсом — для соединения отдельных листов в монтажные блоки и самозащитной порошковой проволокой — для стыковых горизонтальных швов на вертикальной плоскости при монтаже блоков на вертикальной стенке. При сварке под флюсом в нижнем положении швов для толщины металла 9,0...12 мм применяли электродную проволоку Св-08ГА диаметром 5 мм и флюс АН-60СМ. Сварку выполняли трактором АДФ-1002 с источником питания ВДУ-1201 на режиме: $I_{св} = 720...850$ А, $U_{д} = 30...38$ В, $v_{св} = 20...28$ м/ч. Качественное формирование обратной стороны швов достигалось с помощью флюсомедной подкладки. Для замены стенки резервуара необходи-



Рис. 3. Автоматизированная сварка горизонтального шва стенки резервуара аппаратом АД-330М

мо было сварить шесть отдельных блоков в специальном кондукторе (рис. 2).

Автоматизированную дугую сварку стыковых горизонтальных швов самозащитной порошковой проволокой с полупринудительным формированием наплавленного металла проводили или монтажным аппаратом АД-330М, который имел дистанционное управление, или источником питания ВДУ-506. Обратную сторону горизонтальных швов формировали медной подкладкой, которая имела канавку соответствующей геометрии. Режим сварки основных швов следующий: $I_{св} = 360...380$ А, $U_{д} = 24...26$ В, $v_{св} = 12...20$ м/ч. При толщине металла 9 и 12 мм сварку выполняли соответственно за два и три прохода (рис. 3).

Успешное выполнение ремонтных работ на резервуаре вместимостью 20 тыс. м³ позволило использовать технологию и оборудование автоматизированной дуговой сварки также и при строительстве новых резервуаров, в частности в г. Смига Ривненской и в г. Надворная Ивано-Франковской области [8]. При этом на первом этапе в основном применяли блочный метод монтажа. Стенка резервуара была разбита на три яруса блоков по высоте и 5...10 блоков по ширине каждого яруса. Сборку листов в блоки и их автоматизированную сварку выполняли в поворотном кондукторе аппаратом АДФ-1002 под флюсом. Для стыковых горизонтальных швов на вертикальной плоскости стенки использовали технологию автоматизированной многослойной дуговой сварки аппаратом АД-330М самозащитной порошковой проволокой ПП-АН19Н с дополнительной защитой ванны CO₂ и принудительным подформованием швов. Для стыковых вертикальных швов рекомендована технология сварки самозащитной проволокой ПП-АН19Н с принудительным формированием металла. В зависимости от

толщины листов и формы обработки кромок сварка выполняется рельсовым аппаратом типа АД-333М или безрельсовым аппаратом типа А-1150.

Преимущества описанных технологий автоматизированной дуговой сварки следующие:

возможность непосредственного обзора зоны горения дуги;

улучшение условий защиты сварочной ванны, что важно на монтаже;

уменьшение количества проходов при сварке металла больших толщин;

обеспечение правильной геометрии формирования швов;

увеличение производительности сварки в 1,5...2 раза по сравнению со сваркой в условиях свободного формирования швов.

Учитывая необходимость строительства нефтерезервуаров большой вместимости (50...70...100 тыс. м³), перспективным является метод листового монтажа таких металлоконструкций. При этом технологии автоматизированной дуговой сварки, безусловно, найдут широкое применение.

1. *Сварные строительные конструкции. Типы конструкций / Под ред. Л. М. Лобанова. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона. — Т. 2. — 1997. — 680 с.*
2. *Барвинко Ю. П., Голюшко В. М., Барвинко А. Ю. Новые технологии восстановления работоспособности вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Сварщик. — 1999. — № 4. — С. 6–8.*
3. *Порошковые проволоки для электродуговой сварки: Каталог-справочник / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков и др. — Киев: Наук. думка, 1980. — 180 с.*
4. *Опыт применения флюса АН-60СМ при сварке резервуаров / В. А. Поляков, В. С. Токарев, И. А. Гончаров и др. // Сб. мат. науч.-техн. сем. «Прогрессивные технологии сварки в промышленности», 20–22 мая 2003 г. — Киев, 2003. — С. 105–106.*
5. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н. Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов // Автомат. сварка. — 1999. — № 6. — С. 26–32.*
6. *Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Там же. — 1996. — № 10. — С. 3–9.*
7. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М. Тенденции развития комбинированных и гибридных процессов дуговой и плазменной сварки // Сб. докл. науч.-техн. сем. «Сварка и родственные процессы в промышленности», 12 апр. 2006 г. — Киев: Экотехнология, 2006. — С. 3–6.*
8. *Автоматизированная дугая сварка стыковых соединений при листовом способе монтажа резервуаров / В. М. Илюшенко, В. А. Поляков, В. Р. Лашкевич и др. // Сб. докл. междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций», 24–27 нояб. 2003 г. — Киев, 2003. — С. 28–29.*

Comparative analysis has been performed of the processes of automated gas-shielded, self-shielded flux-cored wire arc and submerged-arc welding for repair of metal structures of large-sized tanks. Considered are the technological features of performance of various types of welds, as well as principles of development of specialized site apparatuses. Experience of and prospects for application of new developments are described.

Поступила в редакцию 20.03.2006



ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО МЕТАЛЛА ШВА НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

Э. Л. ДЕМЧЕНКО, Д. В. ВАСИЛЬЕВ, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Установлено положительное влияние высокопрочного ($\sigma_b \geq 1000$ МПа) аустенитно-мартенситного металла шва на кинетику формирования структуры и свойств ЗТВ сварных соединений легированных сталей, выполненных без подогрева и термообработки. Предложен состав высокопрочного металла шва при сварке порошковой проволокой. При этом обеспечивается высокая стойкость сварных соединений против образования холодных трещин и замедленного разрушения.

Ключевые слова: дуговая сварка, закаливающиеся стали, сварные соединения, высокопрочные швы, металл ЗТВ, структура, сварочные материалы

Решение проблемы получения качественных сварных соединений высокопрочных легированных сталей со свойствами, равноценными свойствам основного металла, связано с определенными трудностями. Высокопрочные стали ($\sigma_T \geq 800$ МПа), как правило, характеризуются повышенной склонностью к образованию хрупких закалочных структур в металле ЗТВ сварного соединения под воздействием термического цикла дуговой сварки. Неблагоприятные структурные превращения в сочетании с поведением диффузионного водорода способствуют возникновению холодных трещин уже в процессе сварки. Повышенная склонность сварных соединений закаливающих сталей к замедленному разрушению часто является причиной существенного снижения эксплуатационной надежности сварных конструкций [1–4]. В современном машиностроении при сварке закаливающих сталей с целью обеспечения благоприятной структуры в металле ЗТВ сварного соединения и снижения уровня остаточных напряжений, а также придания ему необходимых свойств используют такие технологические операции, как предварительный подогрев и последующая термообработка. Они увеличивают трудоемкость работ, а в ряде случаев, особенно при сварке крупногабаритных конструкций, предварительный подогрев и последующая термообработка просто невозможны [5]. Тогда, как правило, используют высоколегированные аустенитные сварочные материалы.

Авторами работ [6, 7] отмечено положительное влияние высоколегированного аустенитного металла шва на процесс формирования структуры металла ЗТВ в сварных соединениях высокопрочных сталей. Последнее объясняется образованием

в сварном соединении с аустенитным швом более благоприятного напряженного состояния, которое способствует смещению основной массы мартенситного превращения в область более высоких температур (> 250 °С) и улучшению свойств мартенсита, образовавшегося в металле ЗТВ в результате его самоотпуска.

Известно, что временные напряжения в сварных соединениях с разными типами металла шва отличаются по значению и кинетике [3]. Упругопластические деформации, возникающие в соединении перед началом мартенситного превращения в металле ЗТВ, существенно влияют на кинетику превращения переохлажденного аустенита в указанной зоне, и, как следствие, на ее конечную структуру и свойства. Установлено, что в соединениях с аустенитным швом уровень напряжений растяжения, возникающих к моменту охлаждения металла ЗТВ до температуры 500 °С, весьма значительный (120...140 МПа), что вызывает начало превращения аустенита в этой зоне при более высокой температуре ($M_H = 460$ °С) по сравнению с соединением с ферритно-перлитным швом ($M_H = 340$ °С), уровень напряжений в данном случае 60...80 МПа. В металле ЗТВ сварных соединений с аустенитным швом образуется преимущественно верхний бейнит и мартенсит отпуска, что объясняет высокую стойкость сварных соединений с высоколегированным швом против образования холодных трещин. Однако существенными недостатками аустенитного металла шва является его низкая в сравнении с основным металлом прочность и высокая стоимость. Поэтому использование данного способа возможно только в случае отсутствия требований к равнопрочности сварных соединений. Однако достижение последней путем усиления сварного шва дополнительной наплавкой (усиление шва при этом достигает 40 % толщины стали) существенно увеличивает количество наплавленного металла [5].

В качестве альтернативного варианта технологии сварки без подогрева и термообработки легированных высокопрочных сталей в работе [8] предложен способ, предусматривающий использование сварных швов, система легирования и свойства которых подобны хромоникельмолибденовым аустенитно-мартенситным сталям (или сталям переходного класса). Распад переохлажденного аустенита ($\gamma \rightarrow \alpha_M$) в таких сталях происходит при более низких температурах по сравнению с температурой окончания структурных превращений в металле ЗТВ основного металла ($T_M < 200$ °С). Предполагалось, что влияние аустенитно-мартенситного шва на формирование структуры в металле ЗТВ сварного соединения аналогично влиянию аустенитного шва. Кроме того, в состоянии после сварки такие швы в отличие от аустенитных должны приобретать достаточно высокую прочность ($\sigma_B = 900 \dots 1200$ МПа). Известно, что механические свойства аустенитно-мартенситных сталей в значительной степени зависят от соотношения в них основных структурных составляющих, например, мартенсита, остаточного аустенита и δ -феррита [9–11]. В связи с этим целью работы являлось исследование влияния структурно-фазового состояния аустенитно-мартенситного металла шва на свойства сварных соединений высокопрочных легированных сталей при сварке без подогрева и последующей термообработки. Для исследований в качестве базового прототипа металла шва была выбрана опытная литая сталь типа 03X12H8M2ГСТ, которая отличается механическими свойствами на требуемом уровне: $\sigma_{0,2} = 780,0 \dots 820,0$ МПа; $\sigma_B = 1000,0 \dots 1050,0$ МПа; $\delta \geq 16$ %; $\psi \geq 35$ %; $KCU^{+20} = 100$ Дж/см². По данным металлографических исследований, структура стали в исходном состоянии представляет собой смесь реечного (пакетного) высоколегированного мартенсита замещения ($HV 0,05$ 3200 МПа) и остаточного аустенита (рис. 1). Низкоуглеродистый (0,03 С мас. %) высоколегированный мартенсит замещения в стали выбранного состава имеет вид прямоугольных пакетов пластин (или реек), расположенных по границам исходных зерен аустенита. Толщина пластин в пакете колеблется от 0,3 до 2,3 мкм. Микроструктурные исследования показали, что кристаллиты в основном имеют неправильную форму. В наибольших из них обнаружено полосу — мидриб, которая представляет собой сгустки двойников с характерным дислокационным строением кристаллитов.

Для исследования кинетики фазового ($\gamma \rightarrow \alpha_M$)-превращения использовали метод высокотемпературной вакуумной металлографии, а также дилатометрические исследования. Специальные образцы из исследуемой стали нагревали в вакуумной камере с остаточным давлением воздуха



Рис. 1. Микроструктура стали 03X12H8M2ГСТ (прототип металла шва), $\times 500$

0,013...1,3 Па со скоростью 100 °С/с до температуры 1100 °С и выдерживали в течение 20 с до полной аустенизации. После этого образцы охлаждали со скоростью 4...5 °С/с. Таким образом, были воспроизведены условия, приближенные к термическому циклу однопроходной дуговой сварки плавлением.

В процессе охлаждения проводили наблюдение за структурными изменениями в исследуемой стали. Микроструктуры, полученные с помощью вакуумного травления, при охлаждении образцов от 1100 °С до комнатной температуры ($\gamma \rightarrow \alpha_M$ -превращения), приведены на рис. 2.

Исследования механических свойств, а также результаты металлографических исследований стали, выбранной в качестве прототипа, показали, что основой структуры аустенитно-мартенситного металла шва хромоникельмолибденовой композиции должен быть высоколегированный мартенсит. Низкоуглеродистый высоколегированный мартенсит ($HV 0,05$ 2800...3200 МПа) обеспечивает аустенитно-мартенситному металлу шва высокую прочность ($\sigma_B = 1000 \dots 1200$ МПа), уровень которой существенно не снижается при условии, что суммарное содержание других структурных составляющих (остаточного аустенита и δ -феррита) не превышает 25,0 мас. %. Если массовая доля мартенсита в шве превышает 90 %, пластические свойства и вязкость существенно ухудшаются, а прочность при этом $\sigma_B = 1200 \dots 1300$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1000 \dots 1100$ МПа. Металл сварного шва с такими свойствами малоприспособен для использования в связи с низкой стойкостью против хрупкого разрушения. По этой причине оптимальное содержание мартенсита должно находиться в пределах 75...90 мас. %.

Вторая по массовой доле фаза в исследуемой структуре — аустенит (оставшийся после завершения $\gamma \rightarrow \alpha_M$ -превращения), а также незначительное количество δ -феррита. В соответствии с литературными данными остаточный аустенит имеет существенное влияние на механические свойства сталей, близких по своему составу выбран-

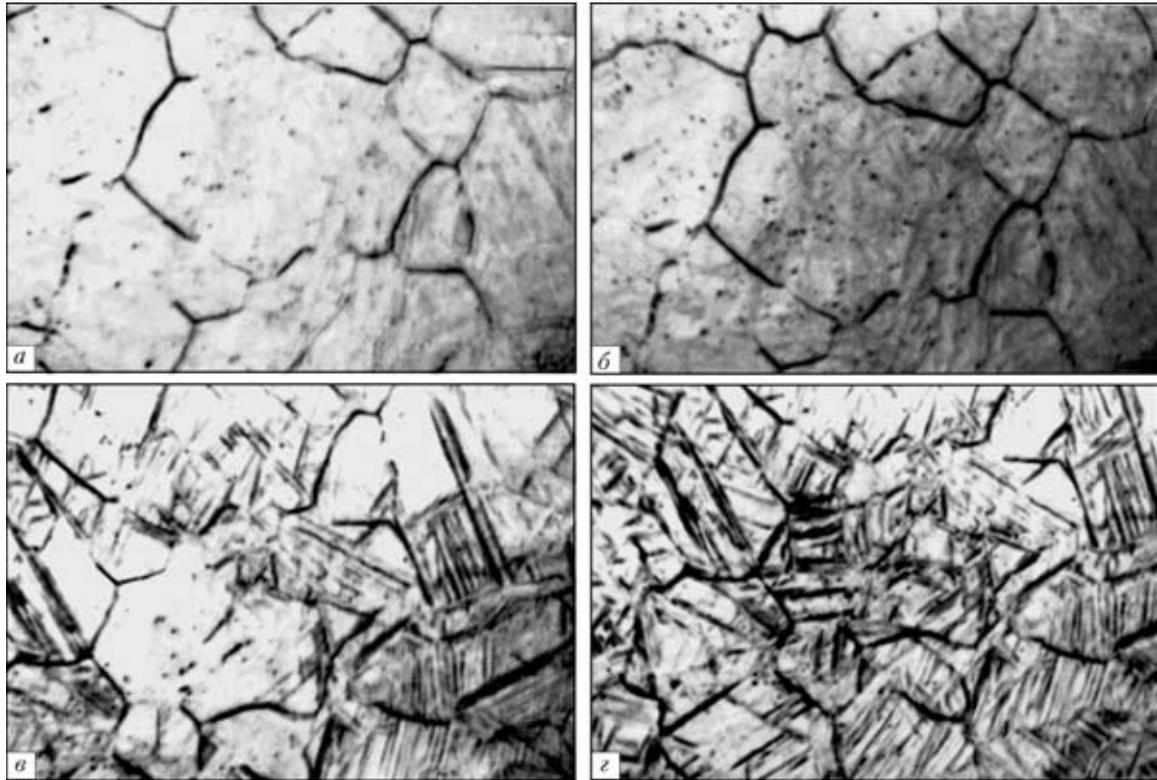


Рис. 2. Микроструктура ($\times 100$, высокотемпературная металлография) опытной стали после охлаждения от точки A_{c3} до 800 (аустенит, *a*); 430 (аустенит, *б*); 180 (начало $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения, *в*) и 20 °С (мартенсит, *з*)

ному металлу шва, особенно на их пластические свойства. В работах [12–14] показано, что это влияние может быть разнообразным, и зависит от состава аустенита, его морфологии, тонкой структуры, стабильности, а также состава и свойств мартенситной матрицы, которая его окружает. Авторы работ [12, 13] подчеркивают положительное влияние остаточного аустенита на вязкость нержавеющей сталей переходного класса особенно при низких температурах. В работе [14] показано, что остаточный аустенит повышает пластичность и снижает чувствительность к трещинам литых нержавеющей сталей этого типа. В этих случаях оптимальное количество остаточного аустенита обеспечивается как в результате изменения (регулирования) химического состава стали в диапазоне, предусмотренном техническими условиями, так и за счет использования специальной термообработки [14, 15].

Для оценки влияния структурно-фазового состояния на свойства хромоникельмолибденового аустенитно-мартенситного металла шва были получены варианты металла шва с наперед заданными количествами остаточного аустенита, что достигалось изменением соотношения массовых долей основных легирующих элементов (хрома, никеля, молибдена, марганца) в металле шва. Массовые доли других элементов (углерода, азота, кремния, серы, фосфора) выдерживались практически постоянными. Варьирование химическим составом металла шва осуществлялось путем изменения состава порош-

кового наполнителя опытной проволоки (легирующие элементы вводились в виде порошков ферросплавов). Опытной порошковой проволокой выполнены сварные соединения легированной стали типа 15X2Н4МДА. Из металла сварных швов изготовлены образцы для оценки механических свойств, а также образцы для металлографических исследований, обработанные специальным травлением для снятия поверхностных слоев металла со структурами наклепа от механического резания. Количество остаточного аустенита в структуре шва устанавливали с помощью рентгеноструктурного анализа по методике, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона, основанной на сравнении интенсивности выбранных дифракционных линий аустенита и мартенсита.

Зависимость механических свойств металла шва от количества остаточного аустенита в нем приведена на рис. 3. Анализ полученных данных показывает, что, изменив массовую долю остаточного аустенита в структуре аустенитно-мартенситного металла шва от 0 до 10 мас. %, можно улучшить пластические свойства (относительное удлинение, сужение и ударную вязкость в 1,5...2 раза) при сохранении временного сопротивления разрушению σ_b и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ на достаточно высоком уровне. Дальнейшее увеличение массовой доли остаточного аустенита от 10 до 20 мас. % обеспечивает еще более высокие показатели пластичности и вязкости без снижения временного сопротивления разрушению ($\sigma_b =$

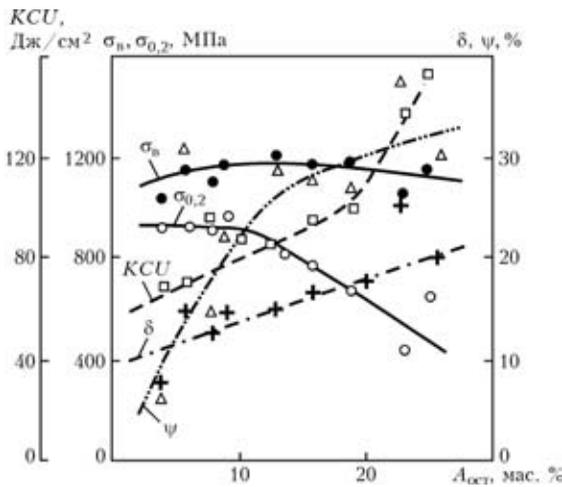


Рис. 3. Зависимость механических свойств аустенитно-мартенситного металла шва от массовой доли остаточного аустенита

= 1100 МПа), при этом предел текучести существенно снижается ($\sigma_{0,2} = 600$ МПа). Влияние остаточного аустенита, который образовался при $\gamma \rightarrow \alpha_M$ -превращении, на пластичность высоколегированных мартенситностареющих сталей [14] объясняют не только его исходной пластичностью, но и увеличением пластичности в вершине трещины, которая развивается в результате $\gamma \rightarrow \alpha_M$ -превращения при испытании, которое приводит к значительному повышению энергоемкости процесса развития трещины. Аналогично можно объяснить положительное влияние остаточного аустенита и на пластичность аустенитно-мартенситного металла шва выбранного типа.

Присутствие δ -феррита в структурном составе металла шва в количествах 3...6 мас. % обеспечивает ему высокую стойкость против образования горячих трещин и незначительно улучшает пластичные свойства. Увеличение массовой доли δ -феррита в структуре до уровня 8 % и выше делает аустенитно-мартенситный металл шва склонным к хрупкому разрушению (по ферритным прослойкам), особенно при низких температурах.

Таким образом, оптимальное соотношение структурных составляющих высоколегированного аустенитно-мартенситного металла шва с заданным уровнем механических свойств должно находиться в следующем диапазоне, мас. %: мартенсит — 75,0...85,0; остаточный аустенит — 6,0...15,0; δ -феррит — 3,0...6,0.

В связи с тем, что свойства сварных соединений легированных закаливающихся сталей с высокопрочным ($\sigma_{0,2} = 800$ МПа) аустенитно-мартенситным металлом шва недостаточно изучены, особенно в части стойкости их против образования холодных трещин, представлялось целесообразным исследование влияния металла шва указанного типа на процесс формирования структу-

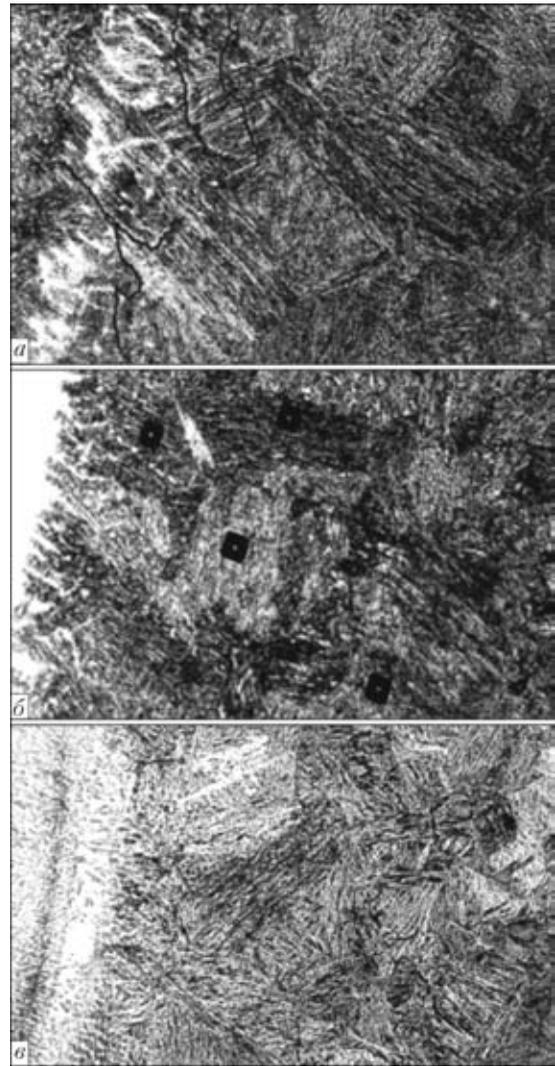


Рис. 4. Микроструктура металла ЗТВ соединения стали 30X2H2M (X500), сваренных ферритно-перлитными (а), аустенитными (б), опытными аустенитно-мартенситными швами (в)

ры металла ЗТВ и сравнение его с влиянием аустенитного и ферритно-перлитного швов.

Исследования проводили с использованием опытных порошковых проволок, обеспечивающих металл шва хромоникельмолибденовой композиции типа 05X12H8M2ГСТ с аустенитно-мартенситной структурой, который отвечает требованиям к химическому и фазовому составу и по механическим свойствам находится на уровне исследуемых легированных сталей: $\sigma_{0,2} = 800$ МПа; $\sigma_B = 1000$ МПа; $\delta \geq 20$ %; $\psi \geq 35$ %; $KCU^{+20} \geq 100$ Дж/см².

Ниже приведены результаты сравнительной оценки структуры и свойств металла ЗТВ жестких сварных соединений стали типа 30X2H2M с металлом шва ферритно-перлитного, аустенитного и аустенитно-мартенситного классов, выполненных без предварительного подогрева и последующей термообработки механизированной дуговой сваркой плавящимся электродом в углекислом газе. Ис-



пользовали проволоки марок Св-10ХГ2СМА, Св-08Х20Н10Г7Т, а также опытную порошковую проволоку типа 05Х12Н8М2ГСТ (ПП-АНВП-80), которые сообщали наплавленному металлу соответственно ферритно-перлитную, аустенитную и аустенитно-мартенситную структуры. Во всех трех случаях сварные швы выполняли в нижнем положении проволоками диаметром 2,0 мм. Техника сварки «на проход» с послыйным охлаждением до температуры +20 °С, ток постоянный, полярность подключения обратная, плюс на электроде. Параметры режима сварки при этом выдерживали на уровне: $I_{св} = 280...300$ А, $U_d = 30...32$ В и $v_{св} = 12,0$ м/ч. После охлаждения на воздухе до температуры 20 °С из опытных сварных соединений механическим способом вырезали темплеты для микро- и макрошлифов. Для предотвращения возможности дополнительного термического влияния все операции по изготовлению шлифов выполняли с использованием принудительного охлаждения.

При исследовании поверхностей шлифов в металле ЗТВ сварного соединения с ферритно-перлитным швом (10ХГ2СМА) были обнаружены холодные трещины типа «откол» (рис. 4, а). В сварных соединениях с аустенитным и аустенитно-мартенситным швами трещин не выявлено.

Микроструктура металла ЗТВ сварного соединения с ферритно-перлитным швом представляет собой бейнитно-мартенситную смесь мартенсита закалки и нижнего бейнита ($HV 0,05 4100...4300$ МПа), отличается более крупным зерном (рис. 4, а) по сравнению с преимущественно бейнитной ($HV 0,05 3200...3400$ МПа) структурой металла ЗТВ сварных соединений с аустенитным или аустенитно-мартенситным швами (рис. 4, б, в). Анализ результатов измерений твердости и микротвердости

в зоне сплавления показывает, что сварные соединения с аустенитно-мартенситным и аустенитным швами имеют значительные преимущества над соединением с ферритно-перлитным швом.

Анализ дилатометрических кривых (рис. 5), характеризующих фазовые превращения в сварных соединениях с аустенитным и аустенитно-мартенситным швами, показал, что в обоих случаях формирование структуры металла ЗТВ при охлаждении от температуры 1100 °С (A_{c3}) начинается и завершается фактически в одинаковом интервале температур (450 °С → 400 °С). Все последующие превращения, характерные для аустенитно-мартенситного шва, происходят уже при полностью завершённых фазовых превращениях в металле ЗТВ (рис. 6). Следует отметить, что при охлаждении до температур порядка 180 °С и ниже дилатометр фиксирует резкое увеличение линейных размеров образцов, которое объясняется объемным характером мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha_m$ -превращения в швах исследуемого типа. Процесс фазовых превращений в металле шва положительно влияет на формирование напряженно-деформационного состояния сварного соединения. Происходит частичная релаксация остаточных напряжений. Металлографические исследования показали, что в металле ЗТВ сварных соединений как с аустенитно-мартенситными, так и с аустенитными швами образуются пластичные, не склонные к образованию трещин и хрупкому разрушению, структуры отпуска (смесь мартенсита низкой степени тетрагональности и верхнего бейнита — рис. 4, в).

Таким образом, установлено, что влияние аустенитно-мартенситного металла шва на структурные превращения в металле ЗТВ высокопрочной легированной стали типа 30Х2Н2М аналогично влиянию аустенитного шва. Кроме того, исследуемый шов имеет высокую прочность ($\sigma_b = 1150$ МПа),

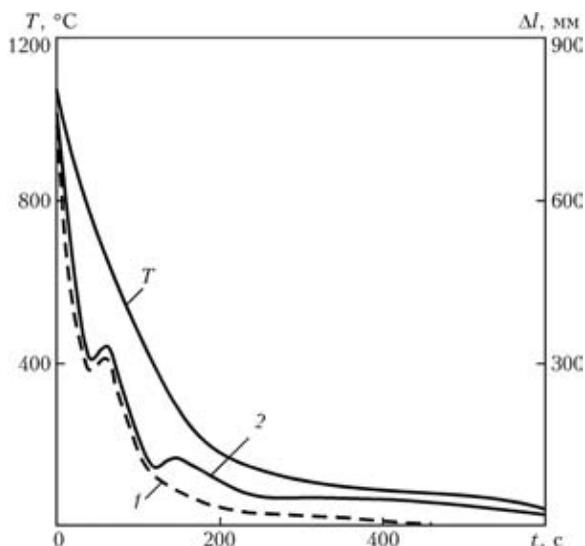


Рис. 5. Дилатометрические измерения образцов сварного соединения стали 15Х2Н4МДА при охлаждении от 1100 °С с аустенитным (1) и аустенитно-мартенситным швом (2); T — график изменения температуры во времени

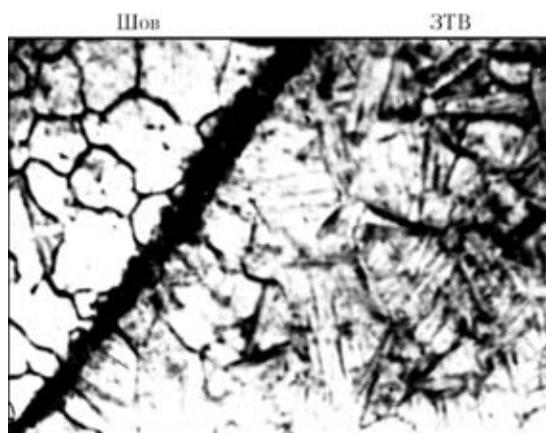


Рис. 6. Микроструктура металла ЗТВ сварного соединения стали 15Х2Н4МДА со швом типа 05Х12Н8М2ГСТ в момент завершения формирования структуры металла ЗТВ (430 °С). Структура шва — аустенит (высокотемпературная металлография, $\times 100$)

которая подтверждается высоким уровнем твердости ($HV\ 270\dots330$; $HV\ 0,05\ 2700\dots3000$ МПа).

Результаты исследования влияния структурно-фазового состояния высокопрочного аустенитно-мартенситного шва на свойства сварных соединений легированных сталей были положены в основу создания сварочных материалов нового поколения: электродов и порошковых проволок серии АНВП, предназначенных для сварки без предварительного подогрева и последующей термообработки высокопрочных легированных сталей с пределом текучести от 600 до 1000 МПа. Процесс дуговой сварки и наплавки опытными сварочными материалами характеризуется высокими сварочно-технологическими свойствами.

Низкий уровень концентрации водорода в металле сварных швов, выполненных новыми сварочными материалами ($1,9\dots2,5\ \text{см}^3/100\ \text{г}$ металла), обеспечивается благодаря применению специальных технологических мер [16, 17] в сочетании с другими благоприятными факторами [18]. Этим достигается удовлетворительная стойкость высокопрочных сварных соединений легированных сталей против образования холодных трещин и замедленного разрушения.

По результатам опытно-промышленных проверок новые сварочные материалы рекомендованы для сварки и наплавки без подогрева и термообработки высокопрочных легированных сталей при изготовлении и ремонте оборудования в различных отраслях отечественного машиностроения (специальном, транспортном, энергетическом, нефтеперерабатывающем, горнодобывающем и др.).

Выводы

1. Кинетика $\gamma \rightarrow \alpha_M$ -превращения в низкоуглеродистом аустенитно-мартенситном металле шва оказывает положительное влияние на формирование структуры металла ЗТВ сварных соединений закаливающихся легированных сталей, способствуя образованию в ней преимущественно таких пластичных структур, как верхний бейнит и мартенсит отпуска.

2. Экономнолегированные аустенитно-мартенситные сварные швы с наперед задаваемым структурно-фазовым состоянием не уступают по своим механическим свойствам основному металлу, что позволяет получать высокопрочные сварные со-

единения легированных сталей при сварке без подогрева и последующей термообработки.

3. Сварные соединения легированных сталей с высокопрочными ($\sigma_{\text{в}} \geq 1000$ МПа) аустенитно-мартенситными швами устойчивы против образования холодных трещин и замедленного разрушения.

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
2. Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. — М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.
3. Макара А. М., Мосендз Н. А. Сварка высокопрочных сталей. — Киев: Техніка, 1971. — 140 с.
4. Готальский Ю. Н. Сварка перлитных сталей аустенитными материалами. — Киев: Наук. думка, 1992. — 224 с.
5. Грищенко Л. В. Новые электроды для сварки стали 15X2H4MДA // Сварочн. пр-во. — 1961. — № 3. — С. 22–26.
6. Баршиников А. П. Влияние состава металла шва на образование холодных трещин при сварке среднелегированных сталей // Автомат. сварка. — 1969. — № 7. — С. 1–4.
7. Бирман С. Р. Экономнолегированные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1974. — 208 с.
8. А. с. 880671 СССР, МКП В23К 28/00. Способ дуговой сварки закаливающихся сталей / Ю. Н. Готальский, В. В. Снисарь, Э. Л. Демченко и др. — Оpubл. 14.07.81, Бюл. № 42.
9. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. — М.: Металлургия, 1985. — 407 с.
10. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: Металлургия, 1966. — 1274 с.
11. Потак Я. М. Высокопрочные стали. — М.: Металлургия, 1972. — 76 с.
12. Козловская В. И., Потак Я. М., Оржеховский Ю. Ф. Повышение вязкости мартенситных сталей термической обработкой // Металловедение и терм. обработка металлов. — 1969. — № 5. — С. 61–66.
13. Зависимость вязкости стали Н18К9Н5Т при -196°C от количества и устойчивости остаточного аустенита при разрушении / В. В. Тихомиров, Ю. В. Шахназаров, А. Г. Панков, Н. И. Воробьева // Физика металлов и металловедение. — 1971. — 32, № 3. — С. 641–643.
14. Никольская В. Л., Певзнер Л. М., Орехов Н. Г. Влияние остаточного аустенита на свойства литых нержавеющей сталей // Металловедение и терм. обработка металлов. — 1975. — № 9. — С. 35–39.
15. Юценко К. А., Пустовит А. И. Влияние легирующих элементов на структуру и хладостойкость высокопрочных мартенситно-стареющих швов // Стали и сплавы криогенной техники. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 149–154.
16. Демченко Э. Л., Бовсуновский А. Н., Янкина О. И. Влияние водорода на механические свойства аустенитно-мартенситного металла шва типа 03X12H8M2ГСТ // Автомат. сварка. — 1990. — № 7. — С. 30–33.
17. Пути снижения содержания водовода в металле шва типа 03X12H8M2ГСТ при дуговой сварке / Э. Л. Демченко, В. В. Снисарь, В. Н. Липодаев // Там же. — 1991. — № 10. — С. 23–27.
18. Роль пиковых напряжений в образовании холодных трещин в сварных соединениях закаливающихся сталей / Ю. А. Стеренбоген, Д. В. Васильев, Э. Л. Демченко, Д. П. Новикова // Там же. — 2006. — № 4. — С. 11–20.

It is established that the high-strength ($\sigma_{\text{v}} \geq 1000$ МПа) austenitic-martensitic weld metal has a positive effect on the kinetics of formation of structure and properties of HAZ of the welded joints in alloyed steels, made without preheating and heat treatment. Composition is suggested for the high-strength weld metal using flux-cored wire welding, which provides high cold crack and delayed fracture resistance of the welded joints.

Поступила в редакцию 03.10.2006



ПРИМЕНЕНИЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ НАПЛАВКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОМ В КОНТАКТЕ С МОРСКОЙ ВОДОЙ

А. С. САЛЬНИКОВ, В. В. ОТРОКОВ, инженеры, Г. М. ШЕЛЕНКОВ, канд. техн. наук, Э. А. ЦЫМБАЛ, инж.,
М. А. ЛАКТИОНОВ, канд. техн. наук (ОАО «Сумское НПО им. М. В. Фрунзе»)

Приведены результаты сравнительных испытаний антикоррозионных наплавки, применяемых для защиты энергетического оборудования, эксплуатирующегося в морской воде. Наивысшую коррозионную стойкость к питтинговой коррозии в морской воде имеет сплав ХН65МВ (ЭП-567). По триботехническим параметрам он в контакте с углепластиком ФУТ уступает паре ФУТ+бронза. Сплав ХН65МВ может быть рекомендован для защиты от питтинговой и контактной коррозии слабонагруженных узлов, эксплуатируемых в условиях смачивания их морской водой.

Ключевые слова: дуговая наплавка, технологическое оборудование, энергетические системы, коррозионное разрушение, коррозионностойкая наплавка, наплавленный металл, триботехнические испытания, деформационное упрочнение, питтинговая коррозия

В энергетических системах, расположенных в прибрежных морских территориях, для охлаждения технологического оборудования применяют морскую воду. При изготовлении такого оборудования используют высоколегированные хромоникельмолибденовые нержавеющие стали, обеспечивающие необходимый уровень коррозионной стойкости в данной среде. Однако в застойных зонах изделий, охлаждаемых узлах трения, узлах, подверженных коррозионно-механическому износу, для поддержания металла в пассивном состоянии требуется проводить защитные меры, препятствующие местному коррозионному разрушению — питтинговой и щелевой коррозии, коррозионному растрескиванию. Такие виды разрушения возможны и в центробежных насосах типа ВА 4500-50А, ВА 5500-50А из стали марки 12Х17Н13М3Т с учетом их конструкции и условий эксплуатации.

Одним из путей решения указанной проблемы является наплавка критических зон изделия материалами, обеспечивающими требуемый уровень коррозионной стойкости.

В мировой практике рациональный выбор коррозионностойких сталей для оборудования, работающего в условиях возможного локального разрушения, осуществляют на основе эмпирической зависимости [1, 2]:

$$\text{ЭПК} = \% \text{Cr} + 3,3 \% \text{Mo} + 16 \% \text{N},$$

где ЭПК (PRE) — эквивалент стойкости к питтинговой коррозии (ПК).

Сплавы, имеющие ЭПК > 40, отличаются повышенной стойкостью к ПК в морской воде. Такое свойство имеют стали (наплавки), содержащие (19...20 %) хрома и не менее 6 % молибдена [2–4].

В таблице приведены расчетные значения ЭПК сварочных материалов, предназначенных для выполнения антикоррозионной наплавки по ПНАЭ Г-7-009-89, а также рекомендованных ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», Азовским морским институтом Одесской национальной академии [5, 6].

Для данного случая ПНАЭ Г-7-009-89 рекомендует сварочную проволоку Св-03Х15Н35Г7М6Б. Эта проволока специального назначения, поэтому ее приобретение в малых объемах практически невозможно. К тому же данных по ее промышленному применению при наплавке в литературных источниках нет. Сварочные материалы, приведенные в таблице (кроме сплава ХН65МВ), имеют ЭПК < 40. Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод, что наибольшей ожидаемой стойкостью к ПК отличается сплав ХН65МВ (ЭП-567).

В литературе информация о применении сплава ХН65МВ для эксплуатации в морской воде весьма ограничена. В работе [7] на основе анализа поляризационных диаграмм высказано предположение о перспективности сплава ХН65МВ для защиты от коррозии контактной пары ФУТ + ХН65МВ при эксплуатации в морской воде. Что касается применения наплавки сплавом ХН65МВ для защиты от коррозии и коррозионно-механического износа, то такие данные практически отсутствуют.

Еще менее изучена проблема обеспечения коррозионной стойкости в морской воде в зонах, подверженных коррозионно-механическому износу и контактных парах подшипников скольжения. Для защиты контактной поверхности стальных валов с подшипником от коррозионного повреждения

Расчетные значения ЭПК и результаты испытания наплавки на ПК

№ п/п	Марка материала	Соответствие материала	ЭПК расчетное (max/min)	Скорость коррозии по ГОСТ 9.912–89, г/(м ² ·ч); склонность к ПК
1	ХН65МВ (ЭП-567)	ГОСТ 5632–78	72,6/64,0	Не опр.
		Наплавленный металл	65,7	Потерь в массе нет; ПК не обнаружена
2	ПП-АН-163 (ПП-Нп-07Х12М3Н3Г2)	ТУУ 05416923.020–97	21,9/16,6	Не опр.
		Наплавленный металл	19,3	max 10,5; глубина до 2 мм
3	ОЗЛ-17У (Э-03Х23Н27М3Д3Г2Б)	ТУ 14-4-715–75	39,2/29,6	Не опр.
		Наплавленный металл	34,34	max 0,6; 1 точка на 1 см ²
4	ЭА 400/10У (Э-07Х19Н11М3Г2Ф)	ТУ 5.965-4027 ГОСТ 9466	30,6/23,4	Не опр.
		Наплавленный металл	26,65	max 1,72; глубина до 1 мм
5	Св-03Х15Н35Г7М6Б Флюс ОФ-10	Наплавленный металл ПНАЭ Г-7-10–89	40,7/29,5	Не опр.

в морской воде Морским регистром рекомендуется сплошная облицовка рабочей поверхности сплавами, имеющими высокую коррозионную стойкость в морской воде [8] (оловянистые бронзы, медноникелевые сплавы и др.).

Применение защитных рубашек приводит к снижению коррозионно-усталостной прочности из-за фреттинг-эффекта, значительному расходу дефицитных материалов, увеличению массы изделия [9]. Наплавка является более перспективным способом защиты стальных валов от коррозии. Однако процесс наплавки, даже при отсутствии дефектов сварки в наплавленном слое, может снижать предел выносливости до 30 % [5]. Суть усталостного разрушения заключается в зарождении усталостной трещины, которая одновременно распространяется в наплавленном и основном металле, у границы сплавления под действием знакопеременных нагрузок и остаточных напряжений [5, 10]. Одним из существенных факторов, влияющих на зарождение усталостной трещины, являются свойства наплавленного металла и способы наплавки. Наплавленный металл должен отличаться высокой стойкостью против образования микро- и макротрещин, иметь достаточно высокую прочность, соответствующую пластичность и ударную вязкость, формировать в процессе наплавки напряжения сжатия и иметь высокую сопротивляемость зарождению и распространению усталостных трещин [5], достаточно высокую коррозионную и усталостно-коррозионную стойкость.

В связи с изложенным выше возникла необходимость проведения исследований, целью которых является оптимальный выбор доступных сварочных материалов для наплавки критических зон оборудования, работающих в контакте с морской водой.

При выборе материалов для наплавки узлов насосов необходимо было решить несколько взаимосвязанных задач:

обеспечить защиту от коррозионного разрушения рабочих поверхностей деталей роторной части насосов и застойных зон корпусов насосов при контакте с морской водой наплавкой коррозионностойкими материалами без существенного ухудшения исходных свойств основного металла (ОМ) деталей как в период их работы, так и в период остановки;

методом наплавки обеспечить твердость $HRC_3 \geq 30$ и защиту от ПК рабочих поверхностей деталей роторной части насосов, подверженных коррозионно-механическому износу в условиях морской воды;

обеспечить заданный технический ресурс работы не менее 30 лет подшипников в контактной паре углепластик ФУТ (по ТУ 5.966-11704) и коррозионную наплавку с твердостью $HRC_3 \geq 30$ на углеродистые стали 38ХМ и 40Х (ГОСТ 4543–71) применительно к промежуточным валам насосов.

Экспериментальную проверку пригодности сплава ХН65МВ для решения первой поставленной задачи выполняли наряду с другими сварочными материалами (таблица).

Стойкость наплавленного металла против ПК определяли химическим методом по ГОСТ 9.912–89, предусматривающим ускоренные испытания в 10%-м растворе $FeCl_3 + 6H_2O$.

Образцы размером 20×30×4 мм по 5 штук на одно испытание были вырезаны из верхних слоев семислойных наплавки, выполненных следующими сварочными материалами:

проволока ХН65МВ (ЭП-567) — аргонодуговая наплавка;

электродами Э-03Х23Н27М3Д3Г2Б (ОЗЛ-17У) — электродуговая наплавка;

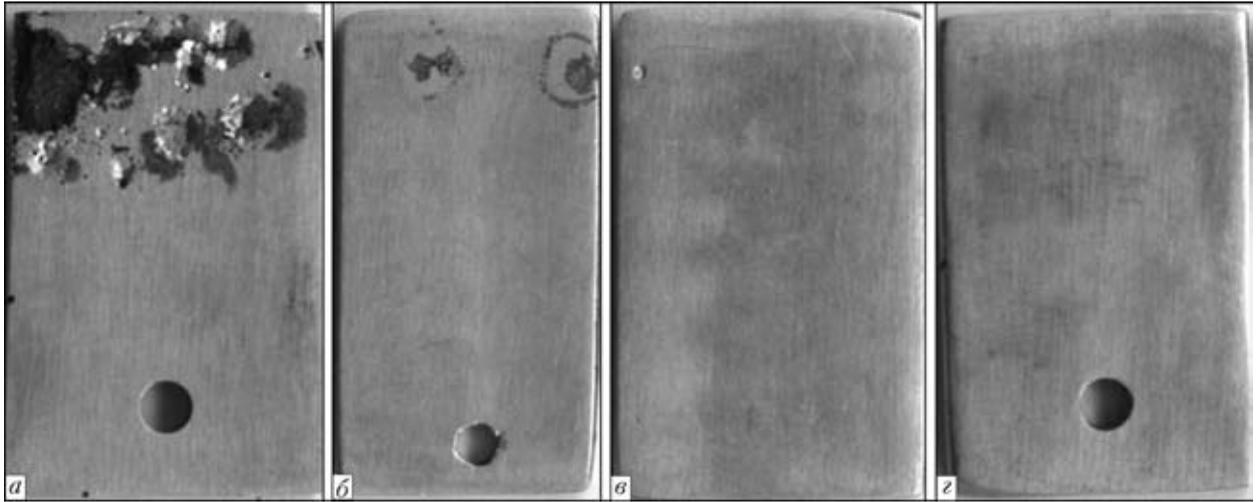


Рис. 1. Внешний вид образцов наплавленного различными материалами металла после испытаний на ПК: *а* — порошковая проволока ПП-АН-163, ЭПК = 19, ПК глубиной до 2 мм, потери в массе до $10,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; *б* — электроды ЭА 400/10У, ЭПК = 27, ПК глубиной до 0,5 мм, потери в массе до $1,72 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; *в* — электроды ОЗЛ-17У, ЭПК = 34, ПК — 1 точка на 1 см^2 , потери в массе до $0,6 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; *г* — сплав ЭП-567 (ХН65МВ), ЭПК = 66, ПК не обнаружена, потеря в массе нет

электродами Э-07Х19Н11М3Г2Ф (ЭА 400/10У) — электродуговая наплавка;

проволока ПП-Нп-07Х12М3Н3Г2 (ПП-АН-163) — автоматическая под флюсом АН-26С.

Испытания проводили в три цикла: I — 5; II — 24; III — 48 ч. Общая продолжительность испытаний — 77 ч. Оценочным результатом являлась условная скорость питтингообразования. В качестве дополнительных показателей определяли глубину и количество питтингов на единицу площади, результаты которой приведены в таблице. Значительные потери имели образцы, вырезанные из металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-07Х12М3Н3Г2 (ПП-АН-163) (рис. 1, *а*). Глубина отдельных питтингов достигала 2 мм. Образцы, вырезанные из металла, наплавленного электродами Э-03Х23Н27М3Д3Г2Б (ОЗЛ-17У), имели незначительные потери в массе и одно точечное поражение на 1 см^2 (рис. 1, *в*). На поверхности образцов, вырезанных из наплавленного металла ХН65МВ (ЭП-567), питтинги не обнаружены (рис. 1, *г*). Потери в массе отсутствуют. Эксперименты подтвердили, что результаты испытаний хорошо согласуются с расчетными значениями ЭПК.

Образцы из металла, наплавленного проволокой ХН65МВ (ЭП-567), имеющей наиболее высокую коррозионную стойкость против ПК, были подвергнуты испытанию при повышенной температуре ($+40 \text{ }^\circ\text{C}$) по ГОСТ 9.912–89. Потери в массе отсутствуют. Металл, наплавленный сплавом ХН65МВ, стоек и против межкристаллитной коррозии. Испытание проводили по методике РД 24200.15-90.

Таким образом, наибольшей стойкостью против ПК отличается металл, наплавленный с использованием проволоки из сплава ХН65МВ.

Как известно [11,12], нержавеющие стали и сплавы, имея необходимую коррозионную стойкость, в ряде случаев склонны к задирам в парах трения. В этом случае требуется проводить мероприятия по повышению их твердости. Последнее достигается механическим упрочнением обкаткой роликом, высокочастотной механической проковкой, обработкой взрывом.

Сплав ХН65МВ, имея высокую коррозионную стойкость, обеспечивает в наплавленном металле твердость до $HV 220$ ($HRC 18$), что ниже требуемой ($HRC 35 \dots 40$) для зон, подверженных коррозионно-механическому износу.

При решении задачи, связанной с увеличением твердости и созданием сжимающих напряжений в наплавленном слое сплава ХН65МВ, применили обкатку роликами поверхности коррозионностойкого слоя с учетом известных рекомендаций [11, 12].

После деформационного упрочнения максимальная твердость на поверхности наплавленного металла достигла $HV 412$. Твердость упрочненного слоя по сечению наплавки также зависит от режимов обкатки. Распределение твердости по сечению наплавки от количества проходов представлено на рис. 2. Глубина упрочненного слоя с твердостью $HV 320$ после трех проходов достигала $2,0 \dots 2,5$ мм. Такая обработка повышает стойкость наплавки против задиров и механического износа в парах трения. Однако информация по коррозионно-механическому износу упрочненного наплавленного металла и влиянию упрочнения на его коррозионную стойкость при эксплуатации в морской воде практически отсутствует, что и определило необходимость проведения исследований в данном направлении.

Сравнительные испытания проводили по методике кратковременных нагружений [13], кото-

рые позволяют сравнительно быстро получить достаточное для статистической обработки количество экспериментальных данных. Дополнительным преимуществом кратковременных испытаний является также возможность надежного обеспечения в течение всего времени работы узла трения постоянства заданных условий нагружения и изнашивания контактных поверхностей испытуемого материала и контртела.

За основной показатель, характеризующий свойства испытуемых материалов, выбрали линейный износ (h — глубина канавки на поверхности испытуемого материала) при постоянной нагрузке и фиксированном отрезке пройденного пути. Методика не может быть использована для расчета ресурса работы пары трения, но позволяет провести сравнительную оценку износостойкости различных пар трения.

Схема узла трения с водяной ванной приведена на рис. 3. Смачивание морской водой осуществляли путем частичного погружения вращающегося валика в ванну. Определяли линейный износ при постоянной нагрузке $F_N = 100$ Н, скорости скольжения 1,1 м/с и фиксированном отрезке пройденного пути ($L = 200, 300, 400, 500, 600, 700$ м).

Износ наплавленного металла, выполненного с использованием таких присадочных материалов, как стеллит 6, бронза, сплав ХН65МВ (упрочненная наплавка), проверяли в сравнении с ОМ (сталь 12Х18Н10Т). В качестве контртела использовали пластину из сплава ВЗК. Результаты испытания приведены на рис. 4. По снижению максимального линейного износа (глубина канавки h' , мм) материалы расположены следующим образом: 12Х18Н10Т ($HV 200$) — 0,128 мм; бронза (материал УТР34Н ($HRC 22$) — 0,074 мм; сплав ХН65МВ ($HRC 39$) — 0,061 мм; стеллит 6 ($HRC 50$) — 0,058 мм.

Таким образом, наплавленный металл ХН65МВ, упрочненный обкаткой роликами до твердости $HV 412$ ($HRC_3 35...40$), более стоек против коррозионно-механического износа по сравнению с нержавеющей сталью и бронзой и может быть рекомендован для деталей роторной части насосов, подверженных такому виду износа.

Исследования работоспособности подшипников в контактной паре углепластик ФУТ + наплавка ХН65МВ применительно к промежуточным валам из высокоуглеродистой стали выполняли в два этапа. Первоначально отработывали технологию наплавки сплавом ХН65МВ на промежуточный вал, которая не снижала бы свойства ОМ. Отработку технологии и исследование влияния способа сварки на наплавленный и ОМ проводили на образцах из стали 40Х диаметром 210 мм, прошедших термообработку и обеспечивающих механические свойства не ниже КП 440.

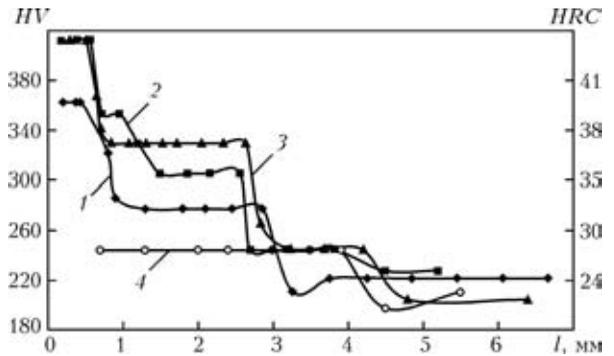


Рис. 2. Распределение твердости по сечению коррозионно-стойкого наплавленного металла сплава ХН65МВ с различным количеством проходов обкатки роликами: 1-3 — соответственно после одного, двух, трех проходов; 4 — состояние после сварки

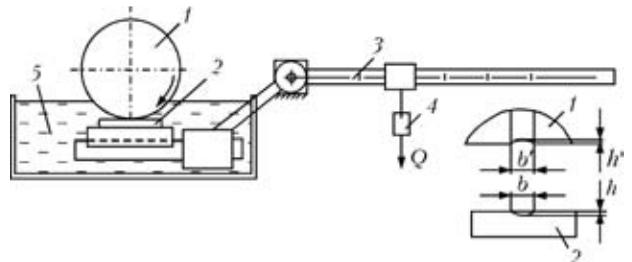


Рис. 3. Схема узла трения для проведения сравнительных триботехнических испытаний: 1 — образец цилиндрический с испытуемой наплавкой; 2 — образец контртела; 3 — рычаг; 4 — подвижный груз; 5 — ванна с синтетической морской водой

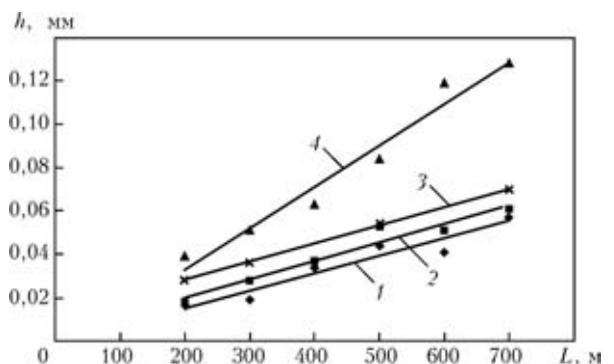


Рис. 4. Линейный износ наплавленного металла (1 — стеллит 6; 2 — ХН65МВ; 3 — бронза УТР34Н) и ОМ (12Х18Н10Т) при постоянной нагрузке $F_N = 100$ Н и фиксированном отрезке пройденного контртелом пути

Наплавленный слой типа ХН65МВ получали при ручной аргодуговой сварке неплавящимся электродом с присадочной проволокой ХН65МВ по подслою типа 07Х25Н13 с учетом требований нормативной технической документации [14, 15]. При этом определяли распределение α -фазы по сечению наплавленного металла (рис. 5), твердость (рис. 6) и оценивали микроструктуру наплавленного и прилегающих участков ОМ.

*В работе принимали участие Т. А. Чугай, А. А. Ломако, Б. Т. Кобзарь (ОАО «Сумское НПО им. М. В. Фрунзе»).

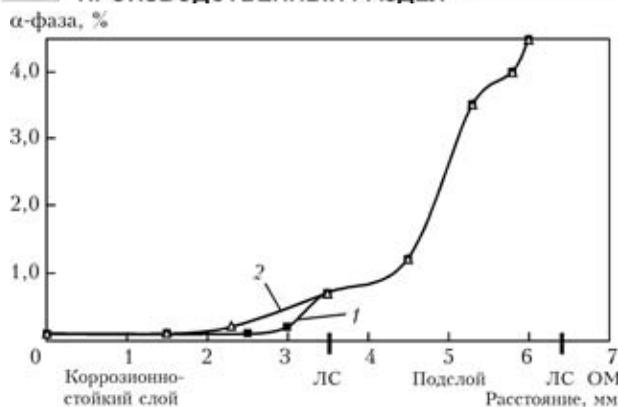


Рис. 5. Распределение α-фазы по сечению наплавленного металла: 1 — упрочненный образец; 2 — образец до упрочнения; ЛС — линия сплавления

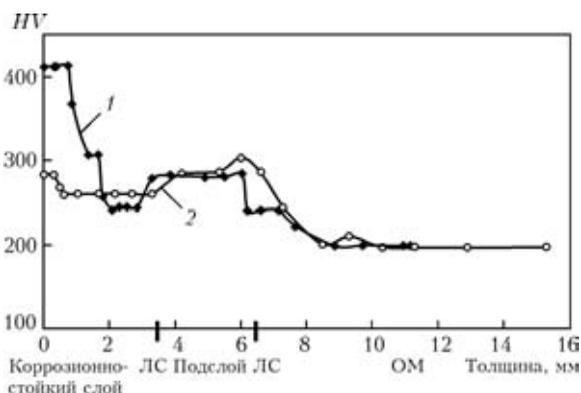


Рис. 6. Распределение твердости HV по толщине наплавленного слоя и ОМ: 1 — упрочненный образец; 2 — образец до упрочнения

Количество α-фазы снижается от 50 % в прослойке по линии сплавления подслоя с ОМ до 0,8...1,0 % в подслое на расстоянии 2,0...2,5 мм от линии сплавления с ОМ (рис. 5). В коррозионностойком слое (ХН65МВ) количество α-фазы изменяется от 0,1 % на поверхности коррозионностойкого наплавленного металла до 0,7 % на линии сплавления подслоя — коррозионностойкий слой. Максимальную твердость имеет прослойка наплавленного металла возле линии сплавления подслоя с ОМ HV 280...300 (рис. 6). Твердость ОМ снижается с HV 280 по линии сплавления с подслоем до HV 240...223 на расстоянии 0,6...1,8 мм от линии сплавления, при этом твердость ОМ вне ЗТВ составляет HV 197...200. Микротрещины по линии сплавления, а также в основном и наплавленном металле не обнаружены (рис. 7).

Таким образом, наплавленный металл ХН65МВ и способ его наплавки на сталь 40Х через промежуточный слой обеспечивают коррозионную защиту ОМ (сталь 40Х) без ухудшения его свойств.

В ходе сравнительных триботехнических испытаний пары трения углепластик ФУТ + коррозионностойкие материалы определяли износ контактной поверхности. Антифрикционные свойства углепластиков типа ФУТ исследованы достаточно де-

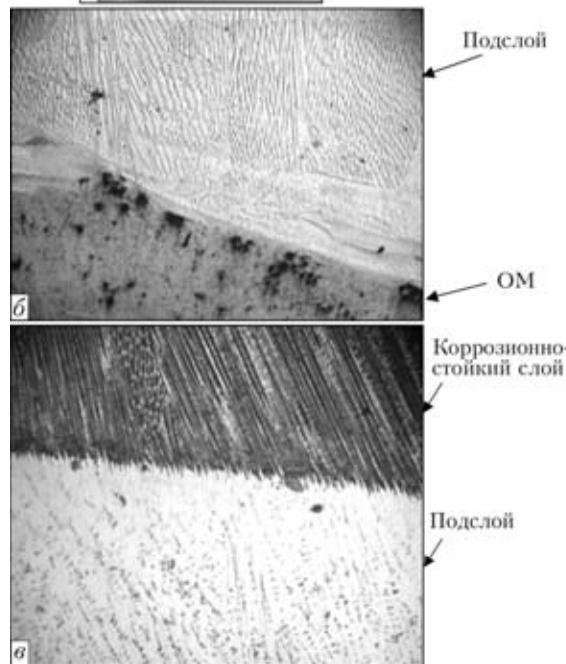
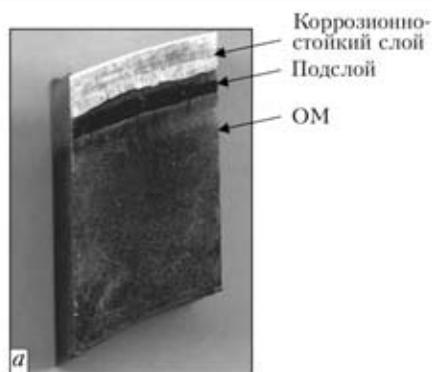


Рис. 7. Двухслойная наплавка ОМ из стали 40Х с подслоем из стали 07Х25Н13: а — внешний вид; б — линия сплавления подслоя с ОМ, X50; в — линия сплавления коррозионностойкого слоя ХН65МВ с подслоем 07Х25Н13 (б, в, X250)

тально [13, 16]. С учетом того, что в подшипниках насосов часто используются пары ФУТ + закаленная сталь, ФУТ + бронза и др. [16] провели проверку влияния природы материала, в том числе наплавленного металла типа ХН65МВ на износостойкость пары трения. Сравнительные испытания проводили по предыдущей методике при постоянной нагрузке 250 Н, скорости скольжения 1,0...1,1 м/с и шероховатости поверхности $R_a = 0,6...1,0$. Испытывали следующие пары трения: ХН65МВ+ФУТ; 12Х18Н10Т + ФУТ; БрА9Ж4Н4Мц1 + ФУТ; БрО10Ф1 + ФУТ; БрО10Ц2 + ФУТ.

Зависимость линейного износа контактной поверхности ФУТ (h_{max}) от отрезка пройденного пути представлена на рис. 8. Наибольшие значения h_{max} на фиксированном отрезке пройденного пути $L = 600$ м имеют пары трения ХН65МВ + ФУТ ($h_{max} = 0,2$ мм). Самые низкие — пары трения БрО10Ц2 + ФУТ ($h_{max} = 0,016$ мм). Износ контактной поверхности ФУТ в паре с наплавленным металлом ХН65МВ примерно в 10...12 раз больше

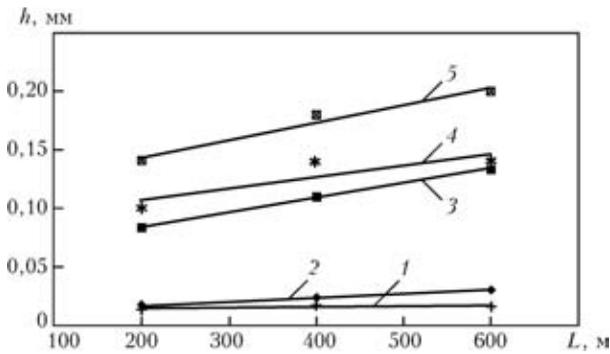


Рис. 8. Зависимость линейного износа контактной поверхности ФУТ от отрезка пройденного пути при постоянной нагрузке $F_N = 250$ Н: 1 — БрО10Ц2; 2 — БрО10Ф1; 3 — БрА9Ж4Н4Мц1; 4 — сталь 12Х18Н10Т; 5 — ХН65МВ (упрочненная)

износа контактной поверхности ФУТ в паре с БрО10Ц2.

Результаты проведенных исследований пар трения хорошо согласуются с данными работы [16] в той части, что природа металла оказывает существенное влияние на износостойкость углепластика ФУТ в паре трения. Поэтому коррозионно-стойкий наплавленный металл ХН65МВ для работы в паре трения с ФУТ следует применять, учитывая реальные условия работы этой пары.

Выводы

1. Наплавленный металл типа ХН65МВ, в том числе упрочненный обкаткой роликами, при эксплуатации в морской воде обеспечивает высокую общую коррозионную стойкость, стойкость против питтинговой коррозии поверхностей деталей насосов типа ВА. Кроме того, он может быть рекомендован для защиты от общей и ПК деталей и узлов, эксплуатирующихся в условиях коррозионно-механического износа.

3. По триботехническим параметрам упрочненный наплавленный металл типа ХН65МВ в паре с ФУТ уступает паре бронза + ФУТ и может быть рекомендован только с учетом реальных условий эксплуатации изделия.

The paper gives the results of comparative testing of anticorrosion deposits used for protection of power generation equipment operating in sea water. KhN65MV alloy (EP-567) has the highest pitting corrosion resistance in sea water. As to tribotechnical parameters, KhN65V alloy in contact with FUT coal-plastic is inferior to «FUT+bronze» pair. KhN65MV alloy can be recommended for protection from pitting and contact corrosion of low-load components operating under the conditions of absence of wear at their wetting by sea water.

Поступила в редакцию 25.12.2006

1. Ульянов Е. А. Коррозионно-стойкие стали и сплавы: Справ. изд. — М.: Металлургия, 1991.
2. Вороненко Б. И. Коррозионная стойкость современных аустенито-ферритных (дуплексных) нержавеющей сталей. Специальные типы коррозии. Обзор // Защита металлов. — 1995. — 31, № 2.
3. Коррозия: Справочник / Под ред. Л. Л. Шрайера. — М.: Металлургия, 1987.
4. Чендлер К. А. Коррозия сосудов и морских сооружений. — Л.: Судостроение, 1988.
5. Кравцов Т. Г., Кравцов В. Т. Новый наплавочный материал для восстановления и коррозионной защиты валов, работающих в условиях циклического нагружения // Сб. докл. III Междунар. конф. по сварочным материалам. — Днепропетровск, 2004.
6. Морская коррозия / Пер. с англ. под ред. Н. Н. Шумахера. — М.: Металлургия, 1983.
7. Коррозионно-электрохимическое поведение электродных пар углепластик-металл в коррозионных средах / Т. В. Чукаловская, А. И. Щербаков, Л. А. Чигиринская и др. // Защита металлов. — 1995. — 31, № 2.
8. Регистр СССР. Правила классификации постройки морских судов. — Л.: Транспорт, 1974. — Т. 2.
9. Материалы к краткосрочному семинару 29–30 сентября / Под ред. Ю. М. Белова, А. Е. Вайнермана. — Л.: — 1975.
10. Бабаев А. Н. Об условиях проведения усталостных и коррозионно-усталостных испытаний образцов и возможности распространения их результатов на реальные гребные валы с наплавкой // Материалы к краткосрочному семинару 29–30 сентября Под ред. Ю. М. Белова и А. Е. Вайнермана. — Л., 1975.
11. Хаев Г. Л., Стенько Д. А., Брусилковский Б. А. Опыт Новокраматорского завода (г.Краматорск) по обработке крупных деталей обкатыванием роликами // Сб. тр. ЦНИИТМАШ. — М.: Машгиз, 1959.
12. Полевой С. Н., Евдокимов В. Д. Упрочнение металлов: Справ. — М.: Машиностроение, 1986.
13. Точильников Д. Г., Гинзбург Б. М. Методика экспрессных триботехнических испытаний антифрикционных полимеров // Вопр. материаловедения. — 2002. — 31, № 3.
14. ОСТ 5.9573–84. Наплавка алюминиевых бронз, медноникелевого сплава и коррозионно-стойких сталей на судостроительные углеродистые и легированные стали. Типовой технологический процесс, правила приемки и методы контроля.
15. ОСТ 26-01-858–94. Сосуды и аппараты сварные из никеля и коррозионно-стойких сплавов на основе никеля. Общие технические требования.
16. Исследование влияния материала контртела на триботехнические показатели углепластиков при трении со смазыванием водой / А. В. Анисимов, В. Е. Бахерева и др. // Вопр. материаловедения. — 2002. — 31, № 3.



БЛОК СМЕЩЕНИЯ И ПИТАНИЯ КАТОДА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРОЧНОЙ ПУШКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВЕРТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Н. К. ЧАЙКА, инж. (ОАО «Selmi», г. Сумы)

Рассмотрен подход к использованию инверторных преобразователей для питания катода и формирования управляющего напряжения электронно-лучевых пушек с целью уменьшения габаритов блока смещения и питания катода. При этом обеспечивается нейтрализация отрицательного воздействия индуктивности рассеяния высокопотенциального трансформатора, увеличивающейся при введении изоляции между обмотками для обеспечения потенциальной развязки.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, электронная пушка, питание катода, напряжение смещения, инвертор, потенциальная развязка

Поскольку в электронно-лучевых сварочных установках катод пушки находится по отношению к корпусу установки под потенциалом, равным ускоряющему напряжению, то в цепях, обеспечивающих питание катода и напряжение смещения, необходимо предусмотреть потенциальную развязку. В энергокомплексах ЭЛА-15, ЭЛА-30, ЭЛА-60 потенциальная развязка осуществляется специальным высокопотенциальным развязывающим трансформатором, который работает на частоте 50 Гц [1]. При переходе на инверторный источник ускоряющего напряжения габариты блока смещения и питания катода сравнимы с размерами самого источника ускоряющего напряжения. В связи с этим возникла необходимость уменьшить размеры блока, для чего в цепях передачи энергии использовали переход на повышенную частоту. Однако при этом высоковольтная изоляция между обмотками высокочастотного высокопотенциального трансформатора отличается достаточно большим объемом по сравнению со значительно уменьшившимися объемами сердечника и обмоток. Увеличение относительного объема, занимаемого высоковольтной изоляцией между обмотками высокопотенциального развязывающего трансформатора, приводит к росту индуктивности рассеяния L_{S1} , L_{S2} соответственно первичной и вторичной обмоток. Причем, чем выше потенциал, на который рассчитан развязывающий высокопотенциальный трансформатор, тем больше объем, занимаемый изоляцией и больше индуктивность рассеяния, которая является для трансформатора паразитным параметром. Индуктивность рассеяния создает индуктивное сопротивление, включенное последовательно с нагруз-

кой (Т-образная схема замещения трансформатора [2]):

$$X_L = 2\pi FL_S \text{ [Ом]},$$

где F — частота, Гц; $L_S = L_{S1} + L_{S2}$ — суммарная индуктивность рассеяния, Гн; L_{S1} — индуктивность первичной обмотки, L_{S2} — вторичной, причем L_{S2} приведена к L_{S1} .

Из приведенного выражения следует, что, чем выше частота, на которой работает трансформатор, тем больше индуктивное сопротивление, последовательно включенное с нагрузкой, и меньше эффективность такой системы передачи энергии. Чтобы выйти из этой ситуации, решено использовать преобразователь постоянного напряжения в переменное с последовательным резонансным контуром на выходе, в котором индуктивность рассеяния будет играть роль индуктивности контура. При совпадении частоты преобразования с частотой контура ток последнего, согласно векторной диаграмме токов и напряжений, приведенной на рис. 1, будет составлять $I_R = U/R_n$ [3], где R_n — приведенное к первичной обмотке сопро-

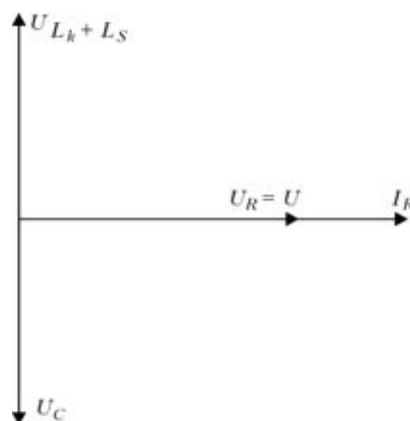


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений и токов контура при частоте, равной резонансной: U — напряжение генератора питающего контура; U_C — напряжение на емкости контура; U_R — напряжение на нагрузке, приведенной к первичной обмотке; L_k — внешняя индуктивность контура; $U_{L_k + L_S}$ — напряжение на суммарной индуктивности контура

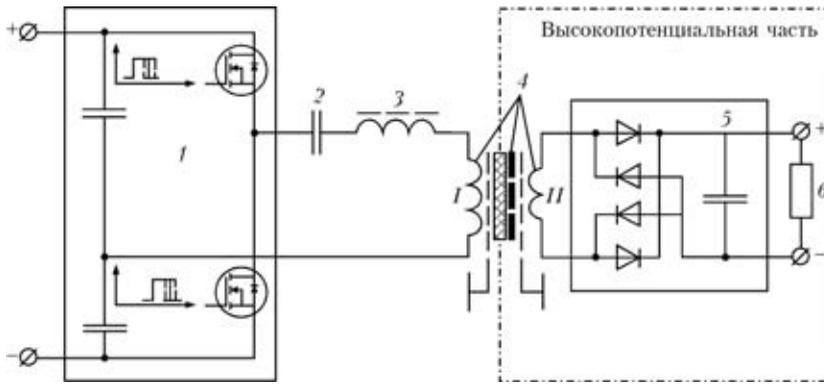


Рис. 2. Схема устройства передачи энергии с высокопотенциальной развязкой: 1 — ключевой инвертор; 2 — конденсатор; 3 — индуктивность; 4 — трансформатор с высокопотенциальной изоляцией между обмотками; 5 — выпрямитель с фильтром; 6 — нагрузка

тивление нагрузки, т. е. напряжение генератора полностью приложено к нагрузке.

Это решение защищено патентом Украины [4]. На рис. 2 представлена схема устройства для реализации этого решения, имеющая вид полумостового преобразователя с резонансной нагрузкой. Для управления выходным напряжением используется широтно-импульсная модуляция управляющих импульсов. В качестве широтно-импульсного модулятора можно применять микросхему КР1114ЕУ4 или ее аналог, а в качестве ключей — полевые транзисторы IRFP 460.

Трансформатор может иметь две и больше вторичных обмоток и два экрана, которые расположены на низкой и высокой стороне и предназначены для защиты элементов при пробоях в электронно-лучевой пушке. Экран, находящийся на высокой стороне, соединен с общей частью источника ускоряющего напряжения, которая в свою очередь соединена с катодом пушки. Ключевой инвертор имеет широтно-импульсное регулирование [5] для управления выходным напряжением. Частота преобразования ключевого инвертора равна резонансной частоте последовательного контура, образованного конденсатором 2, индуктивностью 3, а также индуктивностью рассеяния трансформатора 4. При достаточно высокой частоте преобразования можно обойтись без внешней индуктивности 3, используя в качестве индуктивности контура индуктивность рассеяния трансформатора.

На основе рассмотренного подхода передачи энергии с высокопотенциальной развязкой разработан блок смещения и питания катода, предназначенный для энергоблоков сварочных установок с инверторным источником ускоряющего напряжения. Блок включает три канала — питания накала, напряжения бомбардировки катода и напряжения смещения. Основным элементом в каждом канале является унифицированный по конструкции высокопотенциальный развязывающий трансформатор, имеющий различное количество витков во вторичных обмотках каналов.

Первичные обмотки трансформаторов находятся под низким потенциалом, а магнитопроводы

и вторичные обмотки — под высоким. Высокопотенциальная развязка обеспечивается за счет изоляции первичной обмотки с помощью капсулы из полиэтилена, имеющей форму цилиндра с осевым каналом для магнитопровода. Толщина полиэтилена выбрана исходя из значений рабочего и испытательного напряжений. Капсула состоит из верхней и нижней половинок, которые сочленяются между собой при помощи лабиринта для увеличения расстояния перекрытия по поверхности. От боковой поверхности нижней половинки капсулы на уровне ее основания отходит носик, по внутреннему каналу которого проходят выводы от первичной обмотки и экрана. Длина носика выбрана такой, чтобы трансформатор мог выдерживать испытательное напряжение (в данном случае 90 кВ). В качестве магнитопровода использован сердечник М2000 НМС-III-110А.

Внешний вид высокопотенциального развязывающего трансформатора представлен на рис. 3, а внешний вид блока смещения — на рис. 4. Габариты блока без выступающих носиков трансформаторов составляют 288×245×86 мм, аналогичный блок в энергокомплексе ЭЛА-6, выпускаемый ОАО «Selmi» (г. Сумы) и разработанный по традиционной схеме с высокопотенциальными развязывающими трансформаторами, работающими на частоте 50 Гц, имеет габариты 450×250×440 мм.

На рис. 5 приведены осциллограммы напряжения исток–сток верхнего ключа и тока контура, полуволны которого являются токами ключей,

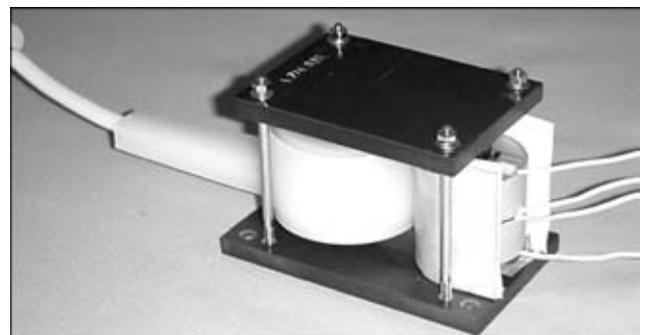


Рис. 3. Внешний вид высокопотенциального развязывающего трансформатора

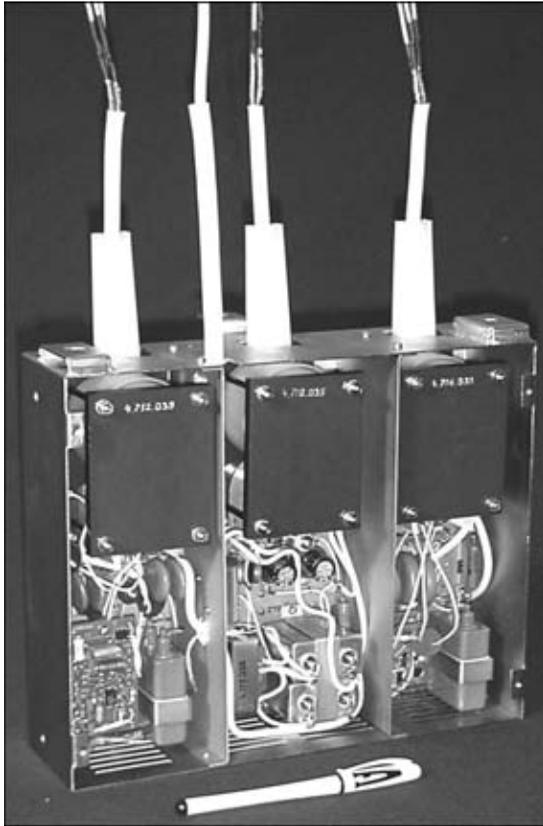


Рис. 4. Внешний вид блока смещения и питания катода со снятой передней крышкой

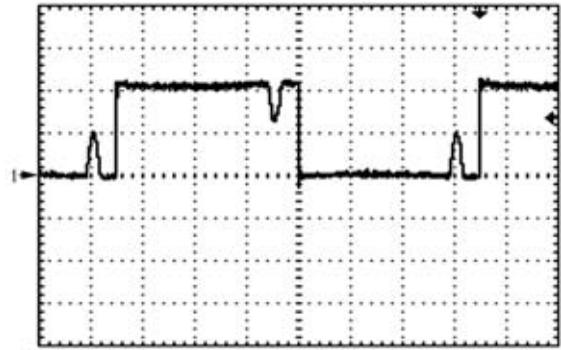
при максимальной длительности импульсов преобразователя канала бомбардировки как наиболее энергоемкого.

Преобразователь работает на частоте 16...20 кГц, и при постоянном токе и напряжении 200 В обеспечивает на нагрузке с сопротивлением 12 кОм ток 80 мА при напряжении 1000 В, что соответствует мощности 80 Вт.

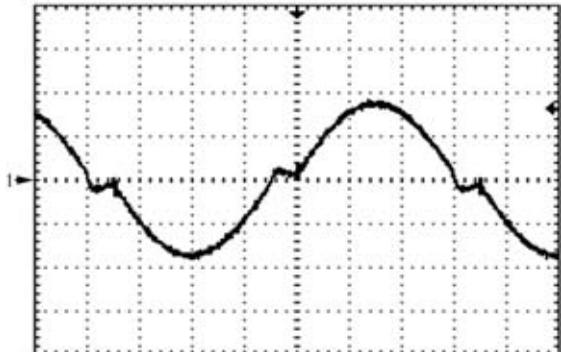
Блок испытан на макете энергоблока ЭЛА-6ВЧ и имеет следующие выходные параметры:

ток накала на нагрузке 0,5 Ом, А	10
напряжение смещения, кВ	5
ток бомбардировки при напряжении 1 кВ, мА	80
рабочий потенциал блока по отношению к корпусу энергоблока, кВ	60

Приведенные достигнутые результаты не являются предельными. При разработке источника бомбардировки разогрева вольфрамового катода



CH1 100V a M 10,0 μs



CH1 1,00V б M 10,0 μs

Рис. 5. Осциллограммы напряжения исток–сток верхнего ключа (а) и напряжения на измерительном резисторе $R_{изм} = 1 \text{ Ом}$ тока контура при максимальной длительности управляющего импульса (б)

на том же трансформаторе получена мощность более 150 Вт при КПД, равном 90 %.

Следует отметить, что устройства, выполненные по предложенной схеме, не подвержены коротким замыканиям в нагрузке, поскольку при этом ток ключей уменьшается.

1. А. с. 1494052 СССР, Н 01 F 27/28, 27/36. Разделительный трансформатор / Е. М. Варашин, М. Е. Тышук. — Оpubл. 15.07.80; Бюл. № 26.
2. Рычина Г. А. Электрорадиоэлементы. — М.: Сов. радио, 1976. — 336 с.
3. Доброневский О. В. Справочник по радиоэлектронике. — Киев: Вища шк., 1971. — 292 с.
4. Пат. 74594 UA, Н 02 M 3/28, Н 01 J 37/06, В 23 K 15/00. Пристрій перетворення енергії постійного струму на вході в енергію постійного струму на виході з високою потенціальною розвозкою / М. К. Чайка. — Оpubл. 16.01.2006; Бюл. № 1.
5. Костиков В. Г., Никитин И. Е. Источники электропитания высокого напряжения РЭА. — М.: Радио и связь, 1986. — 200 с.

The paper deals with the approach to application of inverter-type converters for powering the cathode and forming the control voltage of electron beam guns, to reduce the overall dimensions of the module of bias and power of the cathode. This enables neutralizing the negative impact of leakage inductance of high-potential transformer, which increases with introduction of insulation between the windings to ensure the potential decoupling.

Поступила в редакцию 24.11.2006



ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



М. Д. Рабкиной (ИЭС) защищена 17 мая 2007 г. докторская диссертация на тему «Влияние структурно-механической анизотропии стального проката на сопротивляемость слоистым разрушениям сварных конструкций».

Диссертация посвящена изучению закономерностей

возникновения и развития слоистых разрушений сварных соединений и разработке теоретических принципов и технологических мер их предупреждения на всех этапах создания и эксплуатации сварных конструкций с учетом текстуры основного металла и условий эксплуатации, включая температуру, нагрузку и воздействие водородсодержащих сред.

Экспериментально установлено, что слоистые растрескивания проявляются в двух видах: низко- и высокотемпературном. Первое характеризуется снижением вязкости разрушения на «нижнем шельфе» ее температурной зависимости и повышением температуры хрупко-вязкого перехода T_x . Второе — снижением вязкости разрушения на «верхнем шельфе» ее температурной зависимости без заметного изменения T_x . Основной причиной развития низкотемпературного слоистого растрескивания является преимущественное наличие в стальном прокате семейства кристаллографических плоскостей скола $\{001\} \langle 011 \rangle$, которое возникает при температуре окончания прокатки соответствующей ферритной области. Высокотемпературное слоистое растрескивание обусловлено текстурой неметаллических включений, возникающей в результате горячей прокатки. Оба вида растрескивания могут иметь слоисто-хрупкую и слоисто-вязкую составляющую, а также их комбинации. Изучены закономерности распределения дислокаций в процессе деформирования низколегированных сталей в зависимости от направления приложенной нагрузки. Хаотически распределенные дислокации локализуются в области неметаллических включений, вызывая их растрескивание или отслаивание от матрицы. Дислокации, расположенные в виде стенок, свидетельствуют о фрагментации структуры. Новые представления о причинах аварий сварных конструкций, обусловлен-

ных текстурой основного металла, позволили сформулировать требования к Z-сталям для узловых трубчатых соединений. Результаты исследований опытных партий стали на базе марки 09Г2С с различными значениями температуры конца прокатки положены в основу технических условий для ответственных сварных конструкций. Установлена зависимость между сопротивлением слоистому разрушению и структурными элементами ЗТВ в сварных соединениях низколегированных сталей. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана приближенная формула, позволяющая определять ширину участка перегрева в зависимости от скорости охлаждения $w_{6/5}$ в диапазоне $1...10$ °C/c; по результатам стандартных механических испытаний с учетом размеров структурных элементов получили развитие расчетные методы оценки характеристик трещиностойкости K_{Ic} и δ_{Ic} . Изучены закономерности возникновения и развития слоистого растрескивания оболочек конструкций нефтеперерабатывающего комплекса из-за диффузии водорода в зону упругопластического искажения кристаллической решетки. Оно возникает в обезуглероженных зонах в результате давления водорода и/или метана как на начальных стадиях зарождения, так и в зоне предразрушения перед фронтом магистральной трещины и представляет собой взаимодействие отдельных микротрещин и пор. Обезуглероживание конструкционных сталей сопровождается наследованием текстуры материала и протекает в отличие от существующих представлений при невысоких значениях температуры и давления паров углеродородов (менее 0,2 МПа). Следствием этого являются слоистые трещины, которые в зависимости от относительных размеров трещин h_j/r_i , вязкости разрушения K_{Ic} и толщины прослойки «здорового металла» могут либо развиваться, либо приобретать форму пузырей. При низких значениях вязкости разрушения металла ($K_{Ic} < 30$ МПа $\sqrt{м}$) имеет место рост слоисто-водородных трещин, которому способствует кристаллографическая ориентация $\{001\} \langle 011 \rangle$. На основании физико-механических исследований металла фрагментов демонтированных конструкций установлено, что остаточный ресурс конструкций после длительной эксплуатации в водородсодержащих средах определяется степенью поражения оболочки корпуса слоисто-водородными трещинами.



А. Е. Коротыньским (ИЭС) защищена 30 мая 2007 г. докторская диссертация на тему «Высокоэффективные источники для дуговой сварки на основе индуктивно-емкостных преобразователей».

Диссертация посвящена исследованию, разработке и внедрению в промышленное производство новых энергоэффективных сварочных источников, а также мобильных сварочно-технологических комплексов с улучшенными характеристиками по энергоэффективности, электромагнитной совместимости и массогабаритным параметрам. Показано, что использование индуктивно-емкостных преобразователей обеспечивает высокую энергоэффективность за счет повышенных КПД и коэффициента мощности, улучшает показатели ресурсосбережения (расход меди сокращается в 1,5...1,8 раза, а трансформаторной стали в 1,8...2,2 раза), дает самые высокие показатели электромагнитной совместимости, что обусловлено избирательными свойствами сварочного контура.

Проведены детальные теоретические и экспериментальные исследования резонансных процессов в сварочных индуктивно-емкостных преобразователях (СИЕГТ) при различных степенях расстройки контуров. Установлено, что в зависимости от способа сварки (ММА, ТИГ, МИГ/МАГ) выбирается необходимая степень расстройки, ко-

торая наилучшим образом обеспечивает стабильность горения дуги, а также другие сварочно-технологические свойства (формирование, разбрызгивание, дефектообразование и др.). Показано, что наиболее приемлемым методом повышения мощности СИЕП является переход к модульному принципу их построения. В этой связи разработаны методы когерентного анализа взаимодействия сварочных токов включенных модулей, а также предложены новые способы регулирования мощности при дуговой сварке.

Предложены и исследованы новые двухконтурные схемы резонансных источников, отличающиеся повышенной стабильностью горения сварочной дуги, позволяющие успешно осуществлять процесс сварки на переменном токе при использовании электродов с основным покрытием. Показано, что в СИЕП наиболее перспективным методом регулирования сварочного тока является дискретно-временной, при котором не нарушается заданная настройка резонансного контура. Для создания высокочастотных СИЕП в работе предложено использовать устройства с распределенными параметрами, в качестве которых выбраны искусственная длинная линия, замкнутая на конце, и квазииндукон.

По результатам этой работы в промышленное производство внедрено 15 типов новых источников, а также пять сварочно-технологических комплексов, выполненных на основе индуктивно-емкостных преобразователей.

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ индукционной пайки, включающий нагрев соединяемых припоем деталей с помощью индуктора до расплавления припоя, отличающийся тем, что соединяемые детали размещают на электропроводной подложке, которую одновременно с соединяемыми деталями нагревают с помощью индуктора, при этом обеспечивают преимущественный нагрев индукторов подложки. Патент РФ 2296037. Ю. М. Тихомиров, А. С. Дегтярев (ФГУП ЦКБ «Геофизика») [9].

Электронно-лучевая установка, отличающаяся тем, что в установку встроена пара Г-образных откатных патрубков с автономными откатными устройствами, анодный фланец пушки выполнен в виде цилиндрического стакана, установленного аксиально-асимметрично в корпусе лучевода, при этом стакан герметично соединен с цилиндрической стенкой, а на боковой поверхности стакана имеется отверстие, ортогонально сопряженное с первым Г-образным патрубком, а второй патрубок с откатным устройством ортогонально смонтирован в цилиндрическую стенку анодного фланца

пушки. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2296038. М. А. Завьялов, В. Ф. Мартынов, Н. С. Гусев и др. (ЗАО «НПЦ «ЭТ») [9].

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки, содержащий два зажима для проволоки, шток, ось которого расположена перпендикулярно оси прохождения проволоки, пропущенной через отверстие, выполненное в средней части штока, и устройство возвратно-поступательного перемещения штока в осевом направлении, выполненное в виде пружины сжатия, установленной на одном конце штока, а на другом расположен ролик, взаимодействующий с кулачком, имеющим привод вращения, отличающийся тем, что кулачок выполнен в виде диска и установлен под углом на валу привода, а привод смещен в горизонтальной плоскости относительно штока. Патент РФ 2296654. В. В. Седнев, О. Г. Брунов, А. В. Крюков, С. А. Солодский (Томский политехнический университет) [10].

Способ контактной стыковой сварки оплавлением стальных рельсов, включающий оплавление рельсов и осадку на заданный припуск, в процессе которой определяют усилие сдавливания, отличающийся тем, что в процессе осадки оп-

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетене РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2007 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



ределяют удельное усилие сдавливания как частное от деления усилия сдавливания на площадь поперечного сечения рельса, по которому судят о тепловложении в свариваемые рельсы при оплавлении, сравнивают вычисленное значение удельного усилия сдавливания с пороговым значением удельного усилия сдавливания, при равенстве вычисленного и порогового значений удельного усилия сдавливания цикл сварки завершают, а при превышении вычисленным значением удельного усилия сдавливания порогового значения определяют разность между вычисленным и пороговым значениями, которую используют в качестве количественного показателя электрической энергии, требуемой для дополнительного ввода в сварное соединение. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2296655. Д. И. Беляев, А. В. Бондарук, А. В. Гудков и др. [10].

Способ диффузионной сварки слоистых титановых тонкостенных конструкций криволинейного профиля, отличающийся тем, что внутреннюю обшивку слоистой конструкции размещают на оправке с азотированной опорной поверхностью и упрочняют наружную поверхность внутренней обшивки путем термодинамического контакта, при этом нагрев осуществляют со скоростью $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$, а при достижении $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ сварочное давление изменяют по зависимости $P = K_1 + K_2 \ln(T)$, где K_1, K_2 — эмпирические коэффициенты; $K_1 = -1,12 \dots -1,1$ МПа; $K_2 = 0,184$ МПа; T — температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$. Патент РФ 2296656. А. В. Пешков, В. Р. Петренко, В. В. Пешков, В. Ф. Селиванов (Воронежский ГТУ) [10].

Способ образования стыковых сварных швов на трубах при производстве трубных шпилек, отличающийся тем, что формируют два стыковых шва с последующей их горячей деформацией, для чего предварительно сопрягаемые концы труб раздают из цилиндра в цилиндр, при сборке посредством оправки между их торцами устанавливают промежуточный элемент из присадочного материала в виде втулки с кольцевой канавкой на внутренней поверхности с достижением контакта между сопрягаемыми торцовыми поверхностями концов калиброванных раздачей труб с торцовыми поверхностями втулки, сварные швы формируют путем сплавления материала труб с материалом промежуточного элемента, производят подогрев промежуточного элемента, затем осуществляют горячий радиальный обжим промежуточного элемента, концентрируют первоначально его деформацию во внутренних слоях по местоположению кольцевой канавки, сварных швов и околошовных зон на оправке, придают их внешнему диаметру размер, равный исходному внешнему диаметру труб. Патент РФ 2296657. С. И. Козий, Г. А. Батраев, С. С. Козий (ООО «Ремонтно-механический завод») [10].

Способ образования стыковых сварных швов на трубах при производстве трубных шпилек, отличающийся тем, что предварительно сопрягаемые концы труб калибруют раздачей в цилиндр, сборку труб осуществляют на оправке с использованием промежуточного элемента в виде кольца из плакирующего материала, которое располагают между торцами труб с обеспечением их контакта, последовательно формируют сварные швы сплавлением материала труб с плакирующим материалом кольца по его обеим сторонам, после чего стык труб подогревают и производят горячий обжим на оправке с плакированием поверхностей стыка труб пластическим течением плакирующего материала кольца относительно сварного шва и околошовных зон по схеме трехосного неравномерного сжатия приданием внешнему диаметру стыка труб их исходного внешнего диаметра. Патент РФ 2296658. С. И. Козий, Г. А. Батраев, С. С. Козий (То же) [10].

Способ пайки литого износостойкого инструментального сплава с конструкционной сталью, отличающийся тем, что

при сборке литой износостойкий инструментальный сплав располагают над конструкционной сталью и проводят нагрев в вакууме при остаточном давлении не ниже 10^{-5} мм рт.ст., при этом повышают температуру до температуры плавления меди, делают выдержку для равномерного прогрева собранной конструкции, в качестве припоя применяют медную фольгу толщиной $100 \dots 150$ мкм, а пайку осуществляют непосредственно в температурном интервале образования легкоплавкой эвтектики между припоем и литым износостойким инструментальным сплавом при температуре $1130 \dots 1170\text{ }^{\circ}\text{C}$ с изотермической выдержкой при температуре пайки в течение $5 \dots 10$ мин. Патент РФ 2297307. А. Г. Багинский, Ю. П. Егоров, А. Г. Мельников, О. М. Утьев (Томский политехнический университет) [11].

Устройство для индукционной пайки соединительной муфты и трубы волновода, содержащее охватывающий трубу волновода индуктор, выполненный в виде охлаждаемого токопровода, изогнутого по контуру сечения трубы волновода и помещенного в паз соосного магнитопровода, и подложку из черного металла с проходным окном для трубы волновода и соединительной муфты, при этом магнитопровод установлен таким образом, что его рабочая поверхность одновременно обращена к поверхностям соединительной муфты, трубы волновода и подложки из черного металла с обеспечением преимущественного нагрева индуктором подложки. Патент РФ 2297308. Ю. М. Тихомиров, А. С. Дегтерев (ФГУП ЦКБ «Геофизика») [11].

Способ сварки, включающий импульсную подачу сварочной проволоки и формирование сварочной ванны, отличающийся тем, что сварочную ванну формируют на жесткой вольтамперной характеристике (ВАХ), источника питания и возрастающей ВАХ дуги, а кристаллизацию металла ванны осуществляют на падающей ВАХ источника питания и жесткой ВАХ дуги. Патент РФ 2297309. Г. Г. Брунов [11].

Способ нанесения наплавки лучом лазера на детали из чугуна или стали, включающий предварительный нагрев детали до температуры $300 \dots 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, получение слоя наплавки путем подачи порошка на обрабатываемую поверхность и облучения ее лучом лазера в течение $0,005 \dots 2,0$ с, отличающийся тем, что перед нанесением слоя наплавки на поверхности детали формируют подслоя путем подачи на обрабатываемую поверхность металлического порошка из материала с твердостью менее $HRC\ 30$ и облучения ее лучом лазера, при получении слоя наплавки в качестве порошка используют смесь порошков материала с твердостью более $HRC\ 60$ и металлического материала с твердостью менее $HRC\ 30$ в соотношении (3-4):1 соответственно, облучение проводят лучом лазера с плотностью мощности излучения $10^4 \dots 10^6$ Вт/см таким образом, чтобы глубина проплавления подслоя составляла $0,3 \dots 0,7$ его толщины, при этом отношение толщины слоя наплавки к толщине подслоя выдерживают в пределах (1-3):1, затем осуществляют отпуск при температуре $300 \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в течение $1 \pm 0,2$ ч с последующим охлаждением на воздухе. Патент РФ 2297310. А. В. Баранов, В. О. Попов, Л. П. Розовская, И. П. Попова (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей») [11].

Состав покрытия для защиты поверхности свариваемого изделия от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением, содержащий лигносульфонат технический порошкообразный и фурацилин, отличающийся тем, что он дополнительно содержит глицерин при следующем содержании компонентов, г на 1 л воды: $80 \dots 100$ лигносульфоната технического порошкообразного; $1 \dots 3$ фурацилина; $90 \dots 110$ глицерина. Патент РФ 2297311. Д. П. Ильясенко, С. Б. Сапожков, Е. А. Зернин (Томский



политехнический университет) [11].

Способ пайки, отличающийся тем, что перед сборкой паяемую поверхность детали из стали полируют, а паяемую поверхность детали из медного сплава подвергают термовакуумному напылению марганцем, собирают детали с гарантированным зазором между паяемыми поверхностями, при этом в одну из соединенных между собой полостей помещают симметрично штуцеру технологические вкладыши, количество и размер которых выбирают в зависимости от зазора между паяемыми поверхностями при сборке. Патент РФ 2297905. В. И. Биркин, О. Г. Кудашов, И. А. Фролов (ФГУП «Воронежский механический завод») [12].

Способ соединения трубчатых деталей кузнечной сваркой, при котором размещают концы соединяемых трубчатых деталей на выбранном расстоянии друг от друга в пространстве, заполненном продувочной смесью текучих сред; нагревают конец каждой трубчатой детали посредством высокочастотного электрического нагрева, причем используют по меньшей мере три электрода, прижатых с разнесенными по окружности интервалами к стенке каждой трубчатой детали рядом с ее концом так, что электроды передают электрический ток высокой частоты, по существу, в окружном направлении через сегмент трубчатой детали между электрическими контактами; и перемещают концы трубчатых деталей по направлению друг к другу до формирования кузнечного сварного шва между нагретыми концами трубчатых деталей. Патент РФ 2297906. Р. Э. Олфорд, Э. Т. Коул, К. Димитриадис (Шелл Интернэшнл Рисерч Маапсхаппи Б. В., Нидерланды) [12].

Припой для пайки алюминиевых сплавов, отличающийся тем, что он дополнительно содержит церий при следующем содержании компонентов, мас. %: 4...12 кремния; 4,6...25 германия; 0,003...0,01 стронция; 0,05...0,15 церия; остальное алюминий. Патент РФ 2297907. В. Ю. Конкевич, В. В. Степанов, А. А. Сулов и др. (ОАО «Всероссийский институт легких сплавов») [12].

Способ сварки, отличающийся тем, что электронный луч направляют к лицевой плоскости свариваемых деталей под углом входа α , величину которого выбирают равной $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, пропускают ток вдоль стыка и дополнительно отклоняют луч снизу вверх так, что угол выхода электронного луча β относительно задней плоскости свариваемых деталей равен углу входа электронного луча α , причем точки входа и выхода электронного луча из свариваемых деталей располагают в одной горизонтальной плоскости. Патент РФ 2298465. В. К. Драгунов, Р. М. Голубчик, А. И. Самолетов, А. П. Слива (ГОУВПО «МЭИ» (ТУ)) [12].

Способ восстановления изношенных поверхностей стальных деталей, отличающийся тем, что предварительно осуществляют электродугую наплавку изношенной поверхности с учетом припуска на последующую механическую обработку, которую проводят с занижением номинального

размера детали, затем осуществляют дробеструйную активацию обработанной поверхности, а газопламенное напыление осуществляют самофлюсующимся порошковым сплавом с последующим оплавлением нанесенного покрытия путем нагрева детали до температуры 950...1050 °С, причем покрытие наносят с превышением номинального размера детали на величину усадки покрытия после полного охлаждения детали. Патент РФ 2299115. М. М. Берзин, А. Н. Пурехов, С. А. Бульканов и др. [14].

Устройство ультразвукового лужения изделий, отличающееся тем, что открытый корпус помещен во внешний корпус с образованием воздушного зазора между их стенками, опора выполнена в виде расположенных друг за другом на разных расстояниях от ванны двух параллельных пластин, выполненных с возможностью расположения на их торцах ультразвукового преобразователя и введения наклонно его инструмента в припой, причем пластины закреплены в зазоре между корпусами на параллельных стенках внешнего корпуса наклонно по отношению ко дну ванны. Патент РФ 2299792. А. А. Новик (ООО «Ультразвуковая техника-инлаб») [15].

Газосварочная горелка, отличающаяся тем, что смеситель размещен в головке и сопряжен с мундштуком, входное отверстие кислорода смесителя сообщено с его камерой смешения через калиброванное отверстие, отношение диаметра которого к диаметру входного отверстия камеры смешения и к диаметру отверстия выходного участка ступенчатого отверстия мундштука составляет 1:1,6...3:1,63...2,8, причем длина входного отверстия камеры смешения смесителя составляет 0,3...0,6 от полной длины камеры смешения, а выходное отверстие камеры смешения смесителя и участок ступенчатого отверстия мундштука, расположенный перед выходным участком, имеют форму конусов, обращенных друг к другу основаниями с углами при вершине соответственно равными 12 и 8...18°. Патент РФ 2299793. Г. Л. Хачатрян, Ю. Н. Родин, С. В. Соколов [15].

Устройство для электроконтактной приварки ферромагнитных порошков, отличающееся тем, что дозирующий бункер снабжен электромагнитным клапаном, обмотка которого параллельно подсоединена к вторичной обмотке сварочного трансформатора. Патент РФ 2299795. Р. Н. Сайфуллин, М. Н. Фарасхатов (Башкирский ГТУ) [15].

Состав сварочной проволоки для сварки и наплавки изделий из низколегированных конструкционных сталей, отличающийся тем, что он дополнительно содержит никель, титан и азот при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,06...0,12 углерода; 0,2...0,8 кремния; 0,9...1,6 марганца; 0,05...0,3 ванадия; 0,005...0,009 кальция; не более 0,025 серы; не более 0,030 фосфора; не более 0,25 никеля; не более 0,05 титана; не более 0,012 азота; остальное железо. Патент РФ 2299796. А. В. Сурков, В. А. Стародубцев, В. В. Яковлев и др. (ОАО «Уралмашзавод») [15].



По зарубежным журналам*

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2006. — № 9 (нем. яз.)

Hartmann G. F. Новые пропорции развития стран Азии, Восточной Европы и Южной Америки, с. 430–431.

Braun L. G. Успешное сотрудничество с зарубежными странами, с. 431–432.

Janssen A. Сварка трением с перемешиванием — перспективный способ, с. 433.

Rudow S., Reib K. Испытательный стенд для сварочных клещей, с. 434–436.

Сварка и резка на выставке «ЕВРОЛИСТ 2006», с. 439–446.

Janben-Timmen R. Сварка и резка 2005 — фаза консолидации, с. 447–459.

Stelling K., Lammers M., Schobbert H., Bollinghaus Th. Аттестация способа гибридной сварки Nd:YAG- и CO₂ — лазер + плазма с присадкой в виде порошка, с. 460–465.

Nitschker-Pagel Th., Dilger K. Внутренние напряжения в сварочных соединениях, Ч. 1. Причины возникновения внутренних напряжений при сварке (посвящается Гельмуту Вольфарту в честь его 70-летия), с. 466–479.

Haberstroh E., Hoffmann W.-M. Технологические аспекты лазерной сварки пластмасс, с. 480–487.

Weinreich M. Направления развития техники пайки. 5-й форум Общества ПАЙКА в рамках DVS, Дюссельдорф, май 2006 г., с. 488–496.

Fecht N. Лазер — неотъемлемая часть современного производства 6-й коллоквиум по лазерной технике в Аахене, май 2006 г., с. 496–497.

Работа службы информации — Обзор литературы «Сварка и родственные технологии», с. 498–502.

Свариваемость высокопрочных мелкозернистых сталей
Вибрационная порочность алюминиевых узлов, соединенных сваркой трением с перемешиванием

Применение Nd:YAG-лазера со свободным формированием импульсов для сварки титановых материалов

Влияние углерода на высокотемпературное окисление сварной конструкции из IN625

Соединение гибридных композитных материалов с помощью адаптивных систем рабочих головок

Разработка новых оптимальных РТА-присадок (полученных плазменной наплавкой переходящей дугой) для упрочнения перемычек шнеков экструдеров и литейных машин

Расчет вибрационной прочности сварных точек автомобильной промышленности

Управление вибрационной прочностью серийных узлов

Оценка соотношения прочности и допусков повреждения сваренных лазером корпусов

Методы расчета клееных соединений
Заявка AiF «Прочность соединенных деталей»

Применение металлических сэндвич-структур в судостроении

Прогноз долговечности конструкций с помощью мониторинга

О риске в ходе проектирования, изготовления и эксплуатации сварных соединений

TWI CONNECT (Англия) 2006. — № 143 (July/August) (англ. яз.)

Небольшие соединения с большим различием, с. 1.

Комфорт в холодных условиях — обоснования для швов, работающих в криогенных условиях, с. 3.

Сварочные материалы. Ч. 2, с. 4–5.

Металлическое покрытие на композиционный материал для решения проблемы изоляции, с. 8.

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



WELDING INTERNATIONAL (Англия) 2005. — Vol. 19, № 1 (англ. яз.)

Brozda J.-P. Новое поколение сталей, стойких к ползучести, их свариваемость и свойства сварных соединений сталь Т/P92, с. 5–13.

Komai N. Свойства сварных изделий из высокопрочных ферритных теплоустойчивых сталей, с. 14–18.

Tsujino R. et al. Статистический анализ оптимальных режимов сварки трением соединений из алюминиевых сплавов, с. 19–22.

Asahina T. Свариваемость магниевых сплавов с помощью импульсного ИАГ-лазера, с. 23–28.

Lukoč A., Nowacki J. Превращения в ЗТВ при сварке duplexных сталей, с. 29–36.

Jeong B. et al. Разработка гипермежфазного соединения сверхмелкозернистых сталей, с. 37–44.

Berbasova N. Yu. et al. Система информационных параметров для качественной оценки сварочного производства, с. 45–51.

Karkhin V. A. Распределение температуры и падения напряжения при вылете расходуемого электрода в процессе сварки постоянным и импульсным током, с. 52–61.

Redchits A. V. et al. Повышение энергетического КПД при плазменной сварке, с. 62–64.

Vinogradov B. A. et al. Определение типичных термических зон при лазерной пайке металла с керамикой, с. 65–67.

Markashova L. I. et al. Зависимости, регулирующие пластическую деформацию при сварке давлением разнородных материалов, с. 68–72.

Dzendubaev A.-Z. R. Асинхронный сварочный генератор с конденсаторным самовозбуждением, с. 73–74.

Lebedev V. A. et al. Регулятор сварочного источника питания, с. 75–77.

Sivtsev M. N., Savvinov I. T. Стойкость сварных тавровых соединений к образованию холодных трещин при низких температурах, с. 78–80.

WELDING INTERATIOAL (Англия) 2005. — Vol. 19, № 2 (англ. яз.)

Tong H. et al. Высокоскоростная сварка тонколистового алюминиевого сплава с помощью гибридного процесса лазерной/импульсной МИГ сварки на постоянном токе, с. 89–99.

Hirata H., Ogawa K. Зависимость между потерей стойкости к разрушению вследствие ползучести и микроструктурой в зоне термического влияния жаропрочной ферритной стали, с. 109–117.

Hirata H., Ogawa K. Влияние содержания хрома на потерю стойкости к разрушению вследствие ползучести в зоне термического влияния жаропрочной ферритной стали, с. 118–124.

Cabibbo M. et al. Механические и микроструктурные характеристики титан-алюминиевых соединений, выполненных лазерной сваркой, с. 125–129.

Wiesner S. et al. Сварка МИГ и лазерная сварка деталей отливок с деформируемыми профилями из алюминиевого сплава, полученных литьем под давлением, с. 130–133.

Sorokin L. I. Свариваемость никелевых сплавов, стойких к ползучести, с. 134–137.

Murav'ev V. I., Matvienko D. V. Обеспечение допустимой нагрузки сварных титановых конструкций, с. 138–144.

Korotynski A. E. et al. Функциональная надежность сварочного оборудования, с. 145–147.

Bulkov A. B. et al. Оптимизация микроструктуры присадочного материала для диффузионной сварки тонкостенных слоистых конструкций, с. 148–151.

Luchkin R. S., Perevezentsev B. N. Деформация композиционного твердого припоя POS 61 в условиях постоянного нагружения, с. 152–155.

Puzryakov A. F. Регулировка остаточных напряжений в плазменных покрытиях, с. 156–159.

Genkin A. F. Сварка и термообработка соединений железнодорожных рельсов на индукционном оборудовании, с. 160–164.

ZAVARIVAJE (Хорватия) 2006. — Vol. 49, № 1/2 (хорват. яз.)

Danzer W. et al. Оптимальный выбор защитного газа для механизированных процессов сварки, с. 5–9.

Besker M. Конструкция ног самоподъемного плавучего основания платформы «Labin», с. 19–21.

ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия) 2006. — Roc. 55, № 5 (словац. яз.)

Pilous P. Сварка мелкозернистых сталей, подверженных стабилизации, термомеханической обработке, закалке и отпуску, с. 131–136.

Bartos M. Точность и контроль изготовления стальных конструкций для линий передач, с. 137–143.

Hudak J. Технично-экономическое сравнение резки материалов плазмой или лазером, с. 144–147.

ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия) 2006. — Roc. 55, № 6–7 (словац. яз.)

Linhart V. et al. О влиянии дефектов в кольцевых швах газопроводов, с. 159–166.

Juhas P. Отклонения геометрических размеров сечений сварных стальных стержней, с. 173–182.

Sejc P. Свойства соединений, паяных твердым припоем способом МИГ, из оцинкованных листов двухфазных высокопрочных сталей, с. 173–182.

Janota M. Относительная доля методов сварки в производстве автомобилей, с. 183–185.

Roubicek M. Оптимизация резки CO₂-лазером с помощью линз BifocalT, с. 186–189.

ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия) 2006. — Roc. 55, № 8 (словац. яз.)

Juhas P. Геометрические отклонения формы сечений сварных стальных стержней, с. 209–216.

Wolters H., Aberg P. Система QSetT — переворот в сварочной технологии в области источников питания для сварки МИГ/МАГ, с. 217–218.



Maksin M., Soltys P. Модули точного кругового позиционирования компании SPINEA Ltd., с. 219–220.

Vrbensky J., Turan J. Ремонтная сварка компонентов сосудов давления без последующей термообработки. За-

ключительная часть. Роль сварных образцов для аттестации работы сварщиков, с. 222–224.

ПЕРЕВОДЫ

Проектирование и строительство плавучих мегаконструкций (ПМК): Ч. 1: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 5 с. // Пер. ст. Окамура Х. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 69, № 4. — P. 44–67.

Проектирование и строительство плавучих мегаконструкций (ПМК): Ч. 2: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 11 с. // Пер. ст. Сато Т. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 69, № 4. — P. 44–67.

Проектирование и строительство плавучих мегаконструкций (ПМК). Ч. 3: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 15 с. // Пер. ст. Каваи М. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 69, № 4. — P. 44–67.

Проектирование и строительство плавучих мегаконструкций (ПМК): Ч. 4: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 7 с. // Пер. ст. Ямасита Я. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 69, № 4. — P. 44–67.

Проектирование и строительство плавучих мегаконструкций (ПМК). Ч. 5: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 14 с. // Пер. ст. Ямада М. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 69, № 4. — P. 44–67.

Разработка лазеров и применение лазерной обработки в Западной Европе: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 4 с. // Пер. ст. Ямаока Х. из журн. «Welding Technology». — 2000. — № 11. — P. 97–101.

Разработка способа гиперсоединения по поверхности раздела сверхмелкозернистой стали. (Сварка давлением с мгновенным оплавлением лицевой поверхности: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 6 с. // Пер. ст. Нисимото К., Саида К., Джеонг В. из журн. «Quarterly Journ. of the Jap. Welding Society». — 2003. — Vol. 21, № 1. — P. 172–178.

Результаты испытаний на вспучивание двух больших резервуаров: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 7 с. // Пер. ст. Хорнунг У. из журн. «Stahlbau». — 1998. — № 6. — P. 408–413.

Релаксация остаточных сварочных напряжений под знакопеременной и повторной усталостной нагрузкой: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 11 с. // Пер. ст. Таканаси М., Иида К. из журн. «Quarterly Journ. of the Jap. Welding Society». — 2001. — Vol. 19, № 1. — P. 129–139.

Релаксация концентрации напряжений по границе наружной поверхности шва путем обработки на пластификацию сварных соединений никелевых суперсплавов: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 8 с. // Пер. ст. Минами Ф.,

Такахара В. и др. из журн. «Quarterly Journ. of the Jap. Welding Society». — 2001. — Vol. 19, № 1. — P. 140–147.

Ремонт инструмента путем восстановления материала: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 6 с. // Пер. ст. Фольрат К. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2000. — Vol. 52, № 9. — S. 350–354.

Сварка полых конструкций из высокотемпературных материалов: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 6 с. // Пер. ст. Дилтай У., Озе П., Пионтек Д. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2004. — Vol. 56, № 1. — S. 11–15.

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

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

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

Сварка трением с перемешиванием алюминиевого сплава и ее применение для изготовления конструкций: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 6 с. // Пер. ст. Окамура Х., Аота К. и др. из журн. «Journ. Inst. of Light Metal». — 2000. — Vol. 50, № 4. — P. 166–172.

Система адаптивного управления для контроля изменения зазора между свариваемыми кромками при роботизированной сварке в узкий зазор: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 14 с. // Пер. ст. Шариф Л. Г., Ямане С., Сугимото Т. и др. из журн. «Welding International». — 2003. — № 8. — P. 605–614.

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

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

Международная конференция «Ti – 2007 в СНГ»

15–18 апреля 2007 г. в Ялте (Крым, Украина) состоялась традиционная ежегодная международная конференция «Титан в СНГ», организованная Межгосударственной ассоциацией «Титан». В конференции приняли участие более 250 специалистов из Украины, России, Таджикистана, США, Германии, Италии, Японии, Китая, Люксембурга, Южной Кореи и других стран. На конференции выступили с докладами ученые и специалисты в области титана из ведущих научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий Украины, России и других стран: Государственного научно-исследовательского и проектного института титана, Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Института металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины, Института геологических наук НАН Украины, Донецкого национального технического университета, Запорожской государственной инженерной академии, КП «Запорожский титаномагнийевый комбинат», АНТК им. О.К. Антонова, ОАО «Всероссийский институт легких сплавов», ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов», ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», Московского авиационного института «МАТИ» — РГТУ им. К. Э. Циолковского, Уральского государственного технического университета «УПИ», Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, ОАО «РИТМ», ФГУП «Гиредмет», МИСиС — Технологический университет, ФГУП ВНИИИМ им. А. А. Бочвара, ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА», ОАО «ОКБ Сухого», РКК «Энергия», ОАО «Чепецкий механический завод» и др. Всего представлено более 90 докладов.

Представители КП «Запорожский титаномагнийевый комбинат» подробно осветили основные направления по совершенствованию технологии производства губчатого титана в Украине и дальнейшему развитию завода. Следует отметить, что в 2007 г. на КП «ЗТМК» приступили к строительству металлургического цеха по выпуску слитков и слябов способом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью и изучается возможность создания прокатного цеха для получения титанового листа.

Вопросам совершенствования технологии производства и повышения качества губчатого титана и титановых слитков на конференции уделено большое внимание. Кроме КП «ЗТМК», этой теме посвятили свои доклады специалисты ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА», ГНИИПИ титана, ИЭС им. Е. О. Патона, ОАО «ВИЛС» и др. По мнению



участников конференции, основным процессом получения титана на ближайшие десятилетия останется процесс магнийтермического восстановления хлорида титана, а в производстве титановых слитков, наряду с технологией вакуумно-дугового переплава, все большую роль будет играть технология электронно-лучевой плавки. Следует также отметить, что продолжают активные исследования по применению в металлургии титана технологий электрошлакового и плазменно-дугового переплава.

От ИЭС им. Е. О. Патона представлены доклады, посвященные исследованию качества металла электронно-лучевого и дугошлакового переплава титана, компактированию титановой стружки, сопротивлению динамическим нагрузкам нового отечественного титанового сплава Т110, а также усовершенствованию технологий сварки титана и сплавов на его основе за счет применения активирующих флюсов и наложения на дугу поперечного магнитного поля. Представленные сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона доклады вызвали большой интерес участников конференции.

Значительное внимание на конференции уделяли вопросам применения титана в авиа- и судостроении, энергетическом машиностроении, производстве изделий медицинского назначения (эндопротезы, импланты, инструмент и др.), а также производству титановых полуфабрикатов (лист, поковки, прутки, трубы).

Проблему изготовления полуфабрикатов из титановых сплавов с улучшенными физико-механическими свойствами в настоящее время решают как путем создания новых титановых сплавов, в частности на основе системы Ti–Si, так и в результате разработки эффективных способов и режимов термомеханической деформации для уже существующих сплавов.



Большое количество докладов было посвящено вопросам повышения эксплуатационных характеристик изделий из титановых сплавов благодаря различным видам поверхностной обработки (нанесение покрытий, азотирование, оксидирование и др.).

Рынок титана в последние годы характеризовался значительным ростом объемов производства губчатого титана и изделий из него. Если в 2005 г. в мире произвели 112,9 тыс. т, в 2006 г. — 136,4 тыс. т, то в 2007 г. ожидаемый объем производства составит 155,0 тыс. т губчатого титана. При этом наиболее резкое увеличение объемов производства губчатого титана зафиксировано в Китае: 5,0 тыс. т в 2004 г., 9,5 тыс. т в 2005 г., 18,0 тыс. т в 2006 г. и 28,0 тыс. т в 2007 г. Доля Китая в общемировом производстве губчатого титана увеличилась с 6,0 в 2004 г. до 13,2 % в 2006 г., в 2007 г. ожидается рост до 18 %. Согласно собственным производственным планам, китайские предприятия планируют произвести 85,0 тыс. т в 2010 г. и 105,0 тыс. т губчатого титана в 2012 г. Объемы потребления титана в промышленности Китая также увеличиваются, но не такими темпами, как производство губчатого ти-

тана и слитков титановых сплавов. Так, потребление проката в Китае в 2005–2007 гг. увеличилось с 10 до 15 тыс. т. Таким образом, китайская промышленность практически полностью обеспечила собственные потребности в титане и, уже начиная со второй половины 2006 г., начала активно выходить на мировой рынок с предложениями поставок больших партий титана. В связи со значительным ростом предложений цены на губчатый титан остановили свой рост и начали снижаться. По прогнозам некоторых участников конференции, они могут упасть до своего экономически обусловленного уровня — 6...7 дол. США за килограмм, что открывает хорошие перспективы для увеличения объемов использования титана в различных гражданских отраслях промышленности.

В заключение хотелось бы отметить высокий уровень проведения конференции и выразить благодарность ее организаторам в лице ЗАО «Межгосударственная ассоциация «Титан» и ее председателя А. В. Александрова.

С. В. Ахонин, д-р техн. наук

УДК 621.791.009(100)

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ. СВАРКА 2007 (технический семинар в г. Каховка)

16 мая 2007 г. на ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования» (КЗЭСО) состоялся традиционный 5-й семинар «Железнодорожный транспорт. Сварка 2007». В нем приняли участие около 30 ведущих специалистов, представляющих вагоностроительные, вагоноремонтные, стрелочные, электровагоно- и мотовозоремонтные, машиностроительные заводы Украины (г. Днепропетровск, Запорожье, Керч, Кременчуг, Кривой Рог, Стаханов, Николаев), России (г. Новоалтайск, Брянск, Истье, Новосибирск, Пермь, Рославль, Тверь, Торжок), Приднестровской Молдавской Республики (г. Тирасполь), Грузии (г. Тбилиси). В семинаре также приняли участие представители Общества сварщиков Украины, «Международной ассоциации «Сварка», журналов «Автоматическая сварка», «Сварщик», а также руководители и главные специалисты основных служб КЗЭСО.

Для нынешнего семинара характерно расширение географии учас-

тников, участие большого количества молодых специалистов, возможность общения с коллегами по поводу перспектив совершенствования технологических процессов производства, а также использования на производстве современных достижений науки.

Открыл семинар председатель правления, генеральный директор КЗЭСО Я. И. Микитин, который кратко остановился на истории предприятия. Он отметил роль Б. Е. Патона в определении в конце





1950-х годов профиля деятельности предприятия — выпуске электросварочного оборудования, осветил лидирующие позиции предприятия по выпуску ряда уникальных образцов оборудования (на 15...20 лет опережающие достижения в мире). В настоящее время численность работников завода составляет около 2400 чел. и практически не изменяется уже многие годы. Объемы производства возросли по сравнению с советским периодом в 2,5 раза. Причем в ближайший период (1-2 года) объемы производства могут возрасти еще в 2 раза за счет освоения производства заводом новой продукции — серии путейных машин.

Я. И. Микитин высоко оценил роль тесного и эффективного сотрудничества предприятия с наукой. Именно сотрудничество КЗЭСО с ИЭС им. Е. О. Патона позволило в 1990-е годы «не развалиться» предприятию, а напротив — найти экономические пути укрепления сотрудничества.

КЗЭСО видит залог успешного развития предприятия в содружестве передовой науки, современного производства и надежных финансов. КЗЭСО и впредь намерено опережать конкурентов на рынке электросварочного оборудования. Осваиваемые в настоящее время на второй производственной площадке путейные машины не имеют аналогов в Украине, а снегоуборочные — в мире. Это же можно сказать и о контактных машинах для сварки крестовин.

С 2006 г. производство КЗЭСО сертифицировано по ИСО 9000. Ежегодно предприятие проходит аудит. В основных отделах завода сосредоточены профессиональные работники. Так, в отделе главного конструктора трудится 74 чел., а главного технолога — свыше 80 чел.

Сегодня КЗЭСО выпускает сварочную технику свыше 100 наименований, включающую трансформаторы, выпрямители, специальные источники, полуавтоматы, машины для контактной шовной сварки, автоматы для электрошлаковой сварки, машины для контактной стыковой и точечной сварки. Получил развитие «отраслевой» принцип проектирования и изготовления оборудования, например, для применения в автомобильной промышленности, для работы в особых условиях. Осваивается производ-

ство линий и машин для изготовления сеток, пользующихся большим спросом в строительных организациях. КЗЭСО по выпуску передвижных комплексов для сварки рельсов лидирует на мировом рынке (99,9 % используемых комплексов изготовлены КЗЭСО), объем применяемых стационарных машин КЗЭСО для сварки рельсов составляет 60 % всего используемого парка таких машин в мире.

Актуальной в ближайший период является проблема замены устаревших труб магистральных трубопроводов и строительство новых магистралей. Ставка делается на использование труб с толщиной стенки 32 мм, что позволит обеспечить их высокий ресурс эксплуатации. Для решения этой проблемы необходима новая сварочная техника, которая удовлетворяла бы более высоким требованиям к сварным соединениям. РАО «Газпром» уже заключил с КЗЭСО договор на поставку новых машин. Среди осваиваемых предприятием образцов новой техники также мобильные машины для сварки железнодорожных крестовин (они также будут опережать соответствующие зарубежные разработки на 15...20 лет).

Я. И. Микитин осветил и социальную сторону в жизни предприятия. КЗЭСО имеет санаторный профилакторий (70 чел./мес), 2 базы отдыха, пансионат. Работающие пользуются дотируемой заводской столовой. За последние 15 лет КЗЭСО оплатил учебу в высших учебных заведениях свыше 400 работникам, которые с успехом трудятся на заводе.

Затем на семинаре выступили представители заводов. Главный сварщик ПО «Машзоря-Проект» Ю. В. Бутенко дал высокую оценку полуавтоматам КЗЭСО КИУ-401 (источник ВС-300Б), которые в количестве 25...30 шт. используются на предприятии несколько лет. Отметил необходимость налаживания выпуска установок для аргодуговой сварки, удовлетворяющих условиям производства судостроительных заводов.



Зав. отделом ИЭС им. Е. О. Патона В. М. Илюшенко рассказал о положительном опыте «обкатки» в ИЭС новых образцов полуавтоматов КЗЭСО, что позволяет в короткие сроки обеспечивать их доводку до потребительского уровня. Вместе с тем была отмечена необходимость освоения производства инверторных источников, оборудования для автоматизации процессов сварки под флюсом, двухэлектродного процесса сварки в защитных газах (Time Twin), гибридных процессов. В ИЭС им. Е. О. Патона есть наработки по технологии полуавтоматической сварки в различных пространственных положениях для ремонтных работ, что может быть учтено в конструкциях полуавтоматов КЗЭСО. В ИЭС также разработан перспективный состав материала для электродов точечных контактных машин.

Представитель ООО «Трансмаш», а также другие представители заводов дали высокую оценку оборудованию КЗЭСО для дуговой сварки и высказали

пожелания относительно приобретения различных типов полуавтоматов и источников питания.

Участники семинара были приглашены на выставочную площадку в цех, где главный инженер КЗЭСО В. И. Окул подробно рассказал о достоинствах экспонируемого оборудования для дуговой и контактной сварки, а также представил на рекламных модулях образцы многоточечных контактных машин и путевой техники и ответил на многочисленные вопросы участников семинара.

В завершение работы семинара главным инструктор С. В. Дух детально рассказал о принципах, заложенных в конструирование оборудования, а также технологиях, особенностях производства, выборе комплектующих изделий, в том числе систем управления.

Следует особо отметить, что представленная директором и ведущими специалистами завода информация впечатляет. КЗЭСО уверенно набирает обороты, расширяет производство и номенклатуру выпускаемого оборудования и машин, уделяя первостепенное внимание подготовке и воспитанию кадров, вопросам сертификации производства по европейским требованиям, укреплению социальной защиты своих работников.

Участники семинара высказали слова благодарности представителям КЗЭСО за отлично организованную работу семинара, постоянное совершенствование выпускаемого оборудования, расширение его номенклатуры, стремление предопределить запрос рынка.

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

М. Л. ЖАДКЕВИЧУ — 70

12 июля исполнилось 70 лет известному специалисту в области материаловедения, технологии металлов и специальной электрометаллургии, заместителю директора Института электросварки им. Е. О. Патона, члену-корреспонденту НАН Украины, доктору технических наук Михаилу Львовичу Жадкевичу.

Проблемами технологии металлов он начал заниматься в 1955 г. на Куйбышевском металлургическом заводе, куда был направлен после окончания техникума. Там он прошел путь от прессовщика до начальника крупнейшего в стране прессового цеха, затем закончил Всесоюзный заочный политехнический институт и стал одним из ведущих специалистов в области материаловедения и обработки металлов давлением. Под руководством М. Л. Жадкевича было налажено производство заготовок и узлов из высокопрочных алюминиевых и других сплавов для машино-, судо-, авиа-, ракетостроения.



В 1977 г. М. Л. Жадкевича перевели на работу в Киевский зональный НИИ типового и экспериментального проектирования жилых и обществен-

ных зданий, где он возглавил отделение экспериментальных алюминиевых сооружений, разработал технологии производства алюминиевых изделий. Под его руководством освоены технологии по пресованию и изготовлению типовых и уникальных конструкций и пущены заводы строительных алюминиевых конструкций в Броварах, Воронеже, Хабаровске и Кишиневе.

С 1984 г. М. Л. Жадкевич работает в ИЭС им. Е. О. Патона, с 1985 г. в должности директора Опытного завода специальной электрометаллургии. В непростых условиях перестройки экономики страны он сумел обеспечить успешную работу завода по созданию нового поколения оборудования и технологий электрошлакового литья заготовок для тяжелого и энергетического машиностроения, электронно-лучевой сварки крупногабаритных узлов ракет из сверхпрочных алюминиевых сплавов, упрочняющего и ремонтного напыления лопаток газотурбоагрегатов и других деталей и узлов энергетики, судостроения и оборонной промышленности, решая организационные и научные проблемы.

С 1993 г. М. Л. Жадкевич работает заместителем директора ИЭС им. Е. О. Патона по научной работе и заведующим отделом «Новые физико-технические способы сварки и специальной электрометаллургии». Им впервые разработаны новые многокомпонентные сплавы на основе кобальта и никеля для упрочняющих и ремонтных технологий; разработаны научные основы моделирования сложных процессов электрометаллургии, получения нанокристаллических и других материалов с высокими эксплуатационными качествами.

Теоретические и экспериментальные исследования М. Л. Жадкевича, выполненные на высоком на-

учном уровне, представляют интерес для специалистов, работающих над проблемами развития сварки и родственных технологий. Он подготовил 4 доктора наук и 3 кандидата наук, руководит научным направлением. Михаил Львович — автор более 420 научных работ, в том числе восьми монографий. Оборудование, материалы и технологии, созданные под руководством М. Л. Жадкевича, широко внедрены в производство ответственных аэрокосмических конструкций, энергетического оборудования, изделия оборонной промышленности, приборостроение и др. Они защищены несколькими десятками патентов и авторских свидетельств, отмечены многими медалями ВДНХ и грамотами.

Научную работу Михаил Львович успешно сочетает с научно-организационной деятельностью. Он является членом Межведомственной комиссии по Государственной программе «Титан Украины», членом Межведомственной комиссии по цветной металлургии, членом ученого совета ИЭС им. Е. О. Патона, совета по защите диссертаций при ИЭС, совета директоров совместного Украинско-американского экспериментального центра «Пратт и Уитни и Патон», членом редколлегий ряда изданий.

Вклад М. Л. Жадкевича в развитие материаловедения, в частности создание высокоэффективных технологий производства и обработки новых материалов, а также плодотворная научно-организационная деятельность отмечены орденом Трудового Красного Знамени, медалями, почетным званием «Заслуженный деятель науки и техники», Государственной премией Украины в области науки и техники. Он избран членом-корреспондентом НАН Украины, действительным членом Академии технологических наук.

В. И. ДВОРЕЦКОМУ — 70



Виктор Ильич Дворецкий родился 24 июля 1937 г. в Каменском районе Челябинской области. Свой трудовой путь начал в феврале 1957 г. проходчиком на шахте «Енанжелинск уголь». С августа 1958 г. совмещал учебу в Челябинском политехническом институте с работой на Челябинском трубо-

прокатном заводе. После окончания в 1964 г. вуза — на преподавательской работе в Красноярском политехническом институте. В 1966 г. поступает на учебу в аспирантуру при ИЭС им. Е. О. Патона, а в 1969 г. начал трудовую деятельность в Институте электросварки.

В 1970 г. Виктор Ильич защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Технология и машины сварочного производства», а в 1986 г. — докторскую по двум специальностям — «Технология и машины сварочного производства» и «Динамика и прочность машин приборов и аппаратуры». Своей научной деятельностью В. И. Дворецкий внес существенный вклад в решение проблемы прочности сварных конструкций, эксплуатируемых при переменном нагружении.

На базе результатов глубоких теоретических и экспериментальных исследований В. И. Дворецким развит вероятностный подход к расчету сварных соединений конструкций на усталость при случайных режимах нагружения. Результаты этих исследований позволили обеспечить по критерию сопротив-



ления усталости сварных соединений требуемую надежность и долговечность целого ряда конструкций: цельносварной башни РТПС в Риге, крупнейшей в мире золотодобывающей драги, антенно-мачтовых сооружений, подкрановых балок, пролетных строений железнодорожных мостов и других металлоконструкций. Научные положения обеспечения требуемой надежности сварных конструкций, сформулированные В. И. Дворецким на основе полученных им результатов исследований, использованы при разработке нормативно-технических документов, относящихся к расчетным оценкам усталостной долговечности сварных соединений и проектированию отдельных видов конструкций. С конца 1990-х годов значительное внимание в работах В. И. Дво-

рецкого уделяется решению проблемы продления нормативного срока службы несущих конструкций ответственного назначения. Научные разработки В. И. Дворецкого имеют выраженную практическую направленность, их результаты позволили разработать новый тип цельносварных пролетных строений, продлить на 10...15 лет срок службы несущих конструкций тягового подвижного состава, рам тележек вагонов метрополитена, прессового и прокатного оборудования.

В. И. Дворецкий — автор более 100 печатных работ и изобретений. Ученый уделяет внимание воспитанию научных кадров — он подготовил 5 кандидатов наук.

Поздравляем юбиляров и желаем им доброго здоровья, больших творческих успехов, личного счастья и благополучия!

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ СТАДИОНА «МЕТАЛЛУРГ» В ДНЕПРОПЕТРОВСКЕ

В соответствии с требованиями УЕФА в рамках проведения чемпионата по футболу «Евро-2012» в Украине необходимо построить не менее 12 гостиниц, реконструировать аэропорты, возвести новые дороги и современные стадионы. Основные города-претенденты на проведение футбольного турнира — Киев, Донецк, Днепропетровск, Львов и Одесса. К 2012 г. в Украине запланировано возвести новые футбольные арены в Донецке, Днепропетровске и Львове, выполнить реконструкцию НСК «Олимпийский» и одесского стадиона «Черноморец».

Заказчик реконструкции стадиона «Металлург» в Днепропетровске ЗАО «Футбольный клуб «Днепр», генеральный проектировщик ПТАБ «Ю. Серегин». Генеральным подрядчиком выступает компания «Хохтив Украина» — дочернее предприятие мирового лидера в сфере строительства, выигравшая тендер на проведение строительства и реконструкцию стадиона. Рабочая документация металлических конструкций (чертежи КМ) навеса над трибунами для стадиона ФК «Днепр» разработана ОАО УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского (ГИП Лебедич).



Проект реконструкции стадиона «Металлург»

Основные конструктивные решения

Козырьковое покрытие над трибунами предложено в виде системы консольных решетчатых ферм, расположенных с шагом 10,2...10,7 м, соответствующим шагу рам каркасов ниже расположенных опорных железобетонных конструкций (поперечников трибун, каркаса VIP-корпуса).

Консольные фермы переменной высоты запроектированы плоскими из трубчатых профилей. Для ферм над трибунами вылет консольной части от опоры составляет 27,0 м, хвостовой части — 17,5 м. Для ферм над VIP-корпусом вылет консольной части от опоры составляет 32,819 м, хвостовой части — 14,0 м. В зависимости от загруженности и схемы опирания несущая система козырькового покрытия образована пятью типами ферм.

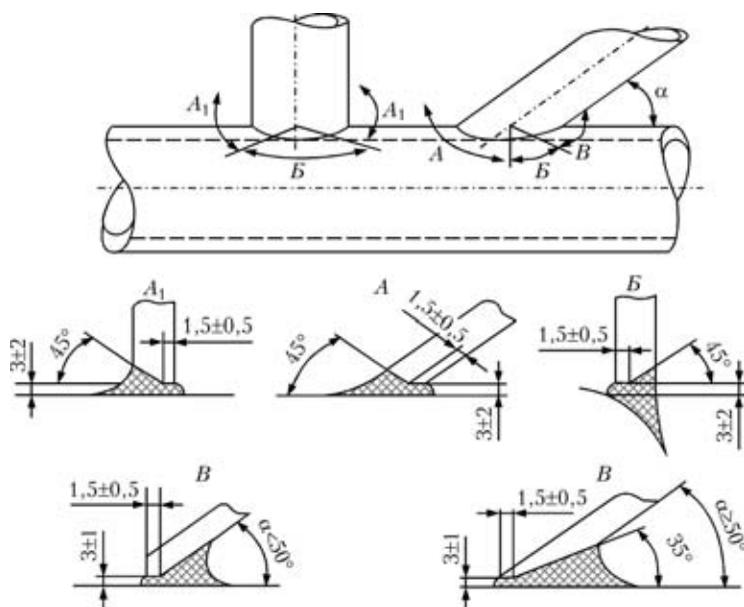
Материал конструкций

Для элементов фасонного и листового проката принята сталь класса С245, С255. Наиболее ответственные фасонки, серьги и проушины запроектированы из стали класса С345. Для труб используется сталь 20.

Контрольная сборка

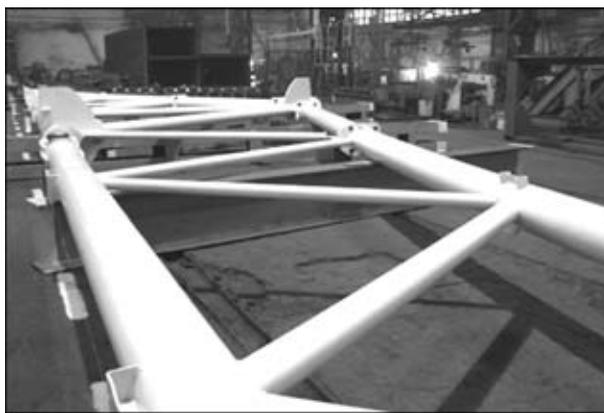
Институтом электросварки им. Е. О. Патона было обеспечено научно-инженерное сопровождение изготовления на ДЗМК им. Бабушкина трубчатых металлоконструкций стадиона «Металлург» по проекту КМ 22928.

Основная задача, поставленная перед институтом, состояла в оказании технической помощи заводу в освоении в короткие сроки изготовления металлоконструкций, обеспечения контроля за соблюдением и выполнением требований КМ, КМД, заводской технологии и рекон-



Разделка кромок и форма сварных швов бесфасоночных узлов

мендаций института. На первом месте стояла организация слаженной работы всех подразделений завода, отвечающих за производственный процесс и соблюдение жесткого контроля на всех стадиях выполнения работ, включая входной и пооперационный контроль всех технологических операций. Изготовление и приемку конструкций проводили в соответствии со СНиП III-18-75 «Металлические конструкции». Правила производства и приемки работ» с учетом специальных указаний, содержащихся в чертежах проекта. Все заводские соединения элементов — сварные. Все основные конструктивные элементы (стропильные, подстропильные фермы, решетчатые прогоны) изготавливали в кондукторах и проходили на заводе контрольную сборку. В период разработки чертежей в ИЭС им. Е. О. Патона были проведены консультативные



Контрольная сборка

встречи с авторами проекта, даны конкретные рекомендации конструктивного плана, что нашло свое отражение в проекте и дало возможность предельно упростить технологию выполнения сопряжений элементов в бесфасоночных узлах и узлах с применением прокатных фасонков. Опыт ИЭС положен в основу разработанной ОГТ и ОГС завода технологии сборки и полуавтоматической сварки трубчатых узлов с непосредственным примыканием. Узлы стропильных и подстропильных ферм сваривали с гарантированными зазорами и переменным углом раскрытия кромок по 3/4 части линии сопряжения. При четырех кантовках вначале выполняли сварку носковой, а затем пяточной части, после чего — сварку боковых сопряжений. Такой порядок сварки способствует минимизации деформации ферм в плоскости и положительно сказывается на общей сборке ферм. Это было подтверждено данными контрольной сборки. Металлоконструкции вспомогательных, промежуточных пролетных ферм сваривали полуавтоматической сваркой в смеси 80 % Ar + 20 % CO₂ сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм с двух кантовок.

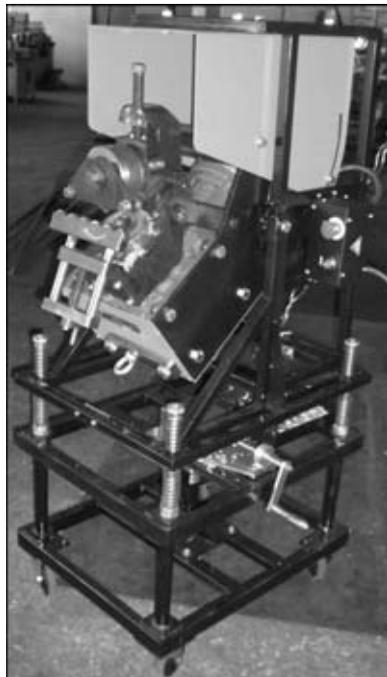
Представителями ИЭС были рассмотрены предварительные Технологические инструкции по сварке (pWPS), касающиеся полуавтоматической сварки бесфасоночных узлов и сварки кольцевых стыков на остающейся стальной технологической подкладке. Мелкокапельный и струйный характер переноса электродного металла более благоприятен при сварке, однако, в связи с особенностью сварки таких соединений (из труб малых диаметров и толщин стенок, и необходимостью сварки на подъем при ограниченном числе кантовок) было предложено уменьшить рабочие токи до 220...270 А для сварки проволокой диаметром 1,6 мм и 120...170 А для сварки проволокой диаметром 1,2 мм. При ведении процесса сварки в смеси на таких режимах поверхность шва имеет практически гладкую форму, с плавным переходом от шва к основному металлу, без подрезов. При гарантированных зазорах обеспечивается необходимый провар, минимальные западания между валиками. В местах, где имеются завышенные зазоры, легче выполнять наплавочные валики на поясную трубу. Сварщик имеет возможность заварить кратеры, удобнее переходить с положения на подъем к нижнему положению и соответственно, если позволяют условия, к сварке «на спуск».

Контроль качества

С учетом требований к металлоконструкциям перекрытий стадиона «Металлург» ИЭС установил ужесточенные меры документированного пооперационного контроля сборки-сварки бесфасоночных узлов, определил объемы сварки образцов-свидетелей (один образец-свидетель на 50 узловых сопряжений стропильных и подстропильных ферм) и оценки макрошлифов, вырезанных из характерных зон линий сопряжения элементов решетки с поясами ферм. Результаты оценки макрошлифов документировались с приложением фотографий как макрошлифов, так и обратной стороны корневого прохода (снимки делали из внутренней стороны патрубка цифровой камерой). Образцы свидетели сваривал каждый раз сварщик, из числа допущенных к сварке металлоконструкций каркаса. Контроль качества физическими методами (УЗ дефектоскопия) проводили для стыковых швов растянутых элементов поясов стропильных и подстропильных ферм, а также оттяжек ферм.

К. В. Рябцев, инж.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАШИНА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КРОМОК ПОД СВАРКУ МКС-21У



Производитель электросварочного оборудования ОАО Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА» (г. Симферополь) предлагает высокоскоростные кромкоскалывающие машины типа МКС-21У для механической подготовки кромок под сварку сверху и снизу листовых материалов.

Использование машин МКС-21У позволит увеличить производительность труда, упростить технологический процесс сборки и сварки металлоконструкций, а также минимизировать затраты труда при гарантии точного соответствия стандартам получаемой кромки.

Принцип действия. При обработке заготовок или конструкций больших размеров кромкоскалывающую машину закрепляют непосредственно на краю заготовки без применения дополнительных приспособлений. Затем оператору достаточно направить машину по кромке от начала и снять ее в конце обработки. Кромкоскалывающие машины имеют автоматическую подачу за счет вращательного движения фрезы без дополнительных устройств. Обработка выполняется путем скалывания кромки специальной фрезой. Заготовки небольшого размера подаются вручну.

Изменение положения (обработка сверху или снизу) происходит очень быстро путем переворота механизма машины на 180° вокруг собственной оси вращения и его фиксации.

Преимущества механической подготовки кромок перед термическим (газокислородной и плазменной) способом:

- универсальная установка, которая позволяет обрабатывать кромку как сверху, так и снизу;
- не происходит изменений физических и химических свойств материалов;
- минимизирует затраты труда;
- обеспечивает качественную обработку кромок и гарантирует точное соответствие получаемой кромки стандартам;
- высокая скорость обработки кромок;
- автоматическая подача за счет вращательного движения фрезы без дополнительного устройства (привода);
- высокоманевренная, так как имеет малый вес и габаритные размеры;
- экологична (минимум шума, вибрации, нет выделения пыли и продуктов горения);
- для автоматического перемещения вдоль кромки листа и удобства перемещения — установлена на тележку с колесами.

Технические характеристики МКС-21

Напряжение питающей сети ($f=50$ Гц), В	3×380
Потребляемая мощность при номинальном токе, В·А, не более	1400
Скорость вращения инструмента скалывающего (фрезы), об/мин	9±1
Скорость скалывания кромки с углом 30°, см/мин	180±10
Диапазон регулировки резки углов, град	22,5; 30; 37,5; 45; 55
Наибольшая ширина кромки, мм, не более	21
Наибольшая глубина кромки при угле 30°, мм	17,3
Минимальная толщина обрабатываемого листа, мм	6,3
Максимальная толщина обрабатываемого листа, мм	38
Масса, включая тележку перемещения	220



ОАО Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА», г. Симферополь.
Отдел сбыта и маркетинга: (0652) 58-30-50, 58-30-55, 58-30-52, 58-30-54
Телефакс: 58-30-53, 66-80-82
E-mail: sales@selma.crimea.ua, www.selma.ua

15 лет на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Трида-Сварка»
г. Запорожье

- Электрогазосварочное оборудование
- Горелки к полуавтоматам
- Электрододержатели
- Пусконаладочные работы
- Ремонт сварочного оборудования, в том числе сложного
- Технологическое обеспечение сварочных процессов
- Автоматизированные сварочные линии и комплексы
- Проволока алюминиевая марки Al Mg 5 \varnothing 1,2 мм, Al Si 5 \varnothing 1,2 мм



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

Электромашино-
строительный завод
«ФИРМА СЭЛМА»



**ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**



95000, г. Симферополь, Украина
ул. Генерала Васильева, 32А
Тел.: (0652) 58-30-55, 66-85-37,
58-30-50, 58-30-52, 58-30-54
E-mail: sales@selma.crimea.ua

www.selma.ua

маски
катоды
флюсы
горелки
редуктора
проволоки
электроды
выпрямители
плазмотроны
клемы массы
трансформаторы
сварочные трактора
керамические сопла
держатели электрода
сварочные полуавтоматы
установки для автоматизированной плазменной резки
оборудование для газоплазменной резки, наплавки, напыления
установки для контактной сварки
установки для микроплазменной сварки
гарантийное и сервисное обслуживание
установки очистки и фильтрации воздуха
установки для автоматической сварки в среде защитных газов всех видов металла
оборудование для антикоррозионной защиты
установки для автоматической сварки под флюсом
композиционные металлополимерные материалы



**ТОРГОВИЙ ДІМ
ЗВАРЮВАННЯ**

03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав.№21,
тел./факс: (+380 44) 526-93-70, 526-93-76, 526-93-75, 526-92-20,
e-mail: house@welding.kiev.ua, eduardch@ukr.net



ООО "НПФ "Элно"

Порошковые проволоки для сварки, наплавки и напыления



ООО "НПФ "Элно" является представителем компаний WELDING WIRELOYS LIMITED (Англия) и HYUNDAI WELDING (Южная Корея) в Украине



ул. Петровская, 69, г. Киев, 03680 тел. (044) 200-80-85, 200-85-17 факс (044) 200-85-17 e-mail: info@elno.com.ua



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

Производство материалов для дуговой сварки, наплавки и резки:

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

Порошковые проволоки – ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН69, ПП-АН70М, ПП-АНВ2У, ПП-НхХ25Г14Н3Т, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

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

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

Возможно изготовление других марок материалов

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



Завод автогенного оборудования

Запоріжжя (061) 224-11-56
Київ (044) 200-80-67
Дніпропетровськ (056) 370-54-45
Донецьк (062) 381-88-93
Харків (0572) 50-16-89
Луганськ (0642) 595-165
Львів (0322) 45-00-68
Полтава (0532) 50-89-67
Вінниця (0432) 53-16-38
Сімферополь (0652) 54-32-11
Черкаси (0472) 64-35-28

(06264) 5-77-13, 4-26-85
svarka@donmet.com.ua www.donmet.com.ua

Лидер производства порошковых проволок в Украине



ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"

Порошковые проволоки для наплавки по ГОСТ 26101-84
-80X20 P3T,35B9X3CF,25X5ФМС,18X1Г1М и др.

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК
-ВЕЛТЕК H200 - H620

Порошковые проволоки для сварки
-АН1,АН8,АН39,АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ
-ТМВ3,ТМВ6,ТМВ7,ТМВ11,ТМВ14,ТМВ29 и др.

Диаметры от 1,0 до 6,0 мм., производство до 5000 т/год
разработка, адаптация к условиям заказчика.

ул. Полевая, 24, офис 504
03056, Киев, Украина
тел./факс: (044) 456-0209, (044) 458-3485
e-mail: weldtec@iptelecom.net.ua www.weldtec.com.ua



г. Киев, 03150, ул. Божихів, 11

www.gefest-uv.com.ua
gefest-uv@kievweb.com.ua
т. 261-51-65; 227-88-33; т./ф 220-16-19

Производство высококачественных электродов для:

- Сварки высоколегированных сталей
 - ОЗЛ-6 • ЦЛ-11 • ЭА-48М/22
 - АНЖР-1 • АНЖР-2 • ЦТ-15
 - НИИ-48Г • ОЗЛ-8 и др.
- Сварки теплоустойчивых сталей
 - ЦУ-5 • ЦА-39 • ТМУ-21У
- Наплавки слоев со специальными свойствами
 - ЦН-12М • ЦН-6А • Гефест-6 (ОЗН-6)
 - Т-590 • НР-70 • ЦЧ-4
- Изготовление на заказ электродов необходимых Вам марок
- Проволока сварочная СВ-08Г2С

Все марки электродов СЕРТИФИЦИРОВАНЫ

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:
Флюсы сварочные
Проволоки порошковые для внепечной обработки металлургических расплавов
Проволоки порошковые для сварки, наплавки, напыления и металлплазми
Электроды наплавочные, специального назначения, для сварки чугуна и резки
Ферросплавы и легитур
Хром металлургический
Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Кургантокая, 1 Тел.: (380562) 35-50-25
г. Днепропетровск Тел./факс: (380562) 35-19-41
49051, Украина E-mail: sp@spetszsplov.dp.ua

**производство продажа
сервисное обслуживание**



*малозабаритное,
высокоэффективное
энергосберегающее сварочное
оборудование на токи
110-300 А с ограничением
холостого хода до 12 В*



*автономные мобильные
сварочные комплексы на базе
резонансных преобразователей*



*сварочные инверторы для
ММА и ТИГ сварки
на токи до 300 А*

"ИЭС-ЭПИС"

Украина, 03150 г. Киев
ул. Горького, 56, корп. 2
Тел.: (044) 271-2036
Факс: (044) 271-2102

**НАВКО-
ТЕХ**

Automatic machines and robots for arc welding

**Автоматические установки и роботы
для дуговой сварки**



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА



Украина, 03056, Киев, ул. Полевая, 24
Тел.: +38 044 456-40-20
Факс: +38 044 456-83-53

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

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



MEGAFIL®
СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМЫ

MEGAFIL® — обеспечение точности благодаря совершенной форме: полностью бесшовная порошковая проволока с уникальными сварочными свойствами для получения неразъемных соединений; благодаря своим стабильным размерам, отсутствию деформаций кручения она пригодна при решении широкого круга задач; гарантированная внутренняя защита от влаги позволяет использовать ее без повторной прокатки; важными преимуществами являются сверхвысокая электрическая проводимость и стабильное горение дуги. Поддержите свою форму с помощью MEGAFIL®.

MEGAFIL®: Продукция компании Дратцуг Штайн — наша серия бесшовных изделий, включая также высококачественные порошковые проволоки TOPCORE® и MECUFIL®.


DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Drahtzug Stein
D-67317 Altleiningen
Tel: +49(0) 6356 966-0
Fax: +49(0) 6356 966-114
E-mail: postmaster@drahtzug.de; www.drahtzug.de

Официальный представитель в Украине

АРКСЭЛ

83017, г. Донецк, пер. Вирсаний, 2а
Тел.: (062) 332-2650(52)
Тел./факс: 382-9449, 332-2651

E-mail: info@arsel.dn.ua; www.arsel.dn.ua



ПОДПИСКА — 2007 на журнал «Автоматическая сварка»

Стоимость подписки через редакцию*	Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	180 грн.	360 грн.	1980 руб.	3960 руб.	78 дол. США	156 дол. США

* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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

Контакты: тел.: (38044) 287-63-02, 271-24-03; факс: (38044) 528-34-84, 528-04-86, 529-26-23.

Подписку на журнал «Автоматическая сварка» можно также оформить по каталогам подписных агентств «Пресса», «Идея», «Саммит», «Прессцентр», KSS, «Блицинформ», «Меркурий» (Украина) и «Роспечать», «Пресса России» (Россия).

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____

200 г. по

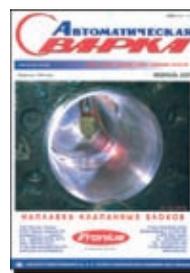
200 г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190 мм) - 500 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) 350 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) - 350 \$

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

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки (190×190 мм) - 350 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) 350 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) - 350 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) - 350 \$

Внутренняя вставка

Полноцветная (200×290 мм) - 300 \$

Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) - 500 \$

Полноцветная (200×145 мм) - 150 \$

Полноцветная (80×80 мм) - 20 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

• Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу

• Статья на правах рекламы - 50% стоимости рекламной площади

• При заключении рекламных контактов на сумму, превышающую 1000 \$, предусмотрена гибкая система скидок

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290 мм

• В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов, необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации

• Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 7.0

• Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

• К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 14.06.2007. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отт. 8,3. Уч.-изд. л. 8,9 + 2 цв. вклейки.

Цена договорная.

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

© Автоматическая сварка, 2007