



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ
Тел.: (38044) 287 6302, 200 8277
Факс: (38044) 528 3484, 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001

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

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Коваленко Д. В., Кривцун И. В., Демченко В. Ф., Коваленко И. В.
Особенности тепловых и гидродинамических процессов при сварке
ТИГ и А-ТИГ нержавеющей стали 5
Махненко В. И., Козлитуна С. С., Дзюбак Л. И., Кравец В. П. Риск
образования карбидов и σ -фазы при сварке высоколегированных
хромоникелевых сталей 9
Сокольский В. Э., Роик А. С., Давиденко А. О., Галинич В. И., Гончаров
И. А., Мищенко Д. Д., Токарев В. С. О фазовых превращениях в
агломерированном флюсе солеоксидной шлаковой системы при
нагреве 13
Белый А. И. Износостойкость и прочность карбидов вольфрама WC–
W₂C, полученных различными способами 20

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Поляков С. Г., Ныркова Л. И., Мельничук С. Л., Гапула Н. А. Диаг-
ностика коррозионного состояния внутренней поверхности магист-
рального нефтепровода 24

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

*Кучук-Яценко С. И., Руденко П. М., Гавриш В. С., Кривонос В. П., Сидо-
ренко В. М., Нейло Ю. С., Гуцин К. В.* Энергетические характеристики
процессов контактной стыковой сварки на переменном и постоянном
токах 29
Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю., Рябцев И. А.
Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области
электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой (Обзор) 34
Маковецкая О. К. Сварочное производство Японии в период
экономического кризиса 2009 г. 43

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

*Борисов Ю. С., Борисова А. Л., Коломыцев М. В., Кузьмич-Янчук Е. К.,
Туник А. Ю., Козарук О. Н., Ярошенко В. А.* Получение покрытий TiO₂
из суспензии методом высокоскоростного воздушно-газового
плазменного напыления 47
По страницам журнала «Welding and Cutting», 2010, № 3 49

ХРОНИКА

18-я международная конференция «Современные методы и средства
неразрушающего контроля и технической диагностики» 53
Международная выставка «Weldex/Россварка-2010» 54
Награждение китайского ученого 57
К. А. Ющенко — 75
Памяти В. С. Попова
ИНФОРМАЦИЯ 61
Программы профессиональной подготовки на 2011 г. 67
Указатель статей за 2010 г. 70
Указатель авторов 74

Avtomaticheskaya Svarka

№ 12 (692)
December 2010

Published since 1948

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

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

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

Address of Editorial Board:

11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 287 63 02, 200 82 77
Fax: (38044) 528 04 86, 200 82 77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushina

Electron galley:

I. R. Naumova,

I. V. Petushkov, A. I. Sulima

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved

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

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

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Kovalenko D. V., Krivtsun I. V., Demchenko V. F., Kovalenko I. V. Specifics of thermal and hydrodynamic processes in TIG and A-TIG welding of stainless steel 5

Makhnenko V. I., Kozlitina S. S., Dzyubak L. I., Kravets V. P. Hazard of formation of carbides and σ -phase in welding of high-alloy chromium-nickel steels 9

Sokolsky V. E., Roik A. S., Davidenko A. O., Galinich V. I., Goncharov I. A., Mishchenko D. D., Tokarev V. S. About phase transformations in agglomerated flux of salt-oxide slag system in heating 13

Belyi A. I. Wear resistance and strength of tungsten carbides WC- W_2C produced by different methods 20

TECHNICAL DIAGNOSTICS AND NDT

Polyakov S. G., Nyrkova L. I., Melnichuk S. L., Gapula N. A. Diagnostics of corrosion state of internal surface of main pipeline 24

INDUSTRIAL

Kuchuk-Yatsenko S. I., Rudenko P. M., Gavrish V. S., Krivonos V. P., Sidorenko V. M., Neilo Yu. S., Gushchin K. V. Power characteristics of processes for d.c and a.c flash butt welding 29

Pokhodnya I. K., Shlepakov V. N., Maksimov C. Yu., Ryabtsev I. A. Research and developments of the E. O. Paton Electric Welding Institute in the field of electric arc welding and surfacing with flux-cored wire (Review) 34

Makovetskaya O. K. Welding production of Japan in the period of economic crisis of 2009 43

BRIEF INFORMATION

Borisov Yu. S., Borisova A. L., Kolomytsev M. V., Kuzmich-Yanchuk E. K., Tunik A. Yu., Kozaruk O. N., Yaroshenko V. A. Producing of TiO_2 coatings of suspension using the method of high-speed air-gas plasma spraying 47

Review of journal «Welding and Cutting», 2010, No.3 49

NEWS

The 18th International Conference «Modern methods and equipment for NDT and technical diagnostics» 53

International Exhibition «Weldex/ Rossvarka-2010» 54

Rewarding of the Chinese scientist 57

K. A. Yushchenko is 75 58

In memory of V. S. Popov 60

INFORMATION 61

Programs of professional training for 2011 67

Index of articles for 2010 70

Index of authors 74

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

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ОТ LINCOLN ELECTRIC

Компания «Lincoln Electric» (США) разработала и предлагает на рынке сварочного оборудования новые портативные мощные и надежные инверторные источники питания Invertec 135S/150S/170S для ручной дуговой сварки (ММА) и ручной аргонодуговой сварки (ТИГ).

Преимущества:

- ✓ оптимизированы для сварки электродами с рутиловым и основным видом покрытия;
- ✓ функция горячий старт (Hot Start) в моделях 150S, 170S;
- ✓ функция авторегулировки форсирования дуги в моделях 150S, 170S;
- ✓ мягкий и жесткий режим (модели 150S, 170S);
- ✓ улучшенная функция контроля дуги;
- ✓ функция Anti-stick, позволяющая легко оторвать электрод при его залипании на деталь;
- ✓ возможность работы от генератора и присоединение питающих кабелей большой длины (модели 150S, 170S);
- ✓ функция LIFT TIG, исключающая загрязнение вольфрамом металла шва (модели 150S, 170S);
- ✓ цифровой дисплей (модель 170S);
- ✓ функция включения вентилятора при необходимости (F.A.N.) (модель 170S);
- ✓ полностью готовы к работе. Набор кабелей, щиток и



ящик для переноски включены в комплектацию аппарата;

- ✓ соответствует требованиям стандартов IEC974-1, ROHS и CE, ГОСТ-Р;
- ✓ гарантия 2 года на качество сборки и комплектующие.

Источники питания от однофазной сети (230 В) частотой 50...60 Гц. Диапазон регулирования сварочного тока 10...120А (135S), 10...140А (150S) и 10...160А (170S). Номинальный сварочный ток составляет соответственно 120А при 25 % ПВ (135S), 140А при 30 % ПВ (150S) и 160А при 35 % ПВ, а масса источников — 4,6; 4,7; 7,0кг.



ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК

Фирмой «TBi Industries» предложена новая система очистки горелок «JetStream». Она обеспечивает автоматическую, основательную и быструю очистку практически любых головок сварочных горелок. Новая система позволяет очищать переднюю кромку, внешнюю и внутреннюю стороны газовых сопел, а также токоподводящий мундштук и держатель наконечника от брызг и других загрязнений, возникающих при сварке. Это препятствует образованию короткого замыкания, возникающего при большом скоплении брызг и позволяет формировать опти-



Рис. 1. Принцип очистки головки горелки с вращающейся очистительной насадкой

мальный поток защитного газа без завихрений (рис. 1). Данная система представляет собой уникальное решение для тандемных горелок, для которых ранее применялась только регулярная ручная очистка. Превосходный результат обеспечивается благодаря принципу работы оборудования: головка горелки очищается по принципу действия пескоструйного аппарата с использованием соответствующего абразивного материала. Реактивное сопло окружает сварочную горелку таким образом, чтобы был возможен доступ ко всем поверхностям (рис.2).

Подобные преимущества существуют и при очистке стандартных автоматизированных горелок, предназначенных для сварки металлов в среде защитного газа. Это позволяет избежать ограничений, возникающих при очистке фрезой. При этом обеспечивается требуемое качество сварного шва благодаря предусмотренным циклам очистки в соответствии с требованиями, предъявляемыми сварочному процессу. Ре-



Рис. 2. Автоматизированная тандемная горелка до и после очистки

комендуется использовать комбинацию системы очистки «JetStream» с пульверизатором фирмы TBI, что обеспечивает полное и равномерное опрыскивание головки горелки средством защиты от брызг. Система заключена в корпус и использует минимальное количество очищающего средства, что исключает загрязнение им автоматизированной установки.

CADDY™ – ПОРТАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СВАРКИ ОТ ESAB

Caddy™ отлично подходит как для MMA, так и для сварки TIG. Линейка портативных сварочных установок от однофазного Caddy™ Tig220i A31 до Caddy™ Tig2200i AC/DC гарантированно обеспечивает надежную и универсальную работу. Компактная и эффективная инверторная технология, удобная и многофункциональная панель управления и интеллектуальное программное обеспечение позволяют получить оптимальные параметры сварки и стабильную дугу. В то время, как другие установки нагреваются, Caddy™ поддерживает оптимальную температуру благодаря продуманной конструкции.

Отличительной особенностью Caddy™ являются удобная панель управления и ком-



пактный, портативный, ударопрочный и пожароустойчивый пластмассовый корпус. Находящийся внутри большой радиатор и продуманный дизайн обеспечивают надежную работу и длительный срок эксплуатации в агрессивной среде, поскольку все чувствительные компоненты полностью защищены от пыли и других частиц.

Оборудованный высоконадежным контактным разъемом OKC с классом защиты IP23 Caddy™ можно использовать вне помещения — даже под дождем. Отличная работа и безупречная надежность день за днем.

Caddy™ оборудован цепями коррекции коэффициента мощности. Это позволяет работать с полной нагрузкой со стандартными 16 или 10 А предохранителями для большей экономии. Коррекция коэффициента мощности защищает установку от колебаний первичного напряжения для надежной работы и улучшенной безопасности даже при присоединении к генератору. Caddy™ позволяет использовать сетевые провода длиной свыше 100 м для увеличения рабочего радиуса.

Благодаря отличной работе (150...170 А при ПВ 25 %), компактности и привлекательной цене прочные однофазные установки популярны среди как опытных любителей, так и профессиональных сварщиков. Caddy™ Arc 151/201i — совершенный сварочный инструмент для работы на месте обслуживания, ремонта и изготовления в помещениях и вне их.

ЦЕНТРАТОР ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОЙ СВАРКИ «ACCU-FIT»

Для тонкостенных труб малого диаметра американской фирмой «Mathey Dearman» спроектирован центратор «Accu-Fit Clamp», который позволяет ровно и точно соединять и выравнивать трубы. Центратор сделан из высококачественной нержавеющей стали. Его зажимные губки работают независимо друг от друга, поэтому обе свариваемые трубы выравниваются относи-



тельно центральной оси, даже имея различные диаметры. Центратор идеально подходит для осуществления орбитальной сварки. При этом имеется достаточное количество свободного пространства между зажимами (73 и 121 мм) для сварочной головки аппарата орбитальной сварки. Выпускаются две модели зажимов для «Accu-Fit Clamp»: труб диаметром 9...61 и труб диаметром 51...114 мм.

Преимущества:

- ✓ точно соединяет трубы для орбитальной сварки;
- ✓ свободное пространство между зажимами для большинства аппаратов орбитальной сварки;
- ✓ нержавеющая сталь — центратор подходит для соединения труб из нержавеющей стали и других особых сплавов.



ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ ТИГ И А-ТИГ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Д. В. КОВАЛЕНКО, инж., чл.-кор. НАН Украины И. В. КРИВЦУН, В. Ф. ДЕМЧЕНКО, д-р техн. наук, И. В. КОВАЛЕНКО, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

На основе расчетных и экспериментальных данных проведен анализ распределения температуры на поверхности сварочной ванны при сварке ТИГ и А-ТИГ стационарной и подвижной дугой нержавеющей стали. Показано, что при сварке ТИГ и А-ТИГ распределение температуры поверхности сварочной ванны выше температуры кипения имеет характерную площадку, размеры которой соизмеримы с размерами анодного пятна дуги. При этом максимальная температура и размеры этой площадки несколько меньше при сварке А-ТИГ. Обсуждены проблемы математического описания и моделирования конвекции Марангони при сварке А-ТИГ, развивающейся по термокапиллярным и концентрационно-капиллярным механизмам. В сварочной ванне могут образовываться два циркуляционных потока, в результате взаимодействия которых возникает течение расплава, направленное вглубь сварочной ванны.

Ключевые слова: сварка ТИГ и А-ТИГ, нержавеющая сталь, стационарная и движущаяся дуга, температура поверхности сварочной ванны, капиллярная конвекция Марангони, силовые факторы, проплавление, эксперимент, математическое моделирование

В предыдущих работах авторов [1, 2] рассмотрены феноменологическая модель существования и взаимодействия системы ТИГ/А-ТИГ дуга — сварочная ванна, а также возможность существования квазипарогазового канала при сварке А-ТИГ. На основе анализа экспериментальных данных и теоретических оценок рассмотрены особенности влияния на формирование сварочной ванны и шва тепловых, массообменных, электромагнитных, гидро- и газодинамических процессов, протекающих в столбе дуги и сварочной ванне при сварке А-ТИГ поверхностной неподвижной и движущейся дугой. Показано существенное принципиальное отличие в формировании швов, полученных сваркой ТИГ и А-ТИГ движущейся и неподвижной дугами, которое заключается в том, что при сварке подвижной дугой процессы плавления и кристаллизации металла шва происходят одновременно, а при точечной сварке разделены во времени. При этом при формировании точечного шва, полученного сваркой А-ТИГ, вследствие последующих усадочных явлений образуется характерный глубокий кратер с усилением по периферии сварного шва. При сварке А-ТИГ также возможно принципиально иное, чем при сварке ТИГ, формирование потоков плазмы столба дуги с обтеканием поверхности сварочной ванны от периферии к центру, что способствует переносу перегретого металла ко дну ванны и образованию узких и глубоких швов.

В работе [3] была предложена сопряженная математическая модель тепловых, электромагнитных и гидродинамических процессов в сварном изделии при стационарной (точечной) сварке ТИГ. С помощью моделирования установлено, что параметрами, определяющими тепловое состояние и гидродинамику сварочной ванны при дуговых способах сварки, являются размеры анодного R_a (диаметр токового канала на аноде) и теплового R_h пятен дуги. Принципиальное различие в проплавляющей способности сварки ТИГ и А-ТИГ обусловлено различным соотношением между размерами токового и теплового пятен. На основе результатов экспериментальных и расчетных исследований кинетики проплавления при сварке ТИГ и А-ТИГ проведен сравнительный анализ влияния трех различных силовых факторов (силы Лоренца, эффекта Марангони, силы Архимеда) на гидродинамику и тепловое состояние сварочной ванны. Показано, что при небольших размерах анодного пятна (менее 4 мм) доминирующим фактором, определяющим глубину и форму сварной точки, является центростремительная составляющая силы Лоренца.

Анализ как собственных, так и результатов работ, выполненных другими авторами, потребовал проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

Цель настоящей работы — проведение сравнительного анализа экспериментальных и расчетных данных о распределении температуры на поверхности сварочной ванны и рассмотрение особенностей капиллярной конвекции при сварке ТИГ и А-ТИГ стационарной и подвижной дугой нержавеющей стали.

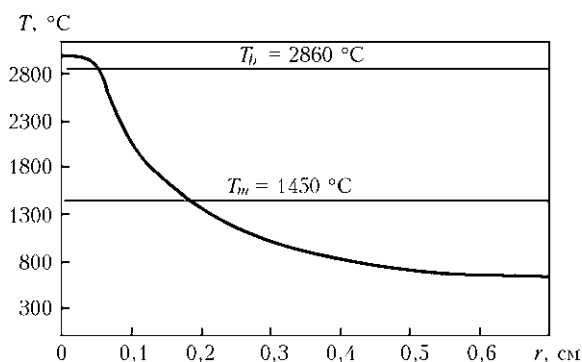


Рис. 1. Расчетные значения распределения температуры на поверхности сварочной ванны (в поперечном направлении) при $R_a = 1,25$ мм, $R_h = 1,5$ мм (T_m — температура плавления)

Особенности распределения температуры на поверхности сварочной ванны. Расчеты, выполненные с помощью математической модели [3], показали, что при определенных размерах анодного и теплового пятен стационарной ТИГ дуги при сварке нержавеющей стали 304 возможно повышение плотности теплового потока, которое приводит к дополнительному перегреву поверхности сварочной ванны выше температуры кипения T_b . В результате возрастают потери тепла на испарение и снижается степень усвоения тепла сварным изделием. Профиль температуры при перегреве поверхности сварочной ванны (в поперечном направлении) выше температуры кипения имеет характерную площадку при $T > T_b$ (рис. 1).

Для проверки результатов расчетов моделирования провели эксперимент по определению распределения температуры на поверхности сварочной ванны вдоль ее оси. Сварку ТИГ и А-ТИГ подвижной дугой выполняли на образце толщиной 5 мм из нержавеющей стали 304. При сварке А-ТИГ использовали аэрозольный активирующий флюс ПАТИГ С-А. Режим сварки аналогичен расчетному: ток сварки 100 А, установленная длина дуги 1,5 мм, скорость сварки 100 мм/мин. Использовали вольфрамовый электрод с 2 % ThO_2 диаметром 3,2 мм и углом заточки 35°. В качестве защитного газа применяли аргон (расход 12 л/мин).

Внешний вид экспериментальной установки представлен на рис. 2. В качестве измерительного прибора использовали компьютеризированный инфракрасный пирометр Marathon MM 1МН фирмы «Raytek». Основные характеристики пирометра следующие: диапазон измеряемых температур 650...3000 °С; спектральный диапазон 1 мкм; погрешность $\pm 0,3$ % или ± 1 °С; время реакции 1 мс; диаметр точки измерения 1 мм.

Неподвижно закрепленный пирометр был сфокусирован на точку, от-



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки

меченную на поверхности свариваемого образца и расположенную на оси шва. Во время сварки сформированная дугой сварочная ванна перемещалась через отмеченную точку. При этом происходило измерение температуры на поверхности сварочной ванны вдоль ее продольной оси. Схема проведения эксперимента представлена на рис. 3.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4. При сварке ТИГ и А-ТИГ подвижной дугой распределение температуры поверхности сварочной ванны выше температуры кипения имеет характерную площадку, размеры которой соизмеримы с размерами анодного пятна дуги [4]. Диаметр этой площадки для сварки ТИГ и А-ТИГ составляет соответственно 1,75 и 1,5 мм. При этом максимальная температура площадки несколько ниже при сварке А-ТИГ (2600 °С) по сравнению со сваркой ТИГ (2650 °С). В хвостовой части сварочной ванны при сварке А-ТИГ также наблюдается несколько повышенный уровень температуры.

Следует отметить, что наличие такой площадки перегрева подтверждает возможность существования при сварке А-ТИГ квазипарогазового канала [1].

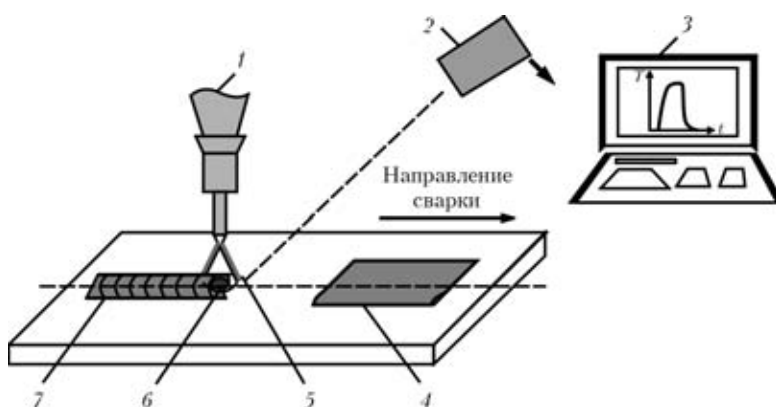


Рис. 3. Схема проведения эксперимента: 1 — горелка; 2 — пирометр; 3 — компьютерная система с программным обеспечением; 4 — активатор; 5 — дуга; 6 — сварочная ванна; 7 — шов



Роль гидродинамических процессов и особенностей капиллярной конвекции в проплавлении металла. Одним из силовых факторов, оказывающих влияние на гидродинамику расплава, является сила Лоренца, которая в случае точечной сварки ТИГ и А-ТИГ является осесимметричной, т. е. $\vec{F} = F(r, z)$, где r, z — радиальная и аксиальная координаты. Полученные в работе [3] расчетные данные свидетельствуют о том, что при определенных отношениях размеров анодного и теплового пятен дуги и радиусе анодного пятна $R_a < 4$ мм, характерных для сварки А-ТИГ, доминирующим силовым фактором, определяющим гидродинамику сварочной ванны, является ротационная составляющая силы Лоренца, которая при осесимметричном электромагнитном поле является центростремительной. Следует отметить, что для поверхности сварочной ванны эта сила в анодном пятне прямо пропорциональна квадрату сварочного тока I^2 и обратно пропорциональна кубу радиуса анодного пятна R_a^3 [1, 2]:

$$\vec{F}_{\text{rot}}(r, 0) = -\mu_0 \frac{I^2}{4\pi R_a^3} \frac{r}{R_a} \vec{e}_r, \quad 0 < r < R_a,$$

где μ_0 — относительная магнитная проницаемость; $\vec{e}_r$ — единичный радиус-вектор.

Влияние размера анодного пятна на центростремительную составляющую силы Лоренца представлено на рис. 5.

Под воздействием центростремительной составляющей этой силы в сварочной ванне образуется вихревое течение расплава, которое вблизи свободной поверхности направлено от периферии к центру сварочной ванны. Движущиеся навстречу друг другу потоки жидкого металла в осевой части ванны разворачиваются в аксиальном направлении, транспортируя перегретый до температуры кипения и выше (см. рис. 1 и 4) металл из центра теплового пятна ко дну ванны. Поскольку скорости движения жидкого металла поддерживаются достаточно высокими ($\max |\vec{V}| \approx 50$ см/с), то перемещающийся расплав в значительной степени сохраняет тепло перегрева, в результате чего в сварочной ванне вблизи фронта плавления образуется температурное уплотнение с высоким градиентом температуры. Вследствие этого создаются условия для увеличения глубины проплавления.

Рассмотрим влияние капиллярной конвекции (эффект Марангони) на проплавляющую способность дуги при сварке А-ТИГ. Известно, что поверхностно-активные элементы влияют на коэффициент поверхностного натяжения металла. В качестве поверхностно-активных элементов, поступающих из флюса в расплав при сварке А-ТИГ, могут быть кислород, сера, фтор и др. Например,

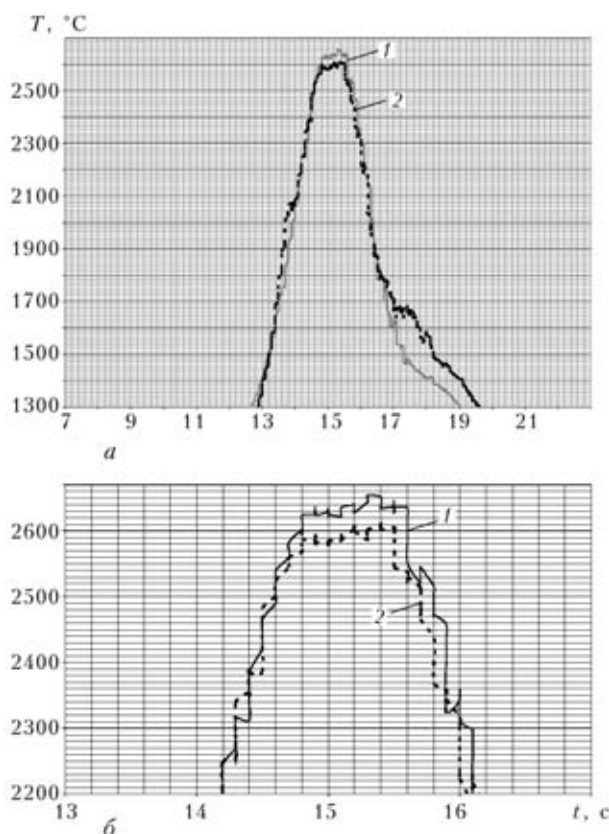


Рис. 4. Экспериментальные кривые распределения температуры на поверхности сварочной ванны в продольном направлении в зависимости от времени сварки в температурном интервале 1300...2800 (а) и 2200...2800 °С (б): 1 — сварка ТИГ; 2 — А-ТИГ

в работе [5] установлено, что коэффициент поверхностного натяжения γ как функция содержания кислорода C в стали возрастает с уменьшением концентрации кислорода ($\beta_C = \partial\gamma/\partial C < 0$). Поскольку на поверхности сварочной ванны концентрация кислорода убывает с увеличением температуры, то $\partial C/\partial r > 0$, а следовательно, $\beta_C \partial C/\partial r < 0$. Это свидетельствует о возможности

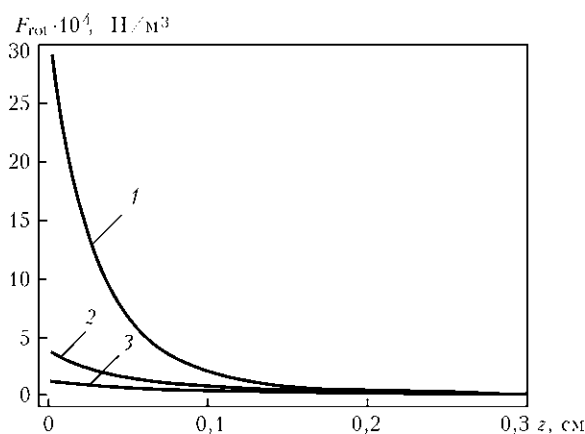


Рис. 5. Расчетные значения $F_{\text{rot}}(R_a, z)$ вдоль аксиальной координаты z при $I = 100$ А: 1 — $R_a = 1$; 2 — 2; 3 — 3 мм



возникновения обратной концентрационно-капиллярной конвекции Марангони, обусловленной градиентом концентрации кислорода на свободной поверхности сварочной ванны.

Вместе с тем, по данным работы [6], температурный коэффициент поверхностного натяжения $\beta_T = \partial\sigma/\partial T$ расплава железа с содержанием кислорода в пределах $(150...350) \cdot 10^{-6}$ принимает положительное значение в температурном интервале 1873...2123 К, вследствие чего $\beta_T \frac{\partial T}{\partial r} < 0$, что

свидетельствует о возможности обратной термокапиллярной конвекции. При совместной концентрационно-капиллярной и термокапиллярной конвекциях условие баланса касательных напряжений на свободной поверхности расплава можно

записать в виде
$$v \frac{\partial V_r}{\partial z} \Big|_{z=0} = -\frac{1}{\rho} \left[\beta_T \frac{\partial T}{\partial r} + \beta_C \frac{\partial C}{\partial r} \right].$$

Таким образом, при сварке А-ТИГ существует принципиальная возможность возникновения обратного (от периферии ванны к ее центру) течения Марангони, обусловленного как термокапиллярным, так и концентрационно-капиллярным механизмами. При экспериментальном определении β_T и β_C чрезвычайно важно обеспечить условия, необходимые для определения именно частных производных $\partial\sigma/\partial C$ и $\partial\sigma/\partial T$, иначе экспериментальные данные могут оказаться искаженными.

В центральной части поверхности сварочной ванны в районе площадки перегрева имеет место высокотемпературный нагрев металла вплоть до температуры кипения $T = T_b$. Из физических соображений следует, что независимо от содержания кислорода $\gamma(T, C) \rightarrow 0$ при $T \rightarrow T_b$. Это означает, что в некотором температурном интервале ($T_{\text{ext}} < T < T_b$, где T_{ext} — экстремальная температура) ниже температуры кипения $\partial\sigma/\partial r = \beta_T \frac{\partial T}{\partial r} + \beta_C \frac{\partial C}{\partial r} > 0$,

т. е. коэффициент поверхностного натяжения при некоторой определенной температуре $T = T_{\text{ext}}$ имеет максимум, а направление поверхностной силы в этом температурном интервале соответствует прямой (от центра к периферии ванны) капиллярной конвекции. Таким образом, на поверхности сварочной ванны при сварке А-ТИГ могут су-

ществовать одновременно встречно-направленные, а также прямая (от центра к периферии сварочной ванны, при $T \in [T_{\text{ext}}, T_b]$) и обратная (от периферии сварочной ванны к ее центру при $T < T_{\text{ext}}$) капиллярная конвекции. В этом случае в сварочной ванне могут образоваться два вихря, в результате взаимодействия которых возникнет течение расплава, направленное вглубь сварочной ванны.

В заключение отметим, что, по нашему мнению, существующих экспериментальных данных о зависимости $\beta_C = \beta_C(T, C)$ и $\beta_T = \beta_T(T, C)$ в широком температурном интервале недостаточно для того, чтобы можно было с уверенностью делать теоретические оценки влияния конвекции Марангони на проплавляющую способность сварки А-ТИГ. Для изучения этого влияния требуются дополнительные экспериментальные исследования зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры и концентрации активирующего элемента в расплаве, особенно применительно к условиям взаимодействия слоя флюса с поверхностью сварочной ванны.

1. *Role of quasi-keyhole and Marangoni convection in formation of deep penetration in A-TIG welding of stainless steel (Phenomenological model of A-TIG welding of stainless steel)* / B. E. Paton, K. A. Yushchenko, D. V. Kovalenko et al. // Proc. of Joint 16th Intern. conf. on computer technology in welding and manufacturing and 3rd Intern. conf. on mathematical modelling and information technologies in welding and related processes, Kiev, Ukraine, June, 2006. — Kiev: PWI, 2006. — P. 258–263.
2. *Phenomenological model of existence and interaction of the system of activated arc and liquid channel of metal pool in A-TIG welding* / K. A. Yushchenko, D. V. Kovalenko, I. V. Kovalenko et al. — S. I., [2007]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-212–1112–07).
3. *Experimental studies and mathematical modelling of penetration in TIG and A-TIG stationary arc welding of stainless steel* / K. A. Yushchenko, D. V. Kovalenko, I. V. Krivtsun et al. S. I., [2008]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-212–1117–08).
4. *Yushchenko K. A., Kovalenko D. V., Kovalenko I. V. Investigation of peculiarities of A-TIG welding of stainless steels.* — S. I., [2003]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. 212–1047–03).
5. *Lancaster J. F., Mills K. C. Recommendations for the avoidance of variable penetration in gas tungsten arc welding.* — S. I., [1991]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. 212–796–/91).
6. *Taimatsu M., Nogi K., Ogino K. J. Surface tension of liquid Fe-O alloy // High Temp. Soc. Jap.* — 1992. — **18**. — № 1. — P. 14–19. (яп. яз.).

Calculation and experimental data were used to conduct analysis of temperature distribution on weld pool surface in TIG and A-TIG welding of stainless steel by stationary and moving arc. It is shown that in TIG and A-TIG welding the temperature distribution of weld pool surface is above the boiling temperature and has a characteristic «platform, the dimensions of which are commensurate with those of the arc anode spot. The maximum temperature and dimensions of this «platform» are somewhat smaller in A-TIG welding. Problems of mathematical description and simulation of Marangoni convection in A-TIG welding, developing by thermocapillary and concentration-capillary mechanisms, are discussed. Two circulation flows can form in the weld pool, their interaction giving rise to melt flow directed in-depth of the weld pool.

Поступила в редакцию 24.07.2010



УДК 621.791.669.15.018

РИСК ОБРАЗОВАНИЯ КАРБИДОВ И σ -ФАЗЫ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **С. С. КОЗЛИТИНА**, **Л. И. ДЗЮБАК**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины), **В. П. КРАВЕЦ**, инж. (Ривненская АЭС)

Рассмотрена возможность прогнозирования расчетным путем риска образования σ -фазы в металле ЗТВ хромоникелевых сталей при содержании углерода порядка 0,08% и выше. Показано, что использование температурно-временных диаграмм состояния стали соответствующего состава в сочетании с температурными циклами точек в металле ЗТВ позволяет прогнозировать степень сенсibilизации соответствующего участка ЗТВ при различных режимах сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, хромоникелевые стали, сварные соединения, сенсibilизация, σ -фаза, межкристаллитные трещины, коррозия под напряжением, температурно-временная диаграмма

Проблема образования третьих фаз при сварке аустенитных хромоникелевых сталей с повышенным содержанием углерода является одной из фундаментальных. Для ее решения разработаны соответствующие рекомендации, вошедшие во многие справочники [1 и др.]. Характерно, что указанные третьи фазы (кроме исходных аустенита и феррита) появляются после первичной кристаллизации при некоторой выдержке в определенном температурном интервале (рис. 1). При однократной сварке они не создают серьезных проблем для металла околошовной зоны. Однако при многократной сварке наложение кривых термических циклов для конкретных точек околошовной зоны на соответствующие температурно-временные диаграммы (c -кривые) для стали определенного состава (рис. 2) показывает, что в околошовной зоне происходит накопление условий для образования карбидов хрома по границам зерен (за счет диффузии углерода, контролируемого c -кривой на рис. 2, а), либо накопление σ -фазы за счет распада δ -феррита и образования сложных интерметаллидов (рис. 2, б), контролируемое также диффузионными процессами. В работе [2] для описания c -образных кривых, связанных с образованием σ -фазы, использован метод Аврами [2, 3] при коэффициентах, определяемых в зависимости от температуры и степени образования новой фазы при данной температуре в случае очень длительной выдержки во времени. Большой разброс значений соответствующих коэффициентов для описания c -образных температурно-временных кривых, типа приведенных на рис. 2, затрудняет использование данного метода.

В настоящей работе предлагается подход, базирующийся на численном интегрировании накопления эффекта присутствия новой фазы в конкретной точке околошовной зоны с заданным термическим циклом $T(t')$ на основе данных соответствующей c -образной кривой, для которой в любой точке $T_{\min} < T < T_{\max}$ можно вычислить производную $\partial T / \partial t$, пропорционально которой развивается указанный процесс накопления [4].

При образовании химического соединения (карбидов хрома) (рис. 2, а) интегрирование для

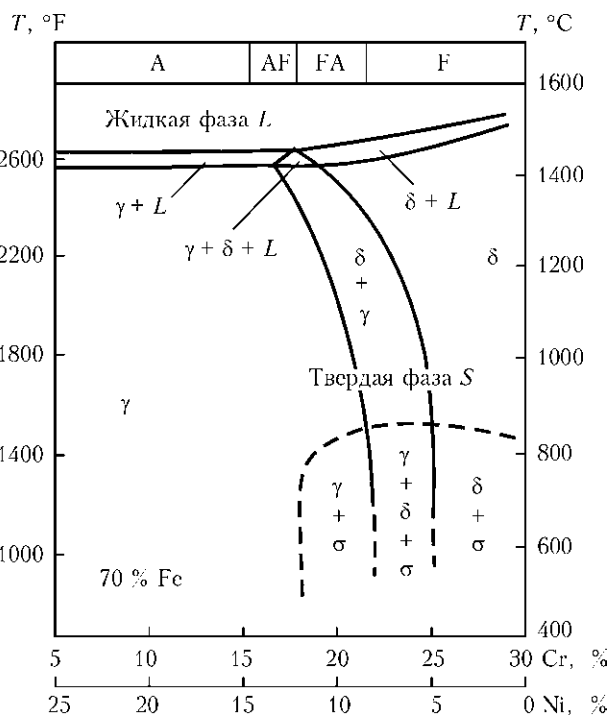


Рис. 1. Диаграмма фазового состояния системы Fe–Cr–Ni при 70 % Fe [1]: А — аустенитная кристаллизация; АF — преимущественно аустенитная кристаллизация; FА — преимущественно ферритная кристаллизация; F — ферритная кристаллизация

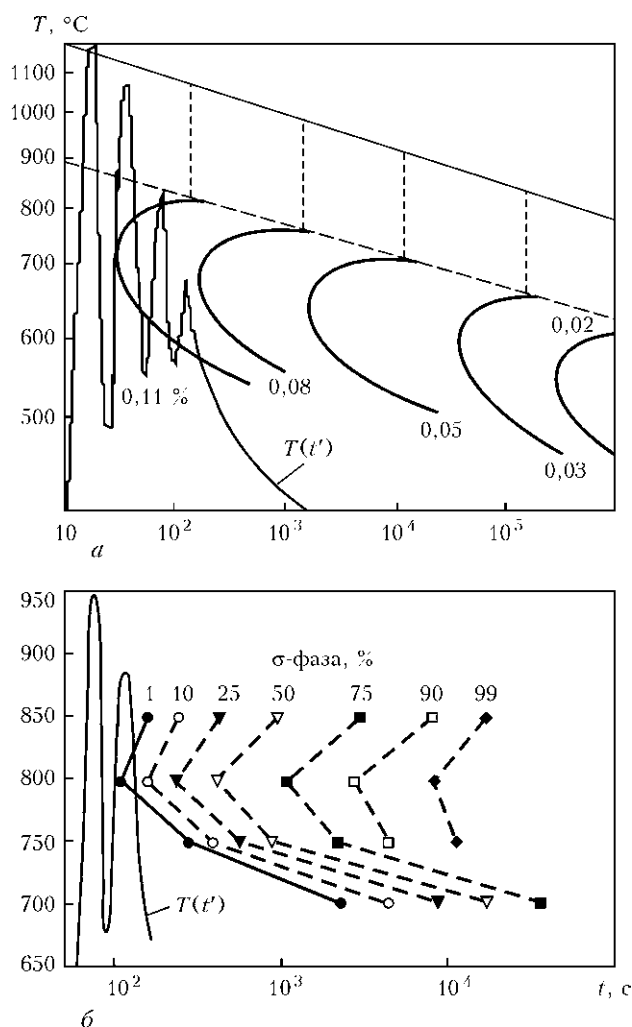


Рис. 2. Температурно-временные диаграммы образования карбидов в стали типа 18Cr9Ni в зависимости от содержания углерода [1] (а) и σ -фазы в стали DSS (22,4 Cr; 4,88 Ni; 3,13 Mo; 0,14 Mn; 0,67 Si; 0,18 N; 0,023 C) [2] (б)

сплава с конкретным содержанием углерода при $\partial T / \partial \tau \approx T / \tau$ дает

$$v_{\text{карб}} = \int_{\tau(T_{\text{max}})}^{\tau(T_{\text{min}})} \frac{dt'}{\tau(T)} \approx v_{\text{карб}} \chi, \quad (1)$$

где $\chi = \int_{\tau(T_{\text{max}})}^{\tau(T_{\text{min}})} \frac{dt'}{\tau(T)}$ — степень сенсibilизации в

данной точке ЗТВ с термическим циклом $T(t')$; $v_{\text{карб}}$ — содержание карбидов, соответствующие данной s -образной кривой на рис. 2, а.

В случае σ -фазы, когда интенсивность накопления зависит как от температуры, так и степени уже накопленной σ -фазы (рис. 2, б), интегрирование ведется по каждой s -образной кривой, соответствующей накопленной σ -фазе (рис. 2, б), т. е.

Значения $\tau(T)$ в зависимости от температуры для содержания углерода 0,11 и 0,08 %

$T, ^\circ\text{C}$	$C = 0,11 \%$	$C = 0,08 \%$
540	754,6	—
550	635,5	—
560	546,3	1000,0
570	419,8	894,1
580	300,8	793,5
590	233,9	719,4
600	122,3	629,4
610	85,5	555,3
620	79,6	502,4
630	73,6	444,1
640	67,7	401,8
650	62,5	364,7
660	58,0	338,7
670	53,6	327,6
680	48,3	306,5
690	46,1	327,6
700	44,6	343,5
710	43,1	375,3
720	45,4	417,6
730	47,6	470,6
740	50,6	613,5
750	55,0	931,2
760	58,0	1158,8
770	64,7	—
780	71,4	—
790	85,5	—
800	94,5	—

$$v_{\sigma} = \sum_{j=1} \bar{v}_{\sigma j} \int_{\tau(T_{\text{max}})}^{\tau(T_{\text{min}})} \frac{dt'}{\tau_j(T)}, \quad (2)$$

где $\bar{v}_{\sigma j}$ — цена j -й s -образной кривой на рис. 2, б.

Рассмотрим два конкретных примера. В конце октября 1997 г. в период проведения среднего планового ремонта на энергоблоке № 3 Чернобыльской АЭС был проведен 100%-й контроль 1451 стыкового соединения трубопровода Ду 300 первого контура многократной принудительной циркуляции. Из них 208 стыков имели дефекты, которые квалифицировались как трещины межкристаллитной коррозии под напряжением. Трубопроводы Ду 300 сечением 325×16 мм эксплуатировались с апреля 1981 г., материал труб — сталь 08X18H10T, стыки заварены проволокой марки 04X19H11M3, обеспечивающей низкое со-



держание углерода в металле шва (на уровне менее 0,06 %).

Межкристаллитные трещины были обнаружены в металле ЗТВ (рис. 3) вблизи внутренней поверхности. На рис. 4 приведен термический цикл, связанный со сваркой за шесть проходов (с учетом корневого прохода), согласно данным [5]. Использовали оцифрованную s -образную кривую из таблицы. Степень сенсibilизации по данным рис. 4 в зависимости от прохода следующая: корневой — 0,0085; 1 — 0,0529; 2 — 0,0536; 3 — 0,0306; 4, 5 — 0. Из этих данных видно, что $\chi_s \approx 0,15$, т. е. имеет место достаточно заметная степень сенсibilизации участков металла ЗТВ на внутренней поверхности трубы, что с учетом дополнительных факторов (напряженное состояние в металле ЗТВ на внутренней поверхности и наличие коррозионной среды — вода первого контура при температуре около 280 °С) способствовало зарождению и развитию повреждений — трещин межкристаллитной коррозии под напряжением. В ряде работ, например [5], показано, что вязкость разрушения металла ЗТВ стали 08X18H10T в районе рассматриваемых стыков Ду 300 находится на уровне 65 МПа·м^{1/2}, т. е. значительно ниже таковой за пределами ЗТВ, где нет сенсibilизации.

Рассмотрим еще один пример. В 2009 г. на блоке № 2 Ривненской АЭС в трубопроводе первого контура на отводе 90 Ду 273×20 в зоне сварного стыка присоединения к тройнику Ду 250 (рис. 5) возникла течь. Материал трубопровода — сталь 08X18H10T.

Методами неразрушающего контроля установлено, что имеет место трещинообразный сквозной дефект длиной около 150 мм на внутренней поверхности вдоль ЗТВ кольцевого шва с выходом на наружную поверхность в виде значительно меньшей длины окружной трещины (около 10 мм). Начало трещины на внутренней поверхности и конец на наружной имеют различные осевые координаты, отличающиеся на 20...30 мм, т. е. трещина развивалась не перпендикулярно оси трубы, а в плоскости под углом около 45° к этой оси. Если считать, что обнаруженный дефект — это трещина межкристаллитной коррозии под напряжением, то местом ее зарождения является сенсibilизированный участок ЗТВ на внутренней поверхности (рис. 6, а) в результате многопроходного (6–7 проходов) воздействия термических циклов, по типу приведенных на рис. 4. Трещина развивалась в течение длительного периода времени (блок введен в эксплуатацию в 1981 г.) под действием осевых напряжений σ_{xx} от внутреннего давления в трубе

$$\sigma_{xx}(P) = P \frac{R/\delta}{(2 + \delta/R)} \quad (3)$$

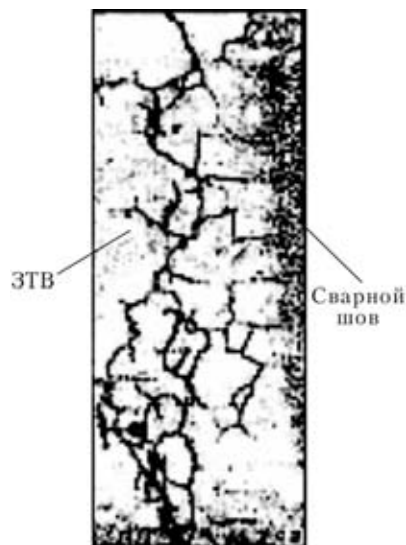


Рис. 3. Микроструктура (уменьш. 3/4) кольцевых эксплуатационных трещин в околошовной зоне сварного соединения Ду 300

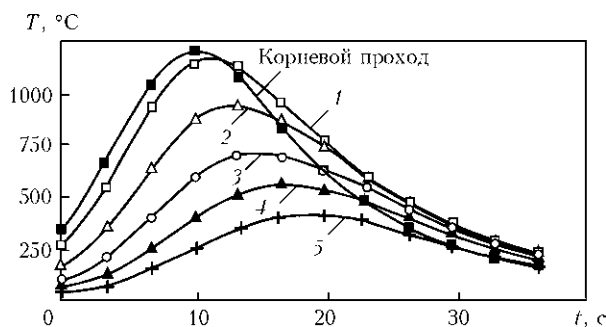


Рис. 4. Температурные циклы на внутренней поверхности при корневом проходе и последующих слоях (1–5)

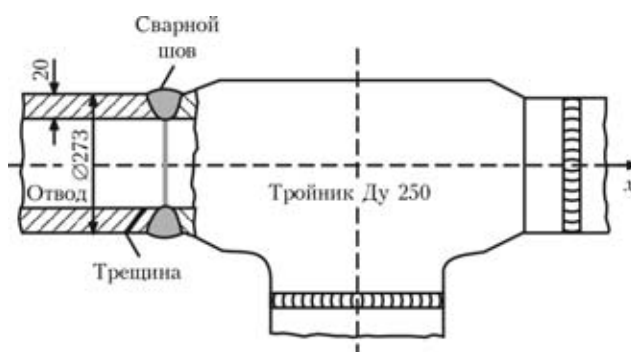


Рис. 5. Схема трещины в сварном соединении отвода с тройником

и остаточных сварочных напряжений [6]

$$\sigma_{xx}^{св} \approx -\sigma_0 \left[\cos \frac{\pi x}{2x_1} \right] \frac{2z}{\delta} \text{ при } 0 < x < x_1, -\delta/2 < z < \delta/2, \quad (4)$$

$$\sigma_{xx}^{св} \approx -\sigma_2 \left[\sin \frac{\pi(x-x_1)}{2(x_2-x_1)} \right] \frac{2z}{\delta} \text{ при } x_1 \leq x < x_2, -\delta/2 < z < \delta/2,$$

где R — внутренний радиус трубы.

Приближенные зависимости (4), описывающие результаты численных исследований для кольце-

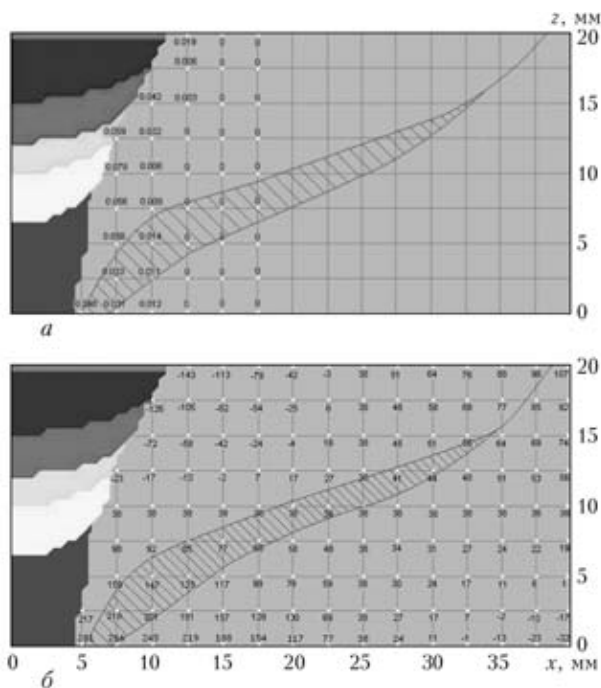


Рис. 6. Вероятная траектория трещины межкристаллитной коррозии под напряжением и расчетные значения χ_{Σ} при шестипроходной сварке стыкового шва ($\delta = 20$ мм, сталь 08X18H10T) (а) и поперечных напряжений σ_{zz} [МПа] (б)

вых сварных стыков труб из аустенитной стали, построены по данным работы [6]. Параметры распределения σ_0 , σ_2 , y_1 , y_2 в зависимости от $\sqrt{R\delta}$, $q_{\text{п}}/\delta$ и σ_T приведены в работе [6], т. е. для

$$R = \frac{243}{2} - 20 = 116,5 \text{ мм}, \sqrt{R\delta} = 48,3 \text{ мм},$$

$$q_{\text{п}} \approx 8372 \text{ Дж/см}^2, \sigma_T = 300 \text{ МПа}$$

получим

$$\sigma_0 = 270 \text{ МПа}, \sigma_2 = -75 \text{ МПа}, y_1 \approx 30 \text{ мм}, y_2 = 75 \text{ мм}.$$

Соответствующие результаты расчета суммы $\sigma_{xx}(P) + \sigma_{xx}^{\text{CB}} = \sigma_{xx}$ в различных точках (z, x) в стенке трубы в зоне сварного соединения приведены на рис. 6, б. Из этих данных видно, что траектория обнаруженного трещинообразного дефекта является результатом компромиссов между высокими значениями χ_{Σ} сенсibilизации материала в ЗТВ

и растягивающих напряжений σ_{xx} , что позволяет считать механизмом образования и развития обнаруженного дефекта межкристаллитную коррозию под напряжением.

Установка герметичной муфты в зоне указанного сквозного дефекта, при которой давление в зоне дефекта, одинаковое на внутренней поверхности трубы и на наружной (между стенками трубы и муфты), обеспечивала резкое снижение риска спонтанного роста дефекта, что позволило ввести в эксплуатацию 2-й блок Ривненской АЭС в разгар зимней кампании 2009 г. до предстоящего среднего ремонта в 2010 г.

Выводы

1. При сварке аустенитных сталей с содержанием углерода 0,08 % и более достаточно реальным является получение в околошовной зоне высокой степени сенсibilизации металла, связанной с чувствительностью к межкристаллитной коррозии под напряжением, а также охрупчиванием металла в ЗТВ.

2. Использование температурно-временных диаграмм образования карбидов и σ -фазы для аустенитных сталей соответствующего состава позволяет прогнозировать степень сенсibilизации металла по конкретному термическому циклу, что создает дополнительные возможности для управления структурой и свойствами в металле ЗТВ.

1. *Welding handbook. Materials and applications.* — Miami: AWS, 1998. — Pt 2. — 621 p.
2. *Eler J. W., Palmer T. A., Specht E. D.* Synchrotron based observations of sigma phase formation and dissolution in DSS / Ed. H. Cerjak // *Mathematical modelling of weld phenomena.* — 2006. — P. 297–315.
3. *Hell E. O., Algie S. H.* The sigma phase // *Metallurgical Reviews.* — 1966. — 11. — P. 61–68.
4. *Металлургия и технология сварки титана и его сплавов* / Под ред. В. Н. Замкова. — Киев: Наук. думка, 1986. — 240 с.
5. *Коррозионно-механическая прочность сварных трубопроводов реакторов РБМК из аустенитных сталей* / А. С. Зубченко, И. Л. Харина, А. С. Рунов, В. О. Маханов // *Автомат. сварка.* — 2000. — № 10/11. — С. 48–56.
6. *Махненко В. И.* Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. — Киев: Наук. думка, 2006. — 618 с.

The possibility is considered of using calculation methods to predict the risk of formation of the σ -phase in the HAZ metal of chrome-nickel steels at a carbon content of about 0.08 % or higher. It is shown that the use of temperature-time constitutional diagrams for steel of a corresponding composition, combined with temperature cycles at points in the HAZ metal, allows predicting the degree of sensitization of the corresponding HAZ region under different welding conditions.

Поступила в редакцию 14.04.2010



О ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В АГЛОМЕРИРОВАННОМ ФЛЮСЕ СОЛЕОКСИДНОЙ ШЛАКОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАГРЕВЕ

В. Э. СОКОЛЬСКИЙ, д-р хим. наук, **А. С. РОИК**, канд. хим. наук, **А. О. ДАВИДЕНКО**, инж.
(Нац. ун-т им. Тараса Шевченко, г. Киев),

В. И. ГАЛИНИЧ, **И. А. ГОНЧАРОВ**, **Д. Д. МИЩЕНКО**, кандидаты техн. наук, **В. С. ТОКАРЕВ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Электронно-оптическими и рентгенографическими методами исследовано строение и фазовый состав агломерированного сварочного флюса системы $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaF}_2\text{--MgO}$.

Ключевые слова: дуговая сварка, агломерированный сварочный флюс, электронно-оптический и рентгенографический методы исследования, реакции взаимодействия, фазовые превращения

Производство агломерированных флюсов требует гораздо меньших энергетических затрат, чем изготовление плавных флюсов. Керамические флюсы изготавливают смешиванием в грануляторе компонентов шихты с вяжущим веществом (жидкое стекло) с последующей прокалкой при температуре 600...700 °С [1, 2]. Плавный флюс после длительной изотермической выдержки в расплавленном состоянии при 1500...1750 °С, что выше температуры его плавления на 300...600 °С, проходит закалку с помощью «мокрой грануляции» (выливания струи расплава в воду). Поэтому он имеет строение, близкое к строению расплава. В агломерированном флюсе в основном сохраняется кристаллическая структура исходных шихтовых материалов. Быстротечный процесс сварки под агломерированными флюсами при наличии различных температурных зон в сварочной ванне не может полностью обеспечить формирование шлака с более предпочтительными структурами жидкостного типа [3], а описание процессов структурообразования в них практически отсутствует в научной литературе. Таким образом, комплексное структурное исследование агломерированных флюсов представляет значительный научный интерес.

Условия эксперимента. Порошкообразный образец флюса на графитовой подложке подвергали электронно-оптическому исследованию на растровом электронном микроскопе JSM-7700F с приставкой для рентгеноспектрального химического микроанализа. Массивный образец шлака, который извлекали из тигля после полного плавления флюса (1500 °С), исследовали отдельно со стороны дна и поверхности. Для предотвращения влияния зарядки электронным пучком в общем

слабопроводящем флюсе на поверхность образца напыляли слой чистой платины толщиной 3 нм. Рентгенографический анализ (CuK_α -излучение, дифрактометр «ДРОН-3М») проводили после грануляции и просушки флюса, а также полного плавления со стороны дна и поверхности тигля.

Для проведения высокотемпературных рентгенографических исследований использовали высокотемпературный дифрактометр, предназначенный для изучения расплавов (MoK_α -излучение). Монохроматизацию излучения осуществляли парой сбалансированных дифференциальных фильтров Zr–Y [3]. Съемку провели при температурах 600, 800, 1000, 1200, 1350 и 1450 °С в высокотемпературной вакуумной камере в атмосфере высокочистого гелия.

Для интерпретации данных рентгенографического анализа использовали структурные программы Powdercell, Mercury, базы данных Match и Retgивe, которые свободно распространяются через Интернет. В расчетах при исследовании шлакового расплава использовали программы собственной разработки [3].

Исследования при комнатной температуре. Расчетное соотношение основных компонентов MgO , Al_2O_3 , SiO_2 и CaF_2 приведено в табл. 1. В грануляторе к измельченной механической смеси основных компонентов добавлено натрийкалиевое жидкое стекло. После грануляции и выдержки на воздухе проводили прокалку при 500 °С. Химический состав полученного флюса определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа.

Данные рентгенофазового анализа (рис. 1) показывают, что после грануляции и прокали в образце присутствуют только исходные компоненты — $\alpha\text{-SiO}_2$, тригональный Al_2O_3 , кубические MgO и CaF_2 . Продуктов взаимодействия компонентов флюса методами рентгенофазового анализа не обнаружено.



Таблица 1. Состав флюса для наплавки, мас. %

Оценка	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaF ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
Расчетная	10,0	25,0	40,0	25,0	—	—	—
Фактическая	8,90	22,6	42,0	22,9	1,4	0,8	1,4

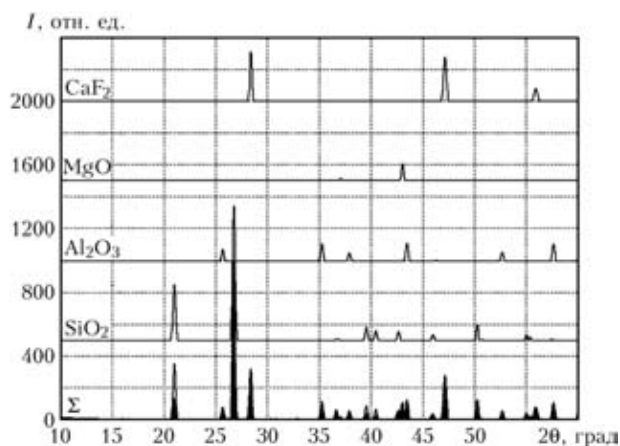


Рис. 1. Рентгенограммы составляющих перетертого в порошок агломерированного флюса и суммарная кривая после усовершенствования профиля на основе элементарных ячеек SiO₂, Al₂O₃, MgO и CaF₂ по Powdercell

В табл. 2 приведены микрофотографии и данные микроанализа дна и поверхности образца после переплавки в молибденовом тигле. Микрофотографии поверхности и дна тигля несколько различаются. Со стороны дна образовавшиеся кристаллические фазы более мелкодисперсные, наб-

людаются раковины, в которых скапливались газовые пузыри, четко просматриваются трещины. Эти особенности характеризуют хорошую отделимость шлаковой корки от дна тигля. Образец не является гомогенным. На поверхности заметно меньше фтора (0,99...3,50 ат. %), в то время как со стороны дна тигля (если не учитывать уменьшенного количества фтора в раковинах — отражение 1, спектр 2) содержание фтора превышает 7 ат. %. Наблюдаются также светлые вкрапления типа спектра 3 в отражении 2, где значительные концентрации фтора, хотя визуально площадь этих частиц незначительная.

Следует также обратить внимание на то, что приблизительное соотношение компонентов Ca:Al:Si = 1:2:2 (табл. 2) в большинстве отражений соответствует анортиту — известковому полевому шпату Ca(Al₂Si₂O₈). Содержание натрия в этих пробах значительно меньше, чем в образцах до переплава. Это означает, что щелочной оксид равномерно распределяется по объему после плавления, а не концентрируется на поверхности частиц, как в свежеприготовленном флюсе. Со стороны дна содержание фтора C_F в пределах 3...16 ат. %, в то время как со стороны поверхности C_F не превышает 3,5 ат. %. Содержание фтора не коррелирует с содержанием кальция C_{Ca} , где $C_{Ca}/C_F \neq 1:2$. Магния значительно больше со стороны дна, чем со стороны поверхности (рис. 2). Там же прослеживается зависимость C_F во всех пробах (как со стороны подложки, так и со стороны

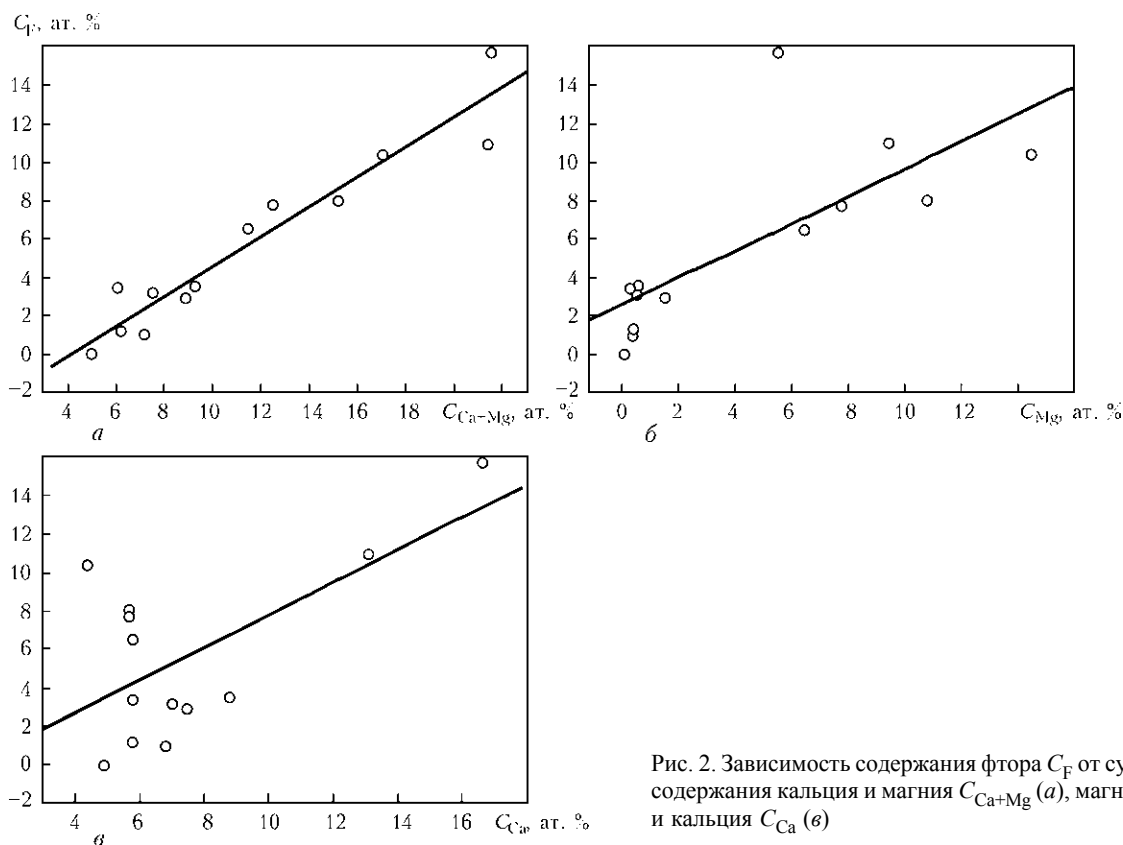
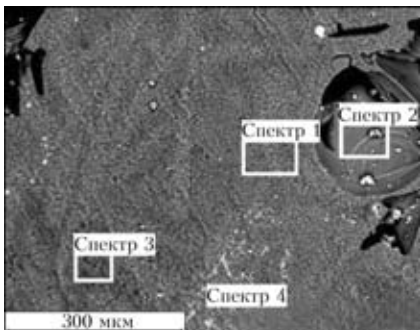


Рис. 2. Зависимость содержания фтора C_F от суммарного содержания кальция и магния C_{Ca+Mg} (а), магния C_{Mg} (б) и кальция C_{Ca} (в)

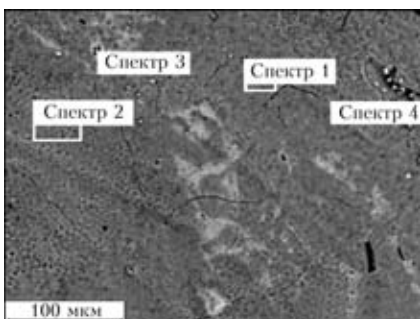


Т а б л и ц а 2. Данные рентгеноспектрального (ат. %) и визуального анализа переплавленного флюса

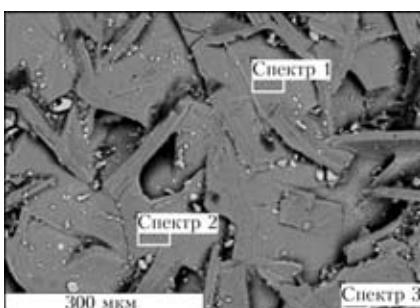
Дно, отражение 1				
Химический элемент	Спектр			
	1	2	3	4
O	58,9	67,6	56,3	54,0
F	8,0	3,4	10,3	10,9
Na	0,2	0,3	0,4	0,00
Mg	9,5	0,3	12,7	8,3
Al	6,7	12,0	5,8	2,3
Si	11,0	11,1	10,1	11,4
Ca	5,7	5,8	4,4	13,1
Ti	—	—	<0,1	—



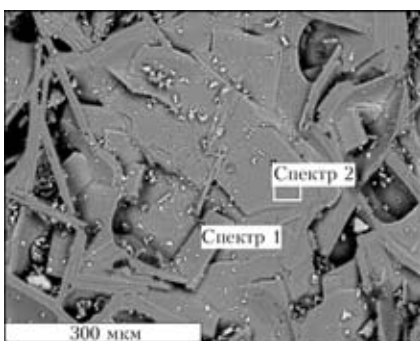
Дно, отражение 2				
Химический элемент	Спектр			
1	2	3	4	
O	59,7	60,92	51,55	63,29
F	7,7	6,48	15,63	3,17
Na	0,1	0,14	0,00	0,02
Mg	6,8	5,69	4,89	0,49
Al	8,8	9,48	1,22	13,25
Si	11,1	11,47	10,08	12,74
Ca	5,7	5,81	16,64	7,04



Поверхность, отражение 1			
Химический элемент	Спектр		
1	2	3	
O	62,6	66,0	60,9
F	2,9	1,0	3,5
Na	0,1	0,3	0,3
Mg	1,4	0,4	0,5
Al	12,8	12,8	13,5
Si	12,7	12,6	12,6
Ca	7,5	6,8	8,8



Поверхность, отражение 2		
Химический элемент	Спектр	
1	2	
O	72,1	67,9
F	—	1,2
Na	0,1	0,1
Mg	0,1	0,4
Al	11,7	12,5
Si	11,1	12,1
Ca	4,9	5,8



дна) от C_{Ca+Mg} , C_{Mg} и C_{Ca} . На наш взгляд, такая зависимость C_{Ca+Mg} с наибольшим из трех коэффициентов корреляции свидетельствует о том, что фтор частично перераспределяется между кальцием

и магнием, что предполагает образование оксида кальция за счет оксида магния.

Рентгенофазовый анализ переплавленного при 1500 °С образца (рис. 3) свидетельствует о том,

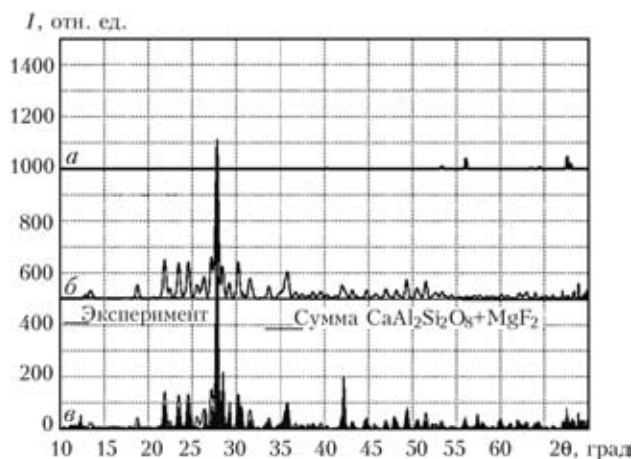


Рис. 3. Дифрактограммы флюса при 1500 °С со стороны дна: а, б — усовершенствованный профиль соответственно фторида магния и анортита; в — эксперимент и суммарная кривая из моноклинного анортита и фторида магния (линия с затухающей площадью под кривой)

что основными фазами как со стороны подложки, так и со стороны дна тигля являются триклинная ($a = 0,8192$ нм, $b = 1,2869$ нм, $c = 1,4180$ нм, $\alpha = 93,18^\circ$, $\beta = 115,63^\circ$, $\gamma = 91,08^\circ$) и моноклинная ($a = 0,8235$ нм, $b = 0,863$ нм, $c = 0,4833$ нм, $\alpha = 90,00^\circ$, $\beta = 89,37^\circ$, $\gamma = 90,00^\circ$) модификации анортита. Со стороны дна в небольших количес-

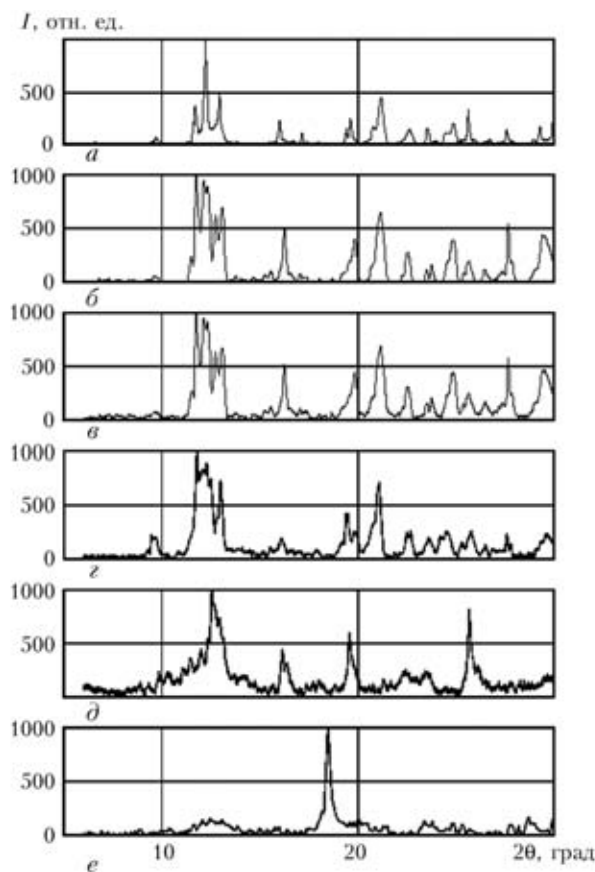


Рис. 4. Дифрактограммы флюса при различных температурах: а — комнатная температура; б–е — соответственно 600, 800, 1000, 1200, 1350 °С

твах присутствует MgF_2 (рис. 3). Таким образом, рентгенофазовый анализ подтверждает тот факт, что при переплавке кальций и магний обмениваются анионами и в анортите кальций (по крайней мере частично) находится в форме оксида, а магний, частично, образует фторид.

Высокотемпературные рентгеновские исследования в твердом состоянии. Чтобы проследить последовательность реакций в твердой фазе перетертый в порошок керамический флюс помещали в молибденовый тигель, который располагался на рабочем столе высокотемпературной вакуумной камеры дифрактометра для исследования расплавов [3], и подвергали высокотемпературному рентгенофазовому анализу. Как показал анализ, структурные изменения в образце происходят во всем температурном интервале (рис. 4). До 1200 °С эти изменения происходят в твердой фазе. При низких температурах перестройки идут медленно и в основном происходят внутри фаз. Например, уже при 600 °С резко уменьшается наиболее интенсивный пик, который отвечает 100%-й интенсивности гексагонального α -кварца. В то же время появляются пики, которые можно отнести к другим модификациям кремнезема.

При более высоких температурах начинаются межфазные взаимодействия. Надо учесть, что в агломерированном флюсе основные компоненты находятся в матрице из вязущего материала (продукт термообработки жидкого стекла). Поэтому межфазное взаимодействие будет происходить в результате диффузии атомов компонентов флюса в матрицу, и наоборот. Согласно правилу Сена [4] скорость диффузии больше в направлении того тела, в котором большие межатомные расстояния. Из всех компонентов флюса наибольшие межатомные расстояния ($R_{\text{катион-анион}}$) реализуются при изготовлении жидкого стекла из натриево-калиевой силикатной глыбы (расстояния R_{Na-O} и R_{K-O}), в связи с чем продукты на основе жидкого стекла насыщаются остальными компонентами флюса. Скорость диффузии может дополнительно увеличиться в результате образования вакансий при испарении воды из жидкого стекла (испаряющаяся группа OH^- и пришедший ей на замену анион F^- имеют близкие ионные радиусы 0,118 и 0,115 нм соответственно).

Следует указать на трудности интерпретации дифрактограмм многокомпонентных веществ, большинство из которых имеет низкую симметрию. Например, на рис. 5 видно, что отражения MgF_2 перекрываются отражениями уширенного анортита.

Для интерпретации полученных результатов необходимо использовать сложную диаграмму состояния $Na_2O-Al_2O_3-MgO-CaO-SiO_2-CaF_2-MgF_2$, но такой оксидно-фторидной диаграммы



в научной литературе не существует. Ближайшая исследованная диаграмма состояния — четырех-компонентная система $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ [4, 5], на которой поле кристаллизации анортита появляется на сечении 15 % Al_2O_3 и вытесняет поля кристаллизации волластонита (CaSiO_3) и пироксена (MgSiO_3). При 20 % Al_2O_3 поле кристаллизации волластонита отсутствует, а пироксена сильно сужается. На сечении 10 % MgO уже нет полей кристаллизации алюмината кальция, но есть поля кристаллизации периклаза (MgO), шпинели (Al_2MgO_4), кордиерита ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) [4]. Характерно, что на диаграмме состояния системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ анортит образуется при небольших содержаниях MgO (10...15 %), при более высоких содержаниях оксида магния образуются шпинели.

Рассмотрим механизм анионного перераспределения между катионами кальция и магния. Упрощенно проиллюстрируем химическое взаимодействие в смеси твердых реагентов в матрице вяжущего материала (рис. 6). На первой стадии компоненты после грануляции помещаются в матрицу вяжущего вещества (рис. 6, а). При повышении температуры значительно усиливается диффузия на поверхности контакта фаз и в матрице вяжущего материала на основе продуктов прокаливания жидкого стекла образуются поверхностные слои, насыщенные контактирующими фазами (рис. 6, б). На третьей стадии процесса образуются более сложные химические соединения на основе взаимодействия пограничных слоев вокруг компонентов внутри вяжущей матрицы (рис. 6, в). Дальнейшее повышение температуры и растворение компонентов может привести к

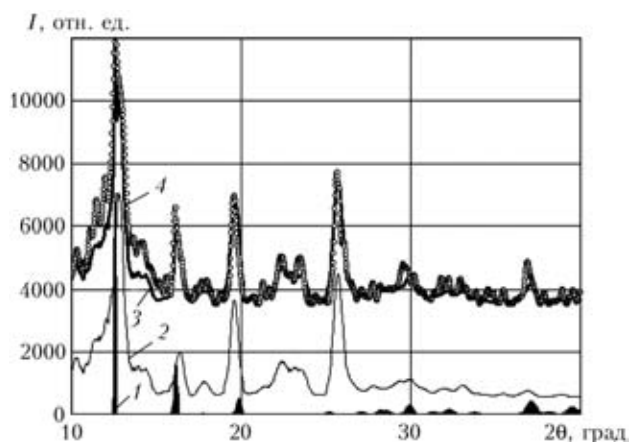


Рис. 5. Рентгенограммы MgF_2 (1) и $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ с уширенной полушириной пиков после усовершенствования дифракционного профиля (2) по Powdercell, суммарная 1+2 (3) экспериментальная кривая при 1200 °C (4)

плавлению (вероятно частичному) и образованию сначала локальных расплавленных включений. Скорость диффузии вещества между расплавленными группировками значительно возрастет. Менее значительно увеличится диффузия между твердыми и жидкими компонентами. Таким образом, на заключительной стадии (рис. 6, г) образуется однородная жидкая матрица и частично растворенные компоненты флюса. Если силикатный модуль у жидкого стекла невысокий, то растворение в нем кремнезема с повышением силикатного модуля может значительно снизить температуру образования жидкой натриево-силикатной фазы до 790 °C (самая легкоплавкая эвтектика в системе $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ имеет состав $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$ + жидкость $T_{\text{пл}} = 793$ °C). Очевидно, что растворение других компонентов флюса также по-

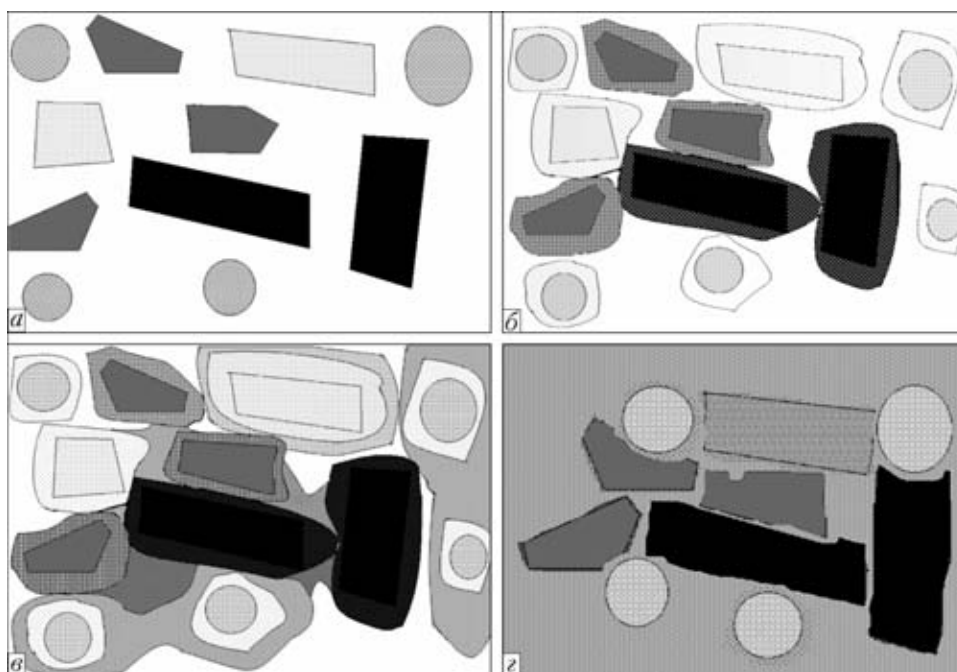
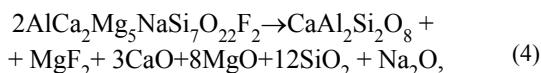
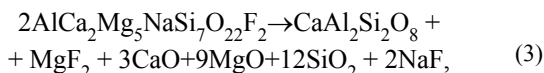
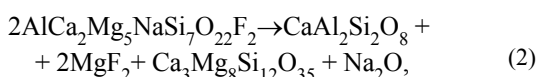
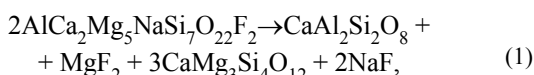


Рис. 6. Структурные изменения при нагреве флюса: а-г — соответственно первый-четвертый периоды



нижает температуру смеси силиката натрия. При дальнейшем повышении температуры все компоненты или плавятся, или полностью растворяются в жидкой фазе с образованием однородной гомогенной жидкой фазы.

При низких температурах прокали (3 период), вероятно, образуются сложные оксифторидные соединения на основе продуктов разложения жидкого стекла и пограничного с ним слоя из нескольких компонентов флюса (например, $\text{AlCa}_2\text{Mg}_5\text{NaSi}_7\text{O}_{22}\text{F}_2$). Такие соединения не могут быть устойчивыми в широком температурном интервале, поскольку состоят из большого количества разнозарядных катионов и анионов с существенными различиями в размерах ионных радиусов. Возможно, соединения такого типа имеют не полностью сформированную кристаллическую структуру или даже существуют в аморфном виде, поскольку время их выдержки при высоких температурах невелико (на рентгенограммах их также не обнаружено). Однако если они образовались, а потом разложились при высоких температурах, то возможный распад $\text{AlCa}_2\text{Mg}_5\text{NaSi}_7\text{O}_{22}\text{F}_2$ можно представить одним из уравнений



исходя из которых следует ожидать образования MgF_2 и анортита. В пользу такого предположения может свидетельствовать тот факт, что при анализе соединений типа $\text{AlCa}_2\text{Mg}_5\text{NaSi}_7\text{O}_{22}\text{F}_2$ в диф-

ракционных базах данных установлено, что все сложные оксифториды такого типа имеют пространственную группу $C 2/m$ и анионы фтора в них выбирают своими ближайшими соседями катионы магния, а кальций окружен кислородом.

При термическом разложении такого соединения на более простые компоненты по одной из приведенных выше формул возможно преобразование оксидно-фторидных компонентов с образованием MgF_2 , CaO и анортита. Не исключено образование фторида магния и анортита по другим механизмам. Анортит как полевой шпат является одним из самых распространенных минералов земной коры, идентифицируется в метеоритном веществе, глубинном веществе коры и, возможно, в мантии, что свидетельствует о его достаточной устойчивости. Поэтому образовавшиеся зародыши анортита по одной из реакций (1)–(4) могут наращиваться за счет других компонентов флюса Al_2O_3 и SiO_2 , а также CaO , который образовался по реакции (3), (4).

При 1200 °C образец частично плавится, частично остается и кристаллическая фаза. При взаимодействии жидкой и твердой фаз значительно увеличивается как поверхность взаимодействия ($10^4 \dots 10^7$), так и интенсивность массопередачи в результате диффузии на несколько порядков [4]. Таким образом, основные компоненты могут раствориться в жидкой фазе, остается только кристаллический анортит ($T_{\text{пл}} = 1540$ °C) и MgF_2 ($T_{\text{пл}} = 1261$ °C).

При 1350 °C дифракционная картина (см. рис. 4) неустойчивая. На первой съемке на фоне жидкой фазы присутствуют отражения MgO . Вероятно, разложилось одно из более сложных соединений, часть которого растворилась в жидкой фазе. На второй и третьей съемках отражения MgO пропадают, однако на фоне жидкостной составляющей присутствуют кристаллические пики, идентифицировать которые не удалось.

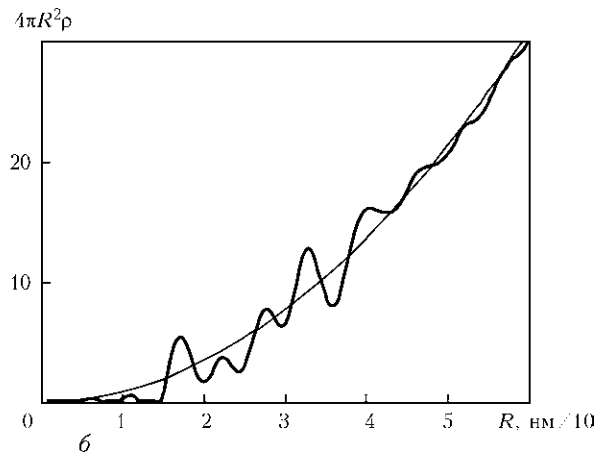
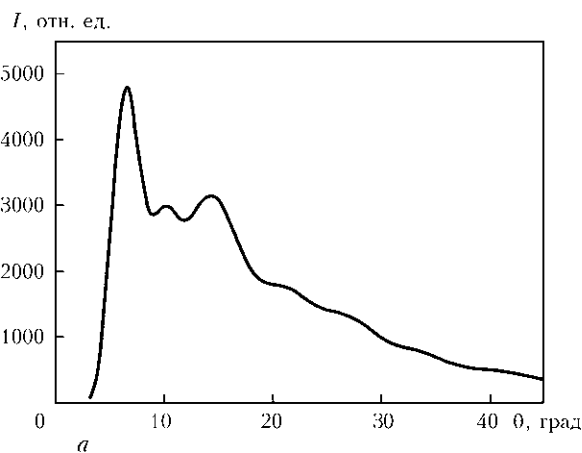


Рис. 7. Кривая интенсивности рассеянных рентгеновских лучей от расплавленного образца (а) при 1450 °C и кривая радиального распределения атомов (б)



Рентгенографическое исследование расплавленного флюса. Жидкая фаза полностью формируется при 1450 °С (рис. 7, а). Провести рентгенографические исследования при более высоких температурах не удалось, поскольку расплавленный шлаковый расплав начинает пузыриться при 1500 °С, что существенно искажает свободную поверхность шлакового расплава, основные требования к которой — отсутствие неровностей и горизонтальность. Поскольку свободная поверхность жидкости всегда стремится занять горизонтальное положение, пузырение, подобно процессу кипения, сильно искажает поверхность.

Как показали электронно-микроскопические исследования, химический состав поверхности и дна тигля не соответствуют друг другу. Так, со стороны поверхности (см. табл. 2) значительно меньше фтора, чем со стороны дна тигля, т. е. со стороны дна меньше оксидная и больше фторидная составляющая, что делает расплавленный флюс в месте контакта с металлом еще более кислым.

В заключение следует отметить, что проведенное исследование показало сложный характер взаимодействия в агломерированном флюсе перед формированием расплавленной шлаковой фазы. Основные структурные изменения при нагреве флюса до 1200 °С происходят в результате твердофазных взаимодействий в продукте, образованном спеканием жидкого стекла с граничащими с ними основными компонентами флюса. Возможно образование сложных соединений типа $\text{AlCa}_2\text{Mg}_5\text{NaSi}_7\text{O}_{22}\text{F}_2$.

Electron-optical and X-ray diffraction methods were used to study the structure and phase composition of agglomerated welding flux of $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaF}_2\text{--MgO}$ system.

В области температур около 1200 °С начинается формирование жидкой фазы путем плавления спека жидкого стекла с основными компонентами и сложных неустойчивых соединений. При этом происходит анионное перераспределение между катионами кальция и магния. В результате формируется анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Еще одним продуктом распада сложных соединений может быть образование MgF_2 в результате того, что фтор в них находится в ближайшем окружении магния. При 1350 °С MgF_2 является основной кристаллической фазой на фоне жидкой.

При 1450 °С наблюдается полное плавление флюса, однако расплав не является гомогенным, строение дна и поверхности полученной шлаковой корки заметно отличаются.

Авторы выражают благодарность фирме «Токё Боёки» и лично канд. физ.-мат. наук В. А. Тинькову за проведение электронно-микроскопического исследования и помощь в интерпретации полученных данных.

1. Подгаецкий В. В., Кузьменко В. Г. Сварочные шлаки. — Киев: Наук. думка, 1988. — 252 с.
2. Подгаецкий В. В., Люборец И. И. Сварочные флюсы. — Киев: Наук. думка, 1978. — 232 с.
3. Структурные особенности расплавов оксидных систем / А. П. Шпак, В. Э. Сокольский, В. П. Казимиров и др. — Киев: Академперіодика, 2003. — 138 с.
4. Физическая химия силикатов / А. А. Пашенко, А. А. Мясников, Е. А. Мясникова и др.; под ред. А. А. Пашенко. — М.: Высш. шк., 1986. — 368 с.
5. Бережной А. С. Многокомпонентные системы окислов. — Киев: Наук. думка. — 544 с.

Поступила в редакцию 18.02.2010

НОВАЯ КНИГА

Кононенко В. Я. Сварка алюминия. — К., 2010. — 216 с.

В справочнике систематизирована информация о технологиях газовой сварки, дуговой сварки алюминия покрытым электродом, в среде защитных газов неплавящимся и плавящимся электродом, а также об оборудовании, инструментах, приспособлениях для реализации этих технологий. Приведены системы маркировки электродов и проволок, описано сложившееся состояние нормативной документации в этом направлении.

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





ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА $WC-W_2C$, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

А. И. БЕЛЫЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований износостойкости и прочности частиц плавящихся карбидов вольфрама $WC-W_2C$, полученных различными способами: механическим дроблением слитков, термоцентробежным распылением и сфероидизацией порошков с использованием индукционно-плазменной технологии.

Ключевые слова: наплавка, наплавочные материалы, карбиды вольфрама (релит), термоцентробежное распыление, прочность, износостойкость, наплавочные композиционные сплавы

Наплавочные композиционные сплавы, состоящие из армирующих частиц (плавленных карбидов вольфрама) и матрицы, отличаются наивысшей износостойкостью в условиях абразивного, газоабразивного и некоторых других видов износа. Характерной особенностью процесса износа таких сплавов является поэтапный износ отдельных компонентов композиции. При этом наблюдается так называемый теневой эффект, когда более износостойкие армирующие частицы берут на себя основную нагрузку от разрушающих сил, предохраняя матрицу сплава от износа.

Таким образом, при равной износостойкости матрицы работоспособность композиционных сплавов определяется их химическим составом, концентрацией, износостойкостью и прочностью армирующих частиц. В данной работе приведены результаты исследований износостойкости и прочности частиц плавящихся карбидов вольфрама $WC-W_2C$, полученных различными способами — механическим дроблением слитков, термоцентробежным распылением слитков, сфероидизацией порошков с использованием индукционно-плазменной технологии и др. [1–4].

Известно, что концентрация армирующих частиц в композиционном сплаве определяется их формой. Оптимальной является сферическая форма частиц, которая обеспечивает максимальную концентрацию износостойкой фазы, хорошую их сыпучесть и, как следствие, стабильную работу дозирующих устройств наплавочных установок [5, 6]. На рис. 1 приведены данные о насыпной плотности, а на рис. 2 — о сыпучести плавящихся карбидов вольфрама (релита) со сферической и остроугольной формой частиц, полученных по общепринятой методике [6], которые свидетельствуют о преимуществе сферической формы частиц, особенно в плане их сыпучести. Дробленые час-

тицы карбидов вольфрама через воронку диаметром 2,5 мм вообще не просыпаются.

Сделанный вывод также подтверждается значениями коэффициента заполнения K_z ленточного релита в зависимости от фракционного состава и формы армирующих частиц (рис. 3). Максимальное значение коэффициента заполнения имеет присадочный материал на основе сферических частиц релита размером 0,28...0,45 мм, минимальное — на основе дробленых частиц карбидов размером 0,63...0,90 мм, что обусловлено их соответствующей формой. Опыты проводили при свободной засыпке армирующих частиц с помощью ленточного дозатора в желобок, сформированный холоднокатаной лентой толщиной 0,3 мм и шириной 18 мм [7].

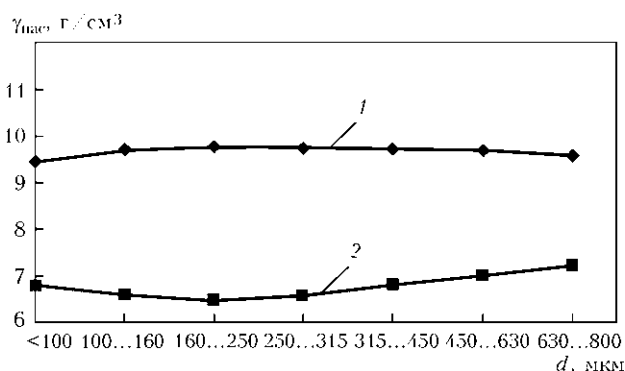


Рис. 1. Насыпная плотность $\gamma_{нас}$ сферических (1) и дробленых (2) частиц карбидов вольфрама различных размеров d

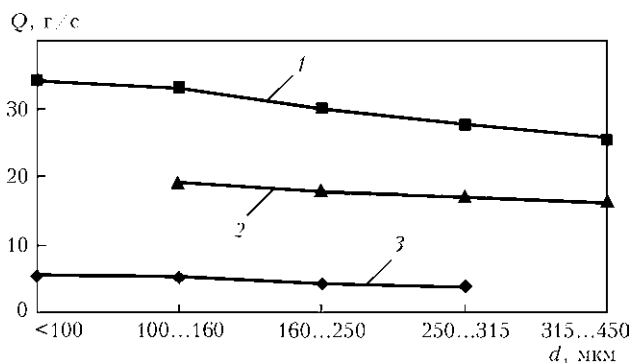


Рис. 2. Сыпучесть Q сферических $d = 5,0$ (1) и 2,5 мм (3) и дробленых $d = 5,0$ мм (2) частиц карбидов вольфрама

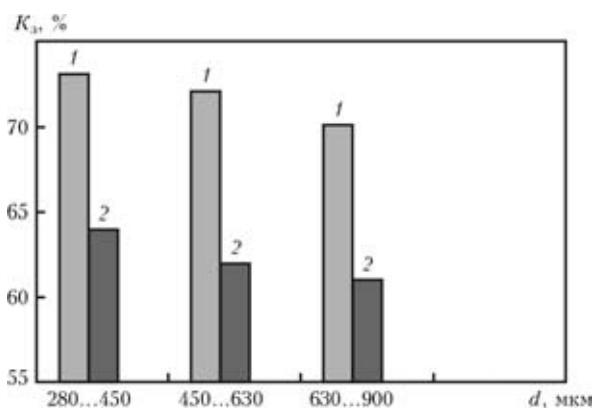


Рис. 3. Зависимость коэффициента заполнения K_z ленточного релита от фракционного состава и формы армирующих частиц сферической (1) и дробленой (2)

Таким образом, сферическая форма армирующих частиц композиционных сплавов является наиболее оптимальной для получения требуемой концентрации износостойкой фазы в наплавочном материале и износостойком слое, а также стабильной работы наплавочного технологического оборудования.

Частицы плавящихся карбидов вольфрама как дробленой, так и сферической формы имеют примерно одинаковый химический состав, а следовательно, их износостойкость будет зависеть от прочности и структуры. Необходимо отметить, что процесс термоцентробежного распыления вследствие повышенной скорости охлаждения сферических частиц положительно влияет на формирование структуры плавящихся карбидов вольфрама [8].

Абразивную износостойкость композиционных сплавов исследовали на машине НК-М [9, 10]. Абразивом служил кварцевый песок грануляции 0,05...0,50 мм. В качестве образцов использовали цилиндры диаметром 10 мм, которые изготавливали следующим образом. В графитовую форму диаметром 10 мм свободно засыпали ар-

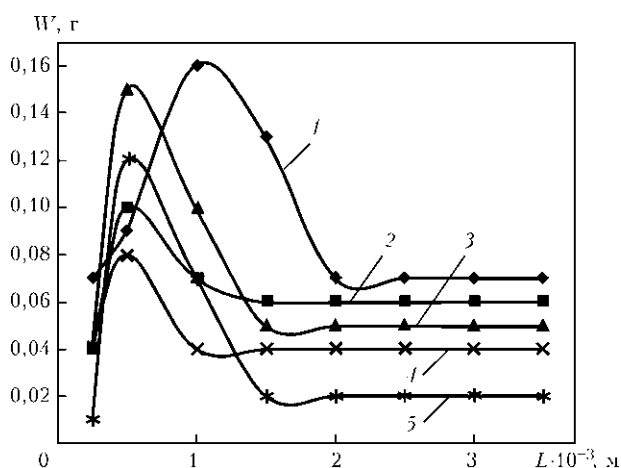


Рис. 4. Зависимость износостойкости W композиционного сплава с армирующими дроблеными частицами плавящихся карбидов вольфрама различного гранулометрического состава от пути трения L : 1 — $d < 180$; 2 — 180...250; 3 — 250...450; 4 — 450...630; 5 — 630...900 мм

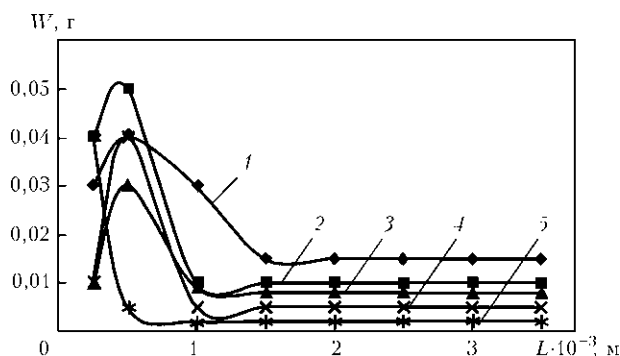


Рис. 5. Зависимость износостойкости W композиционного сплава с армирующими сферическими частицами плавящихся карбидов вольфрама различного гранулометрического состава, полученных термоцентробежным распылением, от пути трения L : 1–5 — см. рис. 4

мирующие дробленые или сферические частицы карбидов вольфрама, полученные различными способами (марки СФ-1, СФ-2, СФ-3 — сфероидизацией оплавлением порошка в различных мировых фирмах; марка ИЭС — термоцентробежным распылением в ИЭС им. Е. О. Патона). Сверху на частицы укладывали порцию матричного сплава из медно-никель-марганцевого мельхиора МНМц 60-20-20. Форму закрывали графитовой крышкой и интенсивно нагревали плазменной дугой, при этом матричный сплав пропитывал армирующие частицы. После остывания форму механически обрабатывали по диаметру и высоте. Каждый из пяти образцов имел следующие размеры частиц релита, мкм: менее 180; 180...250; 250...450; 450...630; 630...900. Износ образцов оценивали по потере их массы. Удельная нагрузка на образец составляла 0,5 Па, скорость трения 0,58 м/с, путь трения $L = 3,5 \cdot 10^3$ м.

Исследованиями установлена зависимость износостойкости композиционного сплава с армирующими дроблеными (рис. 4) и сферическими частицами (рис. 5 и 6), полученными различными способами, от пути трения. Представленные данные свидетельствуют о том, что износостойкость композиционного сплава со сферическими частицами одинакового гранулометрического состава больше, чем у дробленого релита в три и более раз (рис. 4 и 5).

В композиционных сплавах с армирующими сферическими частицами, полученными различными способами, наименьший износ отмечен у сплава с армирующими сферическими частицами карбидов вольфрама, полученными термоцентробежным распылением (рис. 6).

Установлено также, что в начальный период испытаний идет приработка изнашиваемой поверхности образцов, которая у композиционного сплава со сферическими частицами происходит на пути трения по абразиву $L \approx 1 \cdot 10^3$ м, а композиционного сплава с дроблеными частицами при $L \approx 2 \cdot 10^3$ м. Это можно объяснить неправильной формой и

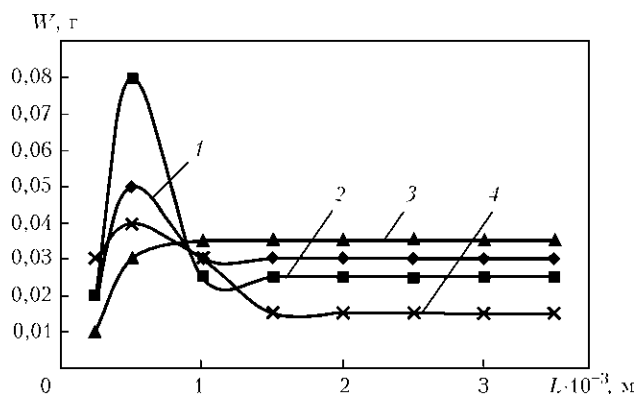


Рис. 6. Зависимость износостойкости W композиционного сплава с армирующими сферическими частицами плавных карбидов вольфрама, полученных сфероидизацией оплавлением (1 — СФ-1; 2 — СФ-2; 3 — СФ-3) и термоцентробежным распылением (4 — ИЭС), от пути трения

прочностью частиц дробленого релита, у которых их износ, разрушение и выкрашивание острых углов происходит в больший период приработки образцов.

Характерной особенностью процесса износа композиционных сплавов является стабилизация износа образцов после приработки. При этом износ образцов с дроблеными частицами релита менее стабилен. Определено, что износостойкость композиционных сплавов уменьшается с увеличением размера частиц (рис. 7), что, по-видимому, подтверждает наличие теневого эффекта.

Как указывалось выше, процесс термоцентробежного распыления повышает однородность структуры частиц плавных карбидов вольфрама, что положительно сказывается на их прочности. Усилие, необходимое для их разрушения, определяли на специальном устройстве. Частицы помещали между двумя шлифовальными пластинками и статически нагружали. Испытаниям подвергали 40 частиц каждой фракции ($d < 180$; 180...250; 250...450; 450...630; 630...900 мкм). Для дробленых зерен фракции менее 180 мкм провести измерения прочности не удалось в связи с их малым размером и сложностью определения нагрузок.

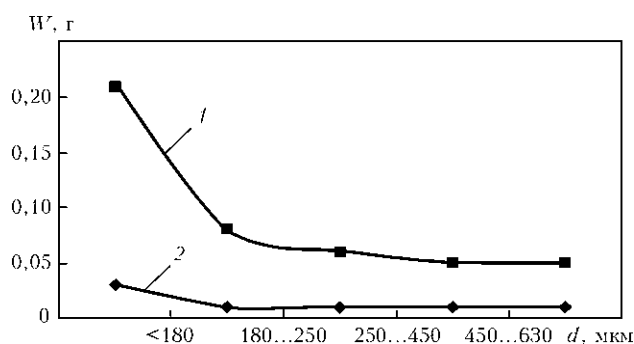


Рис. 7. Зависимость износостойкости W плавных карбидов вольфрама от размера d армирующих дробленых (1) и сферических (2) частиц при $L = 2 \cdot 10^{-3}$ м

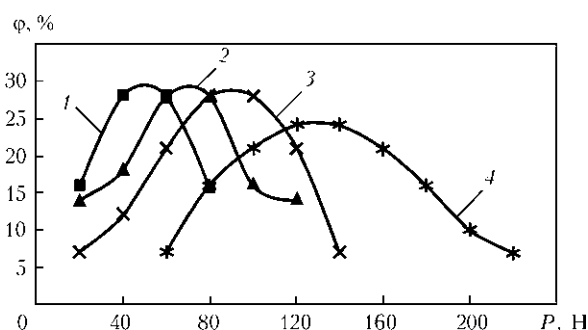


Рис. 8. Прочность ϕ частиц дробленого релита различного гранулометрического состава (ϕ — частота повторения; P — нагрузка): 1 — $d = 180...250$; 2 — 250...450; 3 — 450...630; 4 — 630...900 мкм

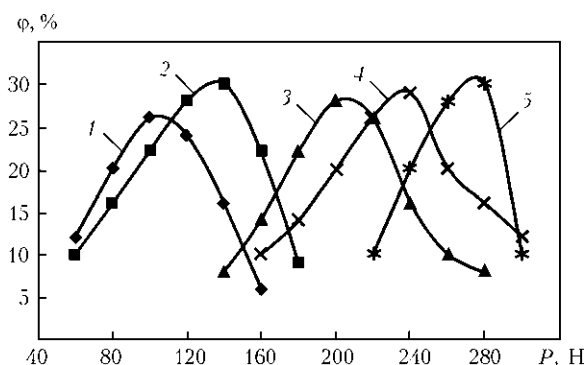


Рис. 9. Прочность ϕ сферических частиц релита различного гранулометрического состава, полученного термоцентробежным распылением: 1 — $d < 180$; 2 — 180...250; 3 — 250...450; 4 — 450...630; 5 — 630...900 мкм

На рис. 8 и 9 показано распределение прочности дробленых и сферических частиц релита разного гранулометрического состава, полученного термоцентробежным распылением. Сравнивали также прочность сферических частиц релита размером $d < 180$ мкм, полученного различными способами (рис. 10). Как видно из рисунка, самой высокой прочностью отличаются сферические частицы марки ИЭС, полученные в ИЭС им. Е. О. Патона способом термоцентробежного распыления.

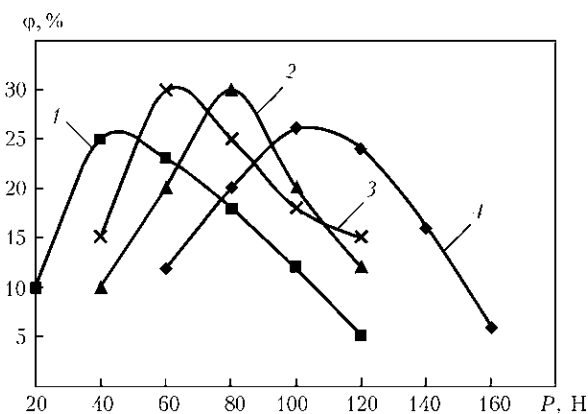


Рис. 10. Прочность ϕ сферических частиц релита, полученных сфероидизацией оплавлением (1 — СФ-1; 2 — СФ-2; 3 — СФ-3) и термоцентробежным распылением (4 — ИЭС)



Выводы

1. Сферическая форма армирующих частиц композиционных сплавов является оптимальной для достижения высокой концентрации износостойкой фазы в наплавочных материалах и износостойком слое, а также обеспечения стабильной работы технологического наплавочного оборудования.

2. Результатами исследований абразивной износостойкости композиционного сплава медно-никель-марганцевый мельхиор МНМц 60-20-20 + + релит, полученного различными способами, установлено, что наименьший износ наблюдался у сплава со сферическими частицами карбида вольфрама марки ИЭС, полученными термоцентробежным распылением слитков по технологии ИЭС им. Е. О. Патона. При этом увеличение размеров армирующих частиц повышает износостойкость композиционного сплава.

3. Исследования прочности частиц карбида вольфрама, полученных различными способами, показали, что наибольшую прочность имеют частицы, полученные термоцентробежным распылением в ИЭС им. Е. О. Патона.

1. *Состояние и перспективы развития производства релита для наплавки буровых долот* / В. В. Паренчук, А. И. Бельи, А. П. Жудра, В. И. Дзыкович // Цвет. металлы. — 2001. — № 1. — С. 92–93.
2. *Меерсон Г. А., Зеликман А. Н.* Металлургия редких металлов. — М.: Metallurgy, 1973. — 608 с.
3. *Dignard N. M., Boulos M. I.* Ceramic and metallic powder spheroidization using induction plasma technology // Materials of the united thermal spray conf., 15–19 Sept., 1997, Indianapolis. — Indianapolis: CRTP, 1997. — P. 29–31.
4. *Pawlovski L.* The science and engineering of thermal spray coatings. — Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1995.
5. *Гладкий П. В.* Исследование и разработка технологии плазменно-порошковой наплавки: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1972. — 233 с.
6. *Федорченко И. М., Андриевский Р. А.* Основы порошковой металлургии. — Киев: Изд-во АН УССР, 1963. — 420 с.
7. *Жудра А. П.* Исследование и разработка материалов для наплавки композиционных сплавов, стойких в условиях интенсивного абразивного износа: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1980. — 210 с.
8. *Сферический релит. Способ получения и свойства* / Ю. А. Юзвенко, Е. И. Фрумин, М. А. Пашенко и др. // Порош. металлургия. — 1975. — № 7. — С. 1–5.
9. *Юзвенко Ю. А.* Исследование и разработка материалов и технологии механизированной наплавки открытой дугой: Дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 1978. — 507 с.
10. *Юзвенко Ю. А., Жудра А. П., Фрумин Е. И.* Абразивный износ композиционных сплавов // Автомат. сварка. — 1973. — № 7. — С. 62–63.

Investigation results are given on wear resistance and strength of fused tungsten carbide particles WC-W₂C produced by different methods: mechanical crushing of ingots, centrifugal thermal spraying and spheroidization of powders by using the induction plasma technology.

Поступила в редакцию 04.06.2010

ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЯРМАРКА

15–17 марта 2011, Санкт-Петербург

▲ ВЫСТАВОЧНЫЕ ЭКСПОЗИЦИИ

▲ ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС

▲ БИРЖА ДЕЛОВЫХ КОНТАКТОВ

▲ КОНКУРСНАЯ ПРОГРАММА

Специализированные выставки:

- Металлургия. Литейное дело • Машиностроение
- Обработка металлов • Современное промышленное предприятие • Автопром / ICTA • Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (Hi-Tech)

Специальные экспозиции:

- Коллективная экспозиция «Санкт-Петербург – регионы России» • Экспозиция субъектов малого предпринимательства Санкт-Петербурга

Совместно с Петербургской технической ярмаркой пройдут:

- II Международная специализированная выставка BLECH Russia
- V Петербургский Партнериат

Тел./факс: (812) 320-9676, 320-8092

E-mail: autopr@restec.ru

www.ptfair.ru



УДК 621.743.1/2

ДИАГНОСТИКА КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

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

Приведены результаты лабораторных исследований по разработке теоретических основ и методического подхода к обследованию и контролю внутренней коррозии нефтепроводов и резервуаров. Представлена структурная схема диагностики коррозионного состояния внутренней поверхности нефтепровода и разработаны первичные преобразователи для ее обследования.

Ключевые слова: сварной нефтепровод, внутренняя коррозия, диагностика, скорость коррозии, потенциал, первичные преобразователи

Коррозия металлов в неэлектролитах, т. е. в жидких неэлектропроводных средах (в нефти, нефтепродуктах и других органических соединениях), очень опасна для систем транспорта и хранения нефти.

Нефть является смесью различных углеводородов с неуглеводородными компонентами (спиртами, фенолами, соединениями серы, кислородом,

и др.). Чистые нефтепродукты неэлектропроводны, и поэтому электрохимическая коррозия в них невозможна. Однако в нефтепродуктах всегда присутствуют коррозионные агенты (вода и кислород) в количестве, достаточном для того, чтобы вызвать коррозию на внутренней поверхности нефтепроводов во время их эксплуатации. Коррозия донной части нефтепровода протекает вследствие присутствия в нем подтоварной воды, содержащей растворенные соли и кислоты.

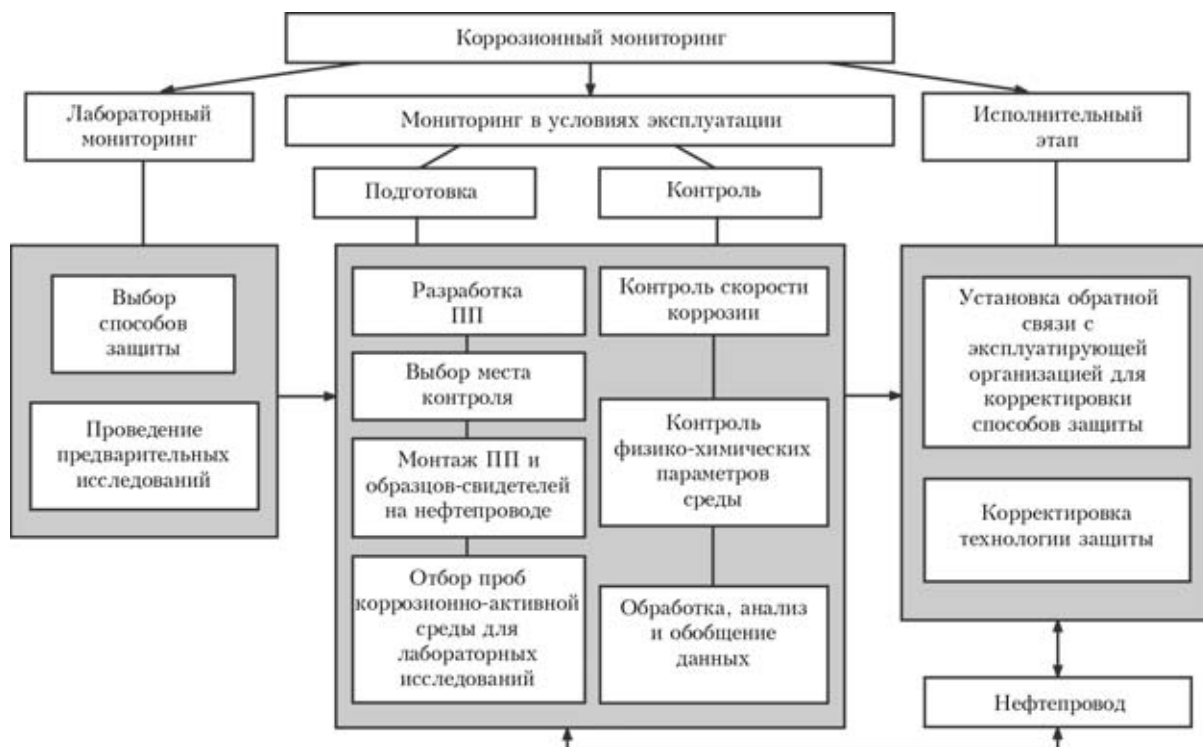


Рис. 1. Структурная схема диагностики коррозионного состояния внутренней поверхности нефтепровода

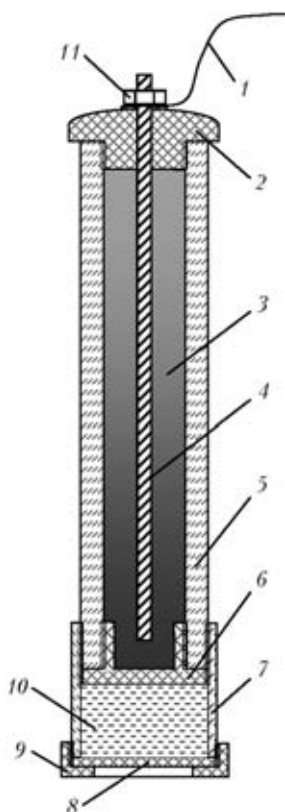


Рис. 2. Схема ПП для измерения потенциала внутренней поверхности нефтепроводов и резервуаров: 1 — токоотвод; 2 — крышка; 3 — насыщенный раствор CuSO_4 ; 4 — медный стержень; 5 — корпус; 6 — пористая пробка; 7 — дополнительная емкость; 8 — наномембрана; 9 — прижимная гайка; 10 — насыщенный раствор KCl ; 11 — гайка

Особую опасность для нефтепровода представляют участки на понижениях рельефа с поворотами (кривыми вставками) трубы, а также механические и коррозионные дефекты сварных монтажных швов, где задерживаются влага и соли, ускоряя тем самым локальные коррозионные процессы в десятки и сотни раз. В таких условиях активизируется биологический фактор, весьма вероятно также изменение природы коррозионного процесса: кислородная деполяризация может переходить, например, в водородную за счет изменения уровня pH внутри дефекта.

Из упомянутого выше следует, что коррозия нефтепроводов — процесс неизбежный. Однако знание механизма коррозии и методик ее оценки позволяет влиять на коррозионный процесс, обеспечивая тем самым безотказную работу нефтепроводов на протяжении длительного времени. Разработка правильного методического подхода к измерению и оценке скорости внутренней коррозии нефтепроводов необходима для их надежной и безопасной эксплуатации [1–3]. Изучению этой проблемы и посвящена данная работа.

Для обследования и контроля коррозионного состояния внутренней поверхности нефтепроводов разработана структурная схема ее диагностики (рис. 1). В соответствии с ней диагностику

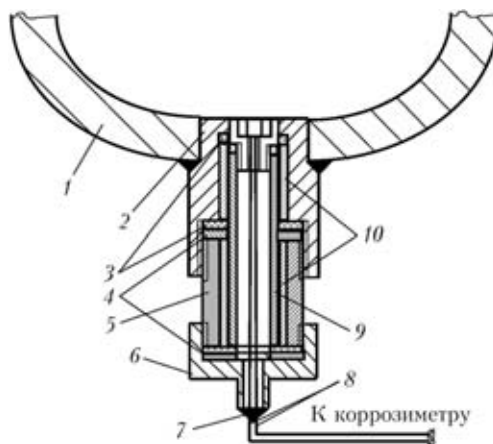


Рис. 3. Схема двухэлектродного ПП для измерения скорости коррозии, смонтированного на нефтепроводе: 1 — трубопровод; 2 — монтажный патрубок; 3 — шайба-уплотнитель; 4 — шайба металлическая; 5 — прижимная гайка; 6 — крышка; 7 — герметик; 8 — токоотводы; 9 — труба-штанга; 10 — втулка-уплотнитель

предлагается проводить в три этапа — лабораторный мониторинг, мониторинг в условиях эксплуатации и исполнительный этап. Следует отметить, что указанная структурная схема описывает общий план работ и может корректироваться в зависимости от цели диагностики и имеющегося оборудования для контроля.

Для мониторинга внутренней коррозии нефтепроводов и резервуаров разработаны два вида первичных преобразователей (ПП) — для измерения потенциала (рис. 2) и скорости коррозии (двух- (рис. 3) и одноэлектродный).

Важным этапом коррозионного мониторинга является проведение лабораторных исследований коррозионной активности среды. Для повышения точности измерений скорости коррозии в нефтяной среде создан влагоудерживающий слой (ВУС), который наносили на поверхность ПП. Дополнительно в ВУС вводили добавки, способствующие поглощению и удерживанию влаги. Экспериментальным путем определено, что оптимальным для исследований в трассовых условиях является ВУС с добавкой 10 % LiCl .

Работоспособность ПП с ВУС проверена путем измерения скорости коррозии стали 17Г1С в нефтеводной эмульсии разного состава и безводной нефти. Результаты эксперимента (рис. 4) показали, что разработанный ПП с модернизированным ВУС позволяет определить значения скорости коррозии при всех исследованных концентрациях воды в нефтеводной эмульсии. Полученный результат очень важен, поскольку при измерениях скорости коррозии в нефти обычные ПП, как правило, показывают нулевые значения. По двум методикам измерена скорость коррозии трубной стали 17Г1С в пробах нефти (№ 1–5) и воды (№ 6).

Согласно первой методике отмеренные одинаковые объемы нефти и дистиллированной воды

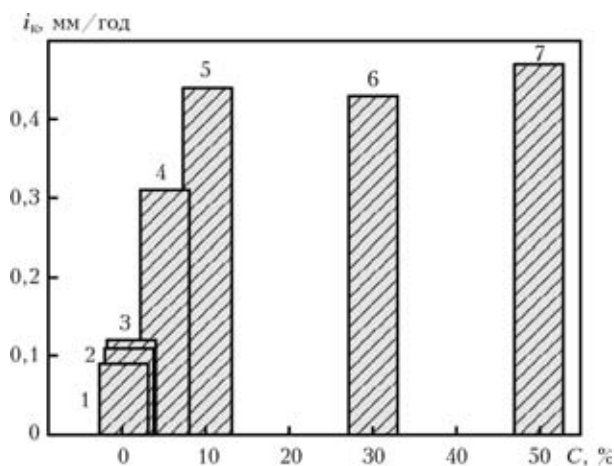


Рис. 4. Изменение скорости коррозии i_k стали 17Г1С в зависимости от содержания C 3%-го NaCl в нефтеводной эмульсии, %: 1 — 0; 2 — 0,5; 3 — 1; 4 — 5; 5 — 10; 6 — 30; 7 — 50

перемешивали с помощью магнитной мешалки со скоростью 300 об/мин в течение 30 мин и оставляли до полного расслоения эмульсии. Водорастворимые агрессивные компоненты нефти, которые являются причиной коррозии стенки трубы, переходят в водную фазу и остаются в ней. После расслоения нефтеводной эмульсии с помощью воронки водную фазу отделяли от нефти. На трех параллельных ПП измеряли скорость коррозии стали 17Г1С в водной фазе, обогащенной коррозионно-активными компонентами. Полученные результаты сравнивали с результатами электрохимических исследований стали 17Г1С в дистиллированной воде. Эмульсии, изготовленные из проб № 1 и 2, не расслаивались, поэтому определить в них содержание воды было невозможно. Измерения проводили непосредственно в нефтеводной эмульсии. Методом поляризационного сопротивления установлено, что скорость коррозии в этих пробах составляла соответственно 0,00063 и 0,00059 мм/год (рис. 5, а). Очевидно,

полученные результаты измерения скорости коррозии были не совсем правильные.

В связи с этим испытания провели также по второй методике. Поверхность ПП перед измерениями покрывали ВУС. Мгновенную скорость коррозии измеряли в пробах нефти в состоянии поставки (рис. 5, б). Из полученных данных следует, что применение ПП с ВУС позволяет повысить точность измерений скорости коррозии в нефтяной среде, обеспечить работоспособность ПП на длительное время и более точно измерить скорость коррозии локально в месте скопления влаги.

Одним из важнейших этапов подготовки к мониторингу в условиях эксплуатации является выбор места контроля. Выбор места, где планируется проводить мониторинг внутренней поверхности нефтепровода, можно осуществлять путем ее сканирования с помощью ПП для измерения потенциалов (см. рис. 2). На наш взгляд, целесообразно рассмотреть способ введения ПП для измерения потенциалов на инспекционном снаряде для внутритрубной диагностики. Модульная конструкция инспекционных снарядов типа «Розен» позволяет соединить в одном снаряде несколько технологий внутритрубного обследования. В связи с этим модуль для измерения потенциалов можно использовать в комбинации с такими технологиями, как регистрация данных о нефтепроводе (о температуре, давлении и других физических параметрах), определение внутренней геометрии нефтепровода, выявление поперечно и продольно ориентированных дефектов, обнаружение трещин и других дефектов сварных швов.

Рассмотрим порядок проведения обследования внутренней поверхности нефтепроводов на лабораторном стенде, который представляет собой фрагмент трубы со сварным швом, имеющем искусственные дефекты. Геометрия дефектов тако-

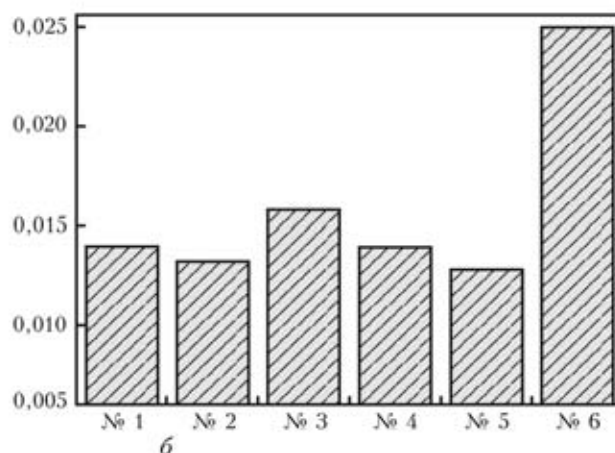
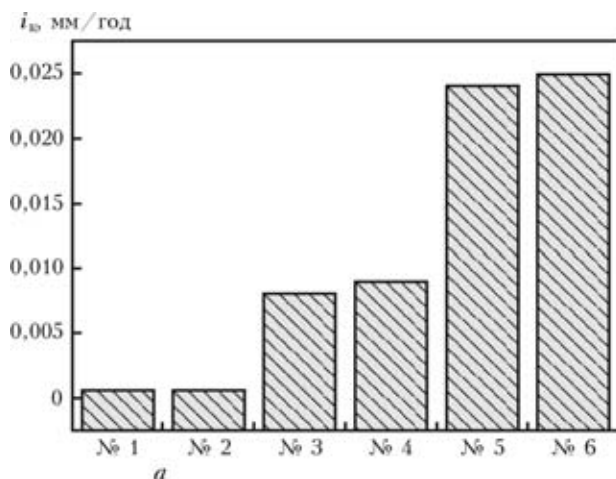


Рис. 5. Результаты измерений скорости коррозии трубной стали 17Г1С в пробах нефти (№ 1–5) и воды (№ 6), полученные по первой (а) и второй (б) методикам

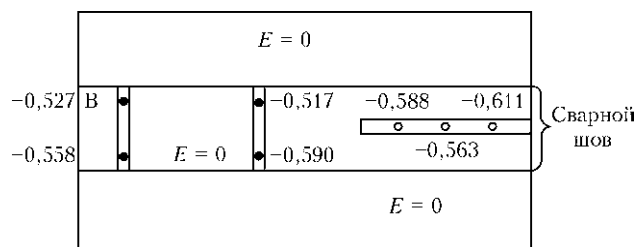


Рис. 6. Результаты измерения потенциала E на лабораторном стенде: m, l — соответственно дефект, заполненный отработанным сварочным флюсом, пропитанным 3%-м раствором NaCl , и дистиллированной водой

ва, что в них могут задерживаться вода и продукты коррозии.

К фрагменту трубы винтами крепили прижимную ячейку с крышкой. Крышка свободно перемещается вдоль ячейки и отверстия для крепления первичных преобразователей для измерения потенциала или скорости коррозии для того, чтобы можно было проводить измерения внутри дефектов сварного шва. Дефекты сварного шва заполняли водой и увлажненным флюсом, который выступал в качестве влаго- и солеудерживающего слоя, а ячейку — нефтью. Результаты измерений потенциала представлены на рис. 6. Установлено, что в точках на поверхности нефтепровода, где влаги не было, потенциал равнялся нулю, а в искусственно созданных дефектах его значения колебались от $-0,5$ до $-0,6$ В.

В местах, где значения потенциала стенки трубы, полученные с помощью ПП для измерения потенциалов, отличаются от нуля, продукты коррозии задерживаются, возникает опасная коррозионная ситуация, при этом необходим более детальный контроль внутренней коррозии в динамике. В таких местах целесообразно устанавливать ПП для измерения скорости коррозии (одноили двухэлектродный). Вид ПП для измерения скорости коррозии и способ его монтажа зависят от особенностей и геометрических размеров опасного участка. Скорость коррозии во времени определяли для различных дефектов на лабораторном стенде, где с помощью ПП для измерения потенциала установлено наличие влаги. В результате проведенных исследований установлено, что коррозия протекала в дефектах, где скапливалась влага, а в местах, расположенных в непосредственной близости от них, поверхность образца коррозионному разрушению практически не поддавалась (рис. 7). Наиболее интенсивно локальная коррозия происходила под слоем флюса в дефектах сварного шва, на что указывали более отрицательные значения потенциала и большие скорости коррозии.

Апробацию разработанной методики и ПП для измерения скорости коррозии на внутренней стенке нефтепровода проводили на тестовых катушках ОАО «Укртрансффта». Три катушки были уста-

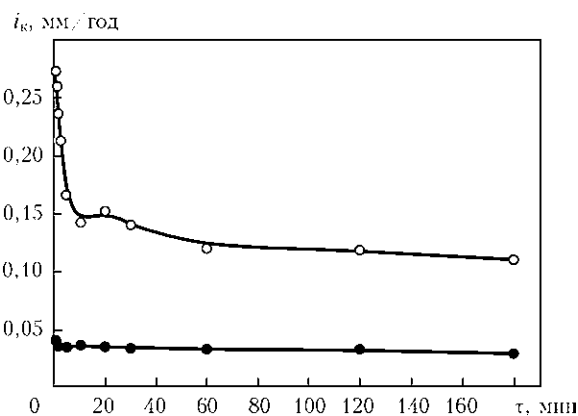


Рис. 7. Динамика измерения скорости коррозии i_k в дефектах сварного шва на лабораторном стенде (m, l — см. рис. 6)

новлены на НПС «Луганская». Катушка № 1 заполнена чистой нефтью, № 2 — нефтью с ингибитором (2%-й раствор ингибитора ТАЛ-25-13Р в нефти), катушка № 3 была пустой (имитация очищенной от нефти трубы).

В тестовые катушки помещали образцы-свидетели для массометрических измерений. В нижнюю часть катушек были вмонтированы ПП таким образом, чтобы их рабочая поверхность стала частью внутренней поверхности нефтепровода (рис. 8). Именно такое расположение ПП необходимо для объективного отображения коррозионного состояния внутренней стенки нефтепровода. Из результатов измерения скорости коррозии, приведенных в таблице, видно, что в нижней части тестовых катушек скорость коррозии составляла, мм/год: катушка № 1 — 0,00080; № 2, 3 — 0,00240. С помощью метода поляризационного сопротивления получены следующие значения скорости коррозии, мм/год: катушка № 1 — 0,01; № 2 — 0,011; № 3 — 0,02.

На основании результатов исследований можно заключить, что данные измерений, полученные с помощью метода поляризационного сопротивления, являются более достоверными. В гирлянде образцы-свидетели, которые находились в ниж-

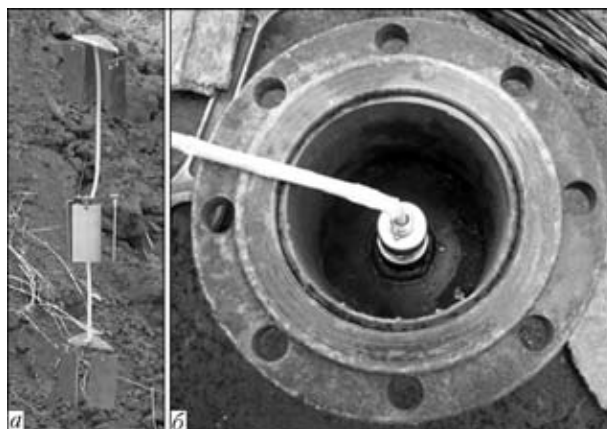


Рис. 8. Гирлянда образцов-свидетелей (а) и внешний вид ПП для измерения скорости внутренней коррозии нефтепровода (б)



Результаты измерений скорости коррозии (мм/год) на тестовых катушках (№ 1–3) НПС «Луганская», полученные различными методами

Место проведения анализа в катушке	Метод массометрии	Метод поляризационного сопротивления
№ 1		
Верх	0,00081	0,010
Середина	0	
Низ	0,00080	
№ 2		
Верх	0,00081	0,011
Середина	0	
Низ	0,00240	
№ 3		
Верх	0,00321	0,020
Середина	0,00078	
Низ	0,00240	

ней части тестовой катушки, располагалась перпендикулярно нижней поверхности нефтепровода, при этом вода не задерживалась на поверхности образца, а стекала с него и скапливалась на дне катушки. Расположение ПП предусматривало, что его рабочая поверхность является частью внутренней поверхности нефтепровода, где скапливалась влага, поэтому коррозионная картина на поверхности ПП более приближена к реальной. Это объясняет расхождение в данных о скорости коррозии, полученных методами поляризационного сопротивления и массометрии. Кроме того, скорость коррозии наиболее высока в первый момент контакта металлической повер-

хности с коррозионной средой и существенно замедляется во времени. Апробация ПП для измерения скорости внутренней коррозии, проведенная на трех тестовых катушках ОАО «Укртранснафта», подтвердила их работоспособность.

Таким образом, разработана структурная схема диагностики коррозионного состояния внутренней поверхности магистральных нефтепроводов. При проведении мониторинга важным условием является организация и поддержание обратной связи между нефтепроводом и эксплуатирующей организацией, что позволяет оперативно корректировать технологию и способ защиты нефтепровода. С помощью ПП с модернизированным ВУС можно определить значения скорости коррозии при любых концентрациях воды в нефтеводной эмульсии, а также в безводной нефти. Установлено, что наиболее интенсивно локальная коррозия протекает под слоем флюса в дефектах сварного шва. Проведенная апробация разработанных ПП для определения скорости коррозии внутренней стенки нефтепровода на тестовых катушках ОАО «Укртранснафта» продемонстрировала их работоспособность.

1. Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. — К.: Академперіодика, 2007. — 322 с.
2. Методический подход к изучению внутренней коррозии магистральных нефтепроводов / С. Поляков, Л. Ниркова, С. Мельничук и др. // Физ.-хим. мех. материалов. — 2008. — № 7. — С. 756–760.
3. Оцінка корозійно-електрохімічного стану внутрішньої поверхні магістрального нафтопроводу з використанням наномембран / С. Поляков, Л. Ниркова, С. Мельничук, Н. Гапула // Там же. — 2010. — № 8. — С. 631–634.
4. Пат. на корисну модель 41966 Україна, МПК G 01 N 17/00. Первинний корозійно-вимірний перетворювач / С. Г. Поляков, Н. О. Гапула, С. Л. Мельничук, Л. І. Ниркова. — Оpubл. 25.06.2009.

The paper gives the results of laboratory studies on development of theoretical fundamentals and procedural approach to inspection and monitoring of inner corrosion of oil pipelines and tanks. Flow chart of diagnostics of corrosion state of inner surface of oil pipeline is presented. Primary transducers were developed for inspection of oil pipeline inner surface.

Поступила в редакцию 08.06.2010

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ НА ПЕРЕМЕННОМ И ПОСТОЯННОМ ТОКАХ

Академик НАН Украины **С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО**,
П. М. РУДЕНКО, **В. С. ГАВРИШ**, **В. П. КРИВОНОС**, кандидаты техн. наук,
В. М. СИДОРЕНКО, **Ю. С. НЕЙЛО**, **К. В. ГУЩИН**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены основные энергетические параметры контактных стыковых машин. Показано, что машины переменного тока по основным параметрам имеют более высокие показатели.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, машины переменного и постоянного тока, энергетические параметры

Выбор оборудования для контактной стыковой сварки является одним из основных вопросов при разработке технологии сварки различных конструкций. Существует большое количество типов контактных машин, в которых используются различные принципы преобразования электрической энергии [1, 2]. Поэтому целесообразно провести сравнение существующих источников питания машин для контактной стыковой сварки. Некоторые из этих вопросов рассмотрены в работе [3].

В настоящее время для электрического питания машин контактной сварки наибольшее распространение получили однофазные (двухфазные) источники питания от сети переменного тока частотой 50 (60 Гц) и трехфазные источники в таких схемах: от преобразователей частоты и количества фаз; от выпрямленного напряжения промышленной частоты;

от выпрямленного напряжения повышенной частоты, полученного с помощью инвертора; от инверторов частотой 40...60 Гц.

Для оценки эффективности применения этих источников (в основном по энергетическим параметрам) используются следующие показатели: коэффициент полезного действия η , коэффициент мощности k_M , коэффициент полезного использования мощности машины χ .

Коэффициент полезного действия η равен отношению активной мощности P_K , выделяемой в сварочном контакте, к активной мощности на входе сварочной машины $P_{ВХ}$. Для машины переменного тока

$$\eta = P_K / P_{ВХ} = R_K / (R_K + R_{К.З}), \quad (1)$$

а для машины с выпрямлением во вторичном контуре

$$\eta = P_K / P_{ВХ} = R_K / [(R_K + R_{К.З}) + \Delta U(I_{СВ}) / I_{СВ}], \quad (2)$$

где R_K , $R_{К.З}$ — сопротивление свариваемых деталей и активное сопротивление короткого замыкания машины; $\Delta U(I_{СВ})$ — падение напряжения на выпрямителе; $I_{СВ}$ — ток сварки.

Коэффициент мощности сварочной машины

$$k_M = P_{ВХ} / (UI) = (R_K + R_{К.З}) / Z, \quad (3)$$

где U , I — эффективное значение напряжения и тока на входе сварочной машины; Z — полное сопротивление машины и свариваемых деталей.

Когда на входе приемника электроэнергии (сварочной машины) синусоидальное напряжение, а ток несинусоидальный (при фазовом регулировании), активная мощность, потребляемая машиной, определяется только основной гармоникой

$$P_{ВХ} = U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

где U_1 , I_1 — действующие напряжение и ток на входе сварочной машины и $\cos \varphi_1$ для первой гармоники.

Очевидно, что $U_1 = U$, так как напряжение на входе машины синусоидальное и

$$k_M = U_1 I_1 \cos \varphi_1 / (UI) = v \cos \varphi_1, \quad (4)$$

где $v = I_1 / I$ — коэффициент искажения, так как ток на входе сварочной машины может быть несинусоидальный.

Коэффициент полезного использования мощности машины χ

$$\chi = P_K / (UI) = P_K / (P_{ВХ} / k_M) = \eta k_M. \quad (5)$$

Из выражений (1)–(5) очевидно, что

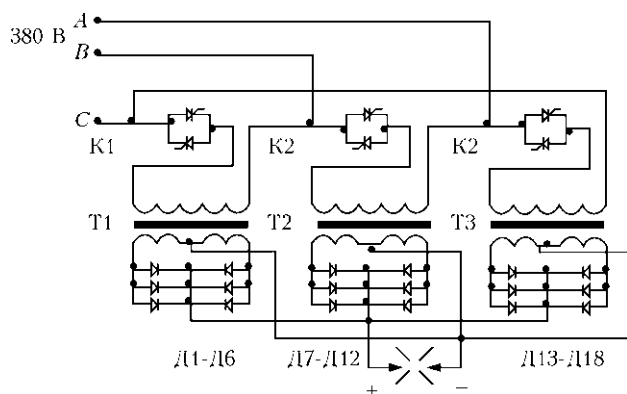


Рис. 1. Электрическая схема контактной машины постоянного тока

η не зависит от угла включения вентиля и определяется соотношением сопротивления вторичного контура и свариваемых деталей;

с увеличением угла включения вентиля, которое приводит к росту искажения кривой тока, коэффициент мощности падает по сравнению с полнофазным включением и соответственно падает коэффициент использования мощности машины;

улучшить η , k_m и χ контактной машины можно путем снижения сопротивления короткого замыкания машины $R_{к.з}$, $X_{к.з}$, $Z_{к.з}$ при оптимизации размеров и формы контура машины, а также понижении частоты источника питания.

При стыковой сварке сопротивлением и оплавлением в основном применяют источники питания переменного и постоянного (выпрямленного) тока [4–7].

В ИЭС им. Е. О. Патона была разработана и создана машина для стыковой сварки оплавлением постоянным током на базе машины К-724

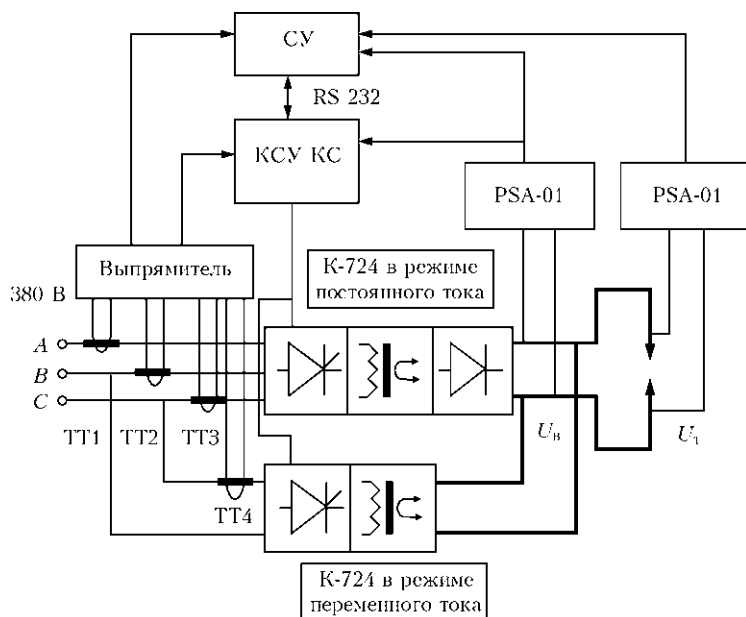


Рис. 2. Блок-схема подключения регистрирующих устройств и системы управления машиной К-724

для определения основных энергетических характеристик процессов при сварке на переменном и постоянном токах. В качестве источника питания использовали трехфазный выпрямитель фирмы «RoMan», содержащий три однофазных трансформатора, первичные обмотки которых включены треугольником. На базе каждого трансформатора собран двухполупериодный двухплечный выпрямитель. В каждом плече включены параллельно три диода. Таким образом, выпрямитель имеет 18 диодов (рис. 1).

Основные технические характеристики выпрямителя

Номинальная мощность, кВт-А	180 при ПВ 50 %
Первичное напряжение/частота, В, Гц	400/50
Вторичное переменное напряжение, В	5,55
Выходное постоянное напряжение, В	7,4
(при питании выпрямителя от сети напряжением 380 В выходное постоянное напряжение 7,1 В)	

Конструктивно выпрямитель представляет собой единый блок. Трансформаторы и диоды, установленные на радиаторах, имеют водяное охлаждение.

Последовательно с первичными обмотками трансформаторов включены тиристорные контакторы, которые управляются от локальной компьютерной системы КСУ КС [7] и промышленного компьютера системы верхнего уровня СУ для управления сварочной машиной в целом (рис. 2). На вход АЦП, встроенного в систему управления СУ, подключены датчики основных электрических параметров: напряжения на выходе выпрямителя U_b и на губках машины U_r , тока сварки $I_{св}$ и токов в фазах I_A , I_B , I_C . Для измерения напряжения использовали преобразователи сигналов с гальванической изоляцией PSA-01.01.14.18.03 ООО «ПРОМСАТ» (г. Киев), который имеет диапазон измерения от 0 до 10 В при частоте входного сигнала от 0 до 1 кГц. В качестве датчиков фазных токов использовали трансформаторы тока. Для измерения сварочного тока была собрана схема выпрямления, на вход которой подключены выходы фазных трансформаторов тока.

Выходное напряжение выпрямителя определяется по среднему значению за период повторяемости $T_p = \pi/3$, который равен интервалу времени совместной работы пары вентиля в каждом плече:

$$U_{d0} = ((3 \sqrt{3})/\pi) U_{2л} = 2,34 U_{2ф},$$

где $U_{2л}$, $U_{2ф}$ — соответственно вторичное линейное и фазное напряжение.

Регулирование вторичного выпрямленного напряжения осуществляется путем изменения угла включения тиристорных контакторов α .

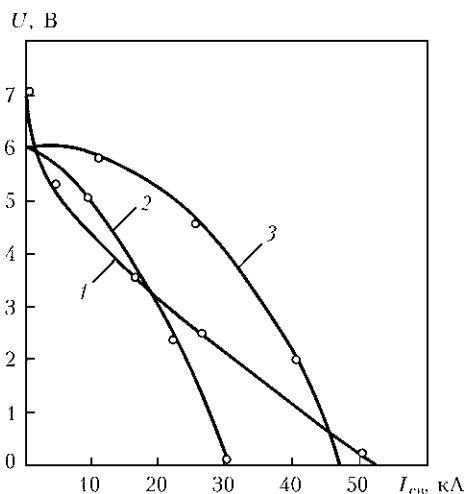


Рис. 3. Внешние характеристики машины К-724 при питании постоянным (1) и переменным током со стандартным (2) и оптимизированным (3) контуром

При фазовом регулировании возникают повышенные пульсации вторичного напряжения. Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения определяется как отношение амплитуды первой гармоники к среднему значению напряжения:

$$K_n = U_{m1}/U_d = (2/m^2 - 1)\sqrt{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \alpha},$$

где $m = 6$ — количество пульсаций для трехфазного двухполупериодного выпрямителя.

Для $\alpha = 0^\circ$ $K_n = 0,057$, а для $\alpha = 30^\circ$ $K_n = 0,2$.

Конструктивные особенности механической части машины К-724 и выпрямительного блока с силовыми трансформаторами, мощными диодами и тиристорами не позволили разместить этот блок в непосредственной близости от губок сварочной машины. В результате активное и индуктивное сопротивления сварочного контура оказались больше, чем у некоторых машин переменного тока. При питании машины переменным током использовали сварочный трансформатор типа ТК-2008-6, конструкция которого позволила подключить его как к месту подсоединения выпрямителя (практически стандартный контур), так и к месту, расположенному в непосредственной близости от губок машины (оптимизированный контур). Расчет параметров проводили для двух этих вариантов.

По результатам измерений и расчетов построены внешние характеристики сварочной машины (рис. 3), а также зависимости полезной мощности (активной мощности, выделяемой в сварочном контакте) от тока нагрузки (рис. 4) для переменного и постоянного тока. При построении этих зависимостей приняты следующие данные: диапазон изменения сварочного тока $I_{св} = 5 \dots 40$ кА, падение напряжения на диодах выпрямительного блока фирмы «RoMan» (три диода, включенных параллельно) $\Delta U = 0,57$ В при $I_{св} = 10$ кА, $\Delta U =$

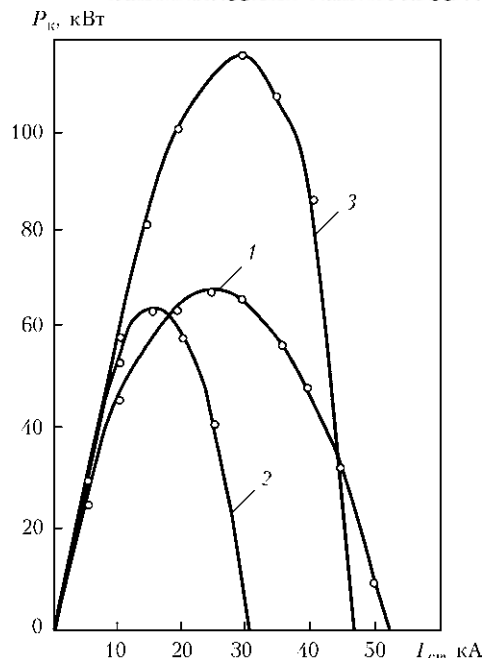


Рис. 4. Зависимости полезной мощности машины К-724 от тока нагрузки при питании постоянным (1) и переменным током со стандартным (2) и оптимизированным (3) контуром

$= 1,1$ В при $I_{св} = 40$ кА, активное сопротивление контура $R = 32$ мкОм, индуктивность контура $L = 0,7$ мкГн, сопротивление $R_{к.з} = 96$ мкОм.

Параметры сварочного трансформатора типа ТК-2008-6 машины переменного тока: $U_2 = 6$ В, активное сопротивление обмоток трансформатора $R_T = 13,6$ мкОм, реактивное сопротивление $X_T = 16$ мкОм. С целью создания равных условий работы источников напряжение U_2 уменьшено на значение падения напряжения на диодах.

Из зависимостей $P_k = f(I_{св})$ (рис. 4) видно, что полезная мощность при сварке на переменном токе существенно зависит от размеров контура. При этом в основном диапазоне сварочного тока (10...20 кА) полезная мощность машины переменного тока больше, чем машины постоянного тока даже при стандартном контуре.

Зависимости КПД машин постоянного и переменного токов, построенные по формулам (1), (2), приведены на рис. 5. Зависимость коэффициента полезного использования мощности машины постоянного и переменного тока, построенные по формуле (5), приведены на рис. 6. Здесь также эти параметры в основном диапазоне сварочного тока больше у машины переменного тока.

Поскольку регулирование напряжения в сварочных машинах в основном осуществляется фазовым способом, необходимо оценить влияние угла включения тиристоров на энергетические параметры. С этой целью проведено компьютерное моделирование с помощью программы MatLab и построены зависимости $k_m = f(\Delta U)$, $\chi = f(\Delta U)$ при фазовом регулировании (рис. 7, 8). При этом рассматривали диапазон регулирования по току и

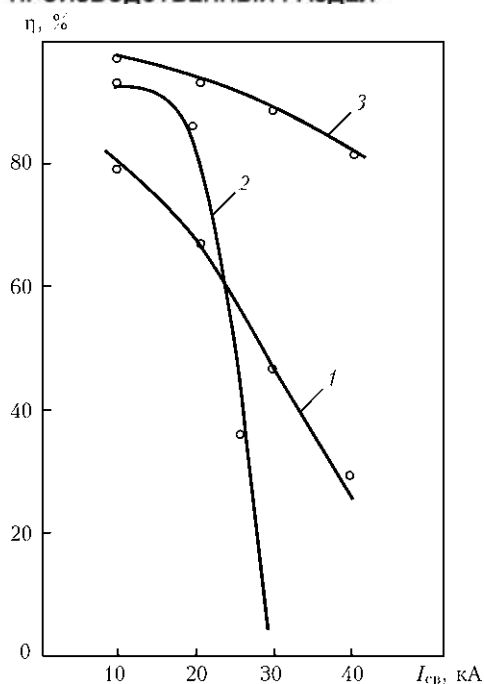


Рис. 5. Зависимость коэффициента полезного действия машины К-724 от значения сварочного тока при питании постоянным (1) и переменным током со стандартным (2) и оптимизированным (3) контуром

напряжению питания сварочного трансформатора 1:2 как наиболее используемый. Видно, что машина переменного тока имеет более высокие показатели.

Важной характеристикой мощных сварочных машин является их электромагнитная совместимость, т. е. свойство функционировать без ухуд-

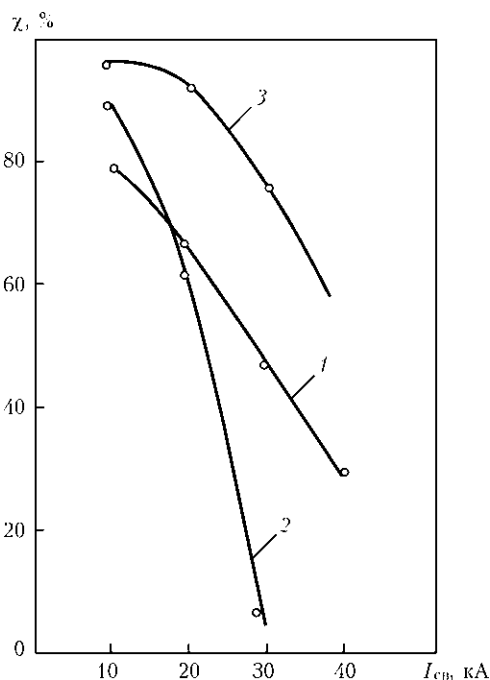


Рис. 6. Зависимость коэффициента полезного использования мощности машины К-724 от ее сварочного тока при питании постоянным (1) и переменным током с увеличенным (2) и стандартным (3) контуром

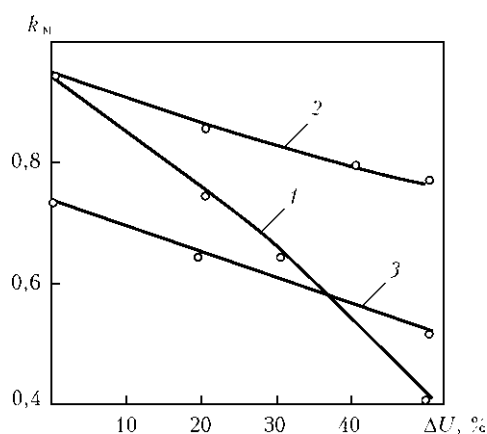


Рис. 7. Зависимости коэффициента мощности машины К-724 от относительного изменения напряжения при ее фазовом регулировании при питании постоянным (1) и переменным током со стандартным контуром при токе сварки 10 (2) и 20 кА (3)

шения показателей общей электрической сети. При работе контактные сварочные машины оказывают существенное влияние на все показатели качества электрической энергии. В первую очередь это колебания и провалы напряжения сети, несимметричная загрузка трехфазной сети, гармонические составляющие тока и напряжения. По существу сварочные машины являются источниками электромагнитных помех, которые оказывают вредное влияние как на сами сварочные машины, так и на другие электроприемники, которые питаются от этой же сети. Источники питания сварочных машин должны выбираться с минимальным уровнем электромагнитных помех, допустимый уровень которых определяется стандартами на качество электрической энергии в электрических сетях общего назначения [8].

Поскольку почти все контактные машины снабжаются тиристорными контакторами, то в зависимости от угла включения сварочный ток может иметь разный спектр гармонических составляющих тока. Таким образом, эти машины явля-

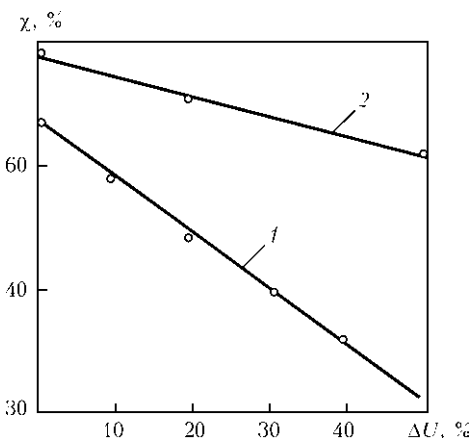


Рис. 8. Зависимость коэффициента полезного использования мощности машины К-724 при питании постоянным (1) и переменным током со стандартным (2) контуром и сварочном токе 10 кА при фазовом регулировании

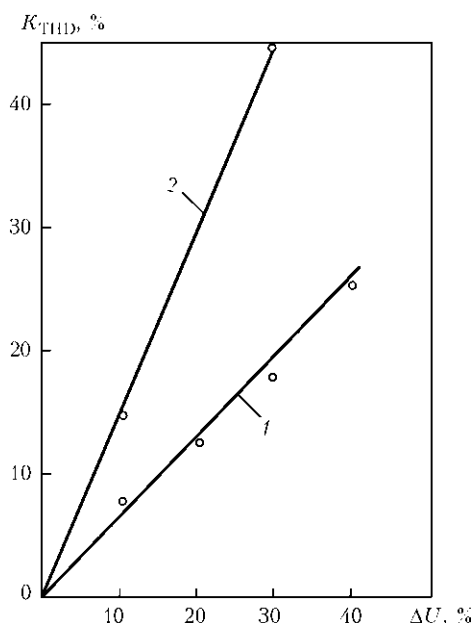


Рис. 9. Зависимость коэффициента гармоник от относительного изменения напряжения при фазовом регулировании машины К-724 при питании постоянным (1) и переменным током со стандартным контуром (2)

ются источниками высших гармоник тока. Значение составляющих тока по разным гармоникам определяет электромагнитную совместимость сварочных машин и регламентируется стандартами.

Зависимость коэффициента гармоник K_{TND} (Total Harmonic Distortion) от относительного напряжения при фазовом регулировании приведена на рис. 9. При одном и том же изменении напряжения машины постоянного тока имеют меньший коэффициент гармоник. В связи с этим целесообразно регулировать напряжение машины переменного тока при помощи автотрансформатора или ступеней сварочного трансформатора.

Выводы

1. Такие энергетические показатели, как КПД, коэффициент мощности, коэффициент полезного использования мощности в рабочем диапазоне тока и напряжения для стыковой сварки у машин

переменного тока выше, чем у машины с выпрямлением напряжения.

2. Основное преимущество трехфазных источников по сравнению с однофазными связано с лучшими показателями электромагнитной совместимости, при этом осуществляется равномерная нагрузка фаз питающей сети и снижается на 18 % фазный ток при одной и той же потребляемой мощности.

3. Снижение реактивной составляющей сопротивления вторичного контура практически до нуля при использовании выпрямителя во вторичном контуре не приводит к снижению полного сопротивления вторичного контура из-за особенностей конструкции машины. Применение диодов вносит дополнительное электрическое сопротивление в контур.

4. Стоимость комплектующих изделий силовой части однофазного источника, как минимум, в 12 раз ниже по сравнению с рассмотренным выпрямительным источником.

1. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для контактной сварки. — М.: Машиностроение, 1969. — 440 с.
2. Технология и оборудование контактной сварки / Под ред. Б. Д. Орлова. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.
3. Перспективы повышения энергетических показателей при контактной стыковой сварке (Обзор) / С. И. Кучук-Яценко, Ю. С. Нейло, В. С. Гавриш, К. В. Гушин // Автомат. сварка. — 2010. — № 2. — С. 30–35.
4. Лебедев В. К. Эффективность применения машин постоянного тока для контактной сварки // Там же. — 1992. — № 11/12. — С. 3–6.
5. Лебедев В. К., Письменный А. А. Совершенствование систем питания машин для контактной сварки сопротивлением // Сварка и родственные технологии – в XXI век. — Киев: Наук. думка, 1998. — С. 130–136.
6. Лебедев В. К., Письменный А. А. Системы питания машин для контактной сварки // Автомат. сварка. — 2001. — № 11. — С. 32–36.
7. Гавриш В. С., Руденко П. М. Система автоматического управления и контроля процесса контактной точечной сварки КСУ КС 02 // Там же. — 2007. — № 11. — С. 43–46.
8. Жаркий А. Ф., Палачев С. А. Законодательное регулирование эмиссии высших гармоник тока в системах электроснабжения стран Евросоюза // Техн. электродинамика. — 2005. — № 6. — С. 57–61.

Main energy parameters of flash butt welding machines are considered. It is shown that the DC machines have higher values of their main parameters.

Поступила в редакцию 05.07.2010



ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ Порошковой проволокой (Обзор)

Академик НАН Украины **И. К. ПОХОДНЯ**, **В. Н. ШЛЕПАКОВ**, **С. Ю. МАКСИМОВ**, доктора техн. наук,
И. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Обобщены результаты работ, выполненных Институтом электросварки им. Е. О. Патона в области сварки и наплавки порошковой проволокой.

Ключевые слова: электродуговая сварка, наплавка, низколегированные стали, порошковая проволока, производство порошковой проволоки

Порошковая проволока является высокопроизводительным электродным материалом, позволяющим решать широкий круг задач, связанных с изготовлением сварных конструкций на современном уровне.

В начале 1950-х годов И. И. Фрумин предложил применять порошковую проволоку для автоматической наплавки под флюсом валков прокатных станов [1]. Было организовано производство наплавочной порошковой проволоки на Магнитогорском метизно-металлургическом заводе.

Идея использования порошковой проволоки в качестве сварочного материала оказалась весьма плодотворной. Во второй половине XX в. проводили исследования электрофизических, металлургических и технологических процессов сварки и наплавки порошковой проволокой. В результате разработано большое количество различных типов порошковых проволок разного назначения, созданы и отлажены технологии сварки и наплавки, а также промышленное оборудование и технологии производства порошковых проволок. Созданы материалы для сварки и наплавки в защитных газах, материалы, не требующие дополнительной защиты (самозащитные порошковые проволоки), порошковые проволоки для подводной, дуговой (электрогазовой) и электрошлаковой сварки с принудительным формированием металла швов, а также для десульфурации и легирования металлических расплавов.

В настоящее время сварка и наплавка порошковой проволокой, широко применяемые во многих странах мира, являются наиболее перспективными дуговыми процессами для соединения металлов, восстановления изделий или придания им необходимых свойств.

В настоящей статье сделан обзор работ коллектива ИЭС им. Е. О. Патона в этой области.

Развитие сварки порошковой проволокой. Первые промышленные образцы порошковой проволоки разработаны и опробованы в производственных условиях в 1959–1961 гг. [2–4]. Их успешные испытания при сварке металлоконструкций различного назначения стали началом открытия нового эффективного направления в области механизации и автоматизации дуговой сварки.

С этого периода в ИЭС им. Е. О. Патона проведены комплексные исследования, результатом которых стало создание основ металлургии и технологии сварки порошковой проволокой, разработка новых материалов и способов сварки с их применением.

Исследования особенностей процессов тепло- и массообмена при нагреве и плавлении порошковых композиций, развития реакций при сварочных скоростях нагрева и плавления стальной оболочки и порошкового сердечника позволили определить кинетику протекания процессов и предложить способы регулирования плавления композиционного материала, развития реакций газовой, окисления, комплексобразования, которые при дуговой сварке сопровождаются образованием взаимодействующих фаз (металлической, газовой, шлаковой) [5–7].

Значительный объем исследований, сочетающих расчетные, экспериментальные методы и математическое моделирование, посвящен изучению физико-металлургических процессов в системе металл–газ–шлак. На основании полученных результатов определены основные принципы построения композиций сердечника порошковой проволоки для сварки в защитных газах и без дополнительной защиты [8–10]. Установление закономерностей абсорбции и десорбции газов при дуговой сварке плавлением дало возможность с новых позиций трактовать механизм образования пористости. Исследование поведения водорода в



сталей позволило определить влияние на сопротивление охрупчиванию (замедленному разрушению) ряда факторов, включающих распределение водорода в металле, состав и структуру металла, напряжение, скорость деформаций и температуру [5, 11–13].

Разработка порошковых проволок для сварки металлоконструкций из сталей высокой прочности потребовала проведения углубленных исследований в области физического металловедения сварных соединений. В этих исследованиях, помимо современных экспериментальных методов (растровой электронной микроскопии, локального рентгеноспектрального анализа, количественного металлографического анализа и др.), широко использовали методы математического моделирования [14–17].

Проведенные исследования позволили получить новые данные о распределении элементов в металле сварного соединения, составе и распределении неметаллических включений, развить представления о влиянии состава и структуры металла на микромеханизмы разрушения и хладостойкость. В работах [14, 18] содержатся новые данные о влиянии легирования, модифицирования и комплексного микролегирования на формирование структурных составляющих металла шва и показатели механических свойств металла шва и сварного соединения.

Важные научные сведения, имеющие большое практическое значение, получены в результате исследований стабильности горения дуги, плавления и переноса электродного металла с использованием современных информационно-измерительных систем и компьютерной обработки данных о сварочном процессе [17, 19]. Исследования термодинамических свойств металла и шлака в процессе их плавления и кристаллизации послужили основой для регулирования и оптимизации технологических оперативных свойств порошковых проволок, используемых при сварке в различных пространственных положениях со свободным и принудительным формированием шва [20–22]. Разработана методика и проведены работы по оценке санитарно-гигиенических показателей сварки порошковыми проволоками с различными типами сердечника [23]. ИЭС им. Е. О. Патона при участии Министерства черной металлургии СССР создан национальный стандарт 26271 «Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей», введенный в действие в 1984 г. и действующий в настоящее время (в редакции 1992 г.) на территории стран СНГ [24]. Вопросам теории и практики сварки порошковой проволокой посвящены монографии [5, 25–30].

Приоритет ИЭС им. Е. О. Патона в разработке порошковых проволок, способов сварки с их ис-

пользованием и оборудования защищен более 100 патентами и авторскими свидетельствами.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками. Условия применения порошковых проволок без дополнительной защиты от атмосферного воздуха определяют основные требования к их свойствам, в частности, к обеспечению газшлаковой защиты расплавленного металла и использованию металлургических средств связывания азота в устойчивые нитриды, получению благоприятных сварочно-технологических характеристик, обеспечению высокой сопротивляемости образованию трещин и пор, достаточной степени раскисления и легирования металла, что позволяет достичь требуемого уровня механических свойств металла шва и сварного соединения. Для нелегированных углеродистых сталей требуемый уровень свойств обеспечивается благодаря использованию трубчатых порошковых проволок с порошковым сердечником рутил-органического типа [3, 31]. Такие проволоки выпускают с 1959 г. и по настоящее время, их применяют преимущественно при ремонтно-восстановительной сварке и изготовлении простых металлоконструкций.

Трубчатые самозащитные проволоки с использованием нитридобразующих элементов в сердечнике (алюминия, титана, циркония) разработаны в 1960-е годы [3, 32]. С учетом специфики легирования их применение ограничивалось определенными классами сталей, что определялось разницей в химическом составе металла шва и основного металла и возможным неблагоприятным влиянием на свойства металла сварного соединения. Со временем композиции проволок с сердечником фторидного и фторидно-оксидного типов были усовершенствованы, что дало возможность получить высокие показатели механических свойств сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей обычной и повышенной прочности.

Особое место среди самозащитных порошковых проволок занимают проволоки двухслойной конструкции, разработанные ИЭС им. Е. О. Патона [4, 33, 34]. Такие проволоки с сердечником преимущественно карбонатно-флюоритного типа обеспечивают надежную газшлаковую защиту расплавленного металла от воздуха и практически не имеют ограничений в выборе типа легирования металла шва. Их используют при изготовлении множества сварных металлоконструкций различного назначения из низкоуглеродистых и низколегированных сталей повышенной прочности.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками массово начала применяться с 1960 г. прежде всего при изготовлении и монтаже строительных, технологических конструкций и оборудования. В дальнейшем область их применения расширилась и на другие отрасли промышлен-



ности и строительства. Механизированную сварку самозащитными порошковыми проволоками, как правило, выполняют полуавтоматами с модернизированным подающим механизмом (четырёх- или двухроликовым шестеренчатого типа). В монтажных полуавтоматах легкого типа используют проволоку диаметром от 1,6 до 2,0 мм, а в стационарных или полустационарных (подвесных) — диаметром от 2,4 до 3,0 мм.

Сварка газозащитными порошковыми проволоками. Развитие сварки газозащитными порошковыми проволоками проходило в условиях начала массового применения дуговой сварки кремнемарганцевой проволокой сплошного сечения типа Св-08Г2С и другими в углекислом газе, а позже в смесях газов. Условия их применения, требования к сварочному оборудованию, типоразмеры порошковых проволок диаметром от 1 до 2 мм не создавали трудностей в освоении механизированной сварки в промышленных условиях. Основные задачи, которые решали при разработке порошковых проволок, состояли в разработке типов сердечника, систем легирования применительно к классу свариваемых сталей для достижения лучших технологических и технико-экономических показателей, чем при использовании проволок сплошного сечения [26, 35–38]. Дополнительная обработка металла шлаком, регулирование сварочно-технологических свойств с помощью порошкового сердечника, дополнительный присадочный металл в виде металлических составляющих сердечника обеспечили такие преимущества в использовании газозащитных порошковых проволок по сравнению с проволоками сплошного сечения, как высокую стабильность процесса сварки, малые потери на разбрызгивание, существенное улучшение качества деформирования швов, высокие показатели механических свойств металла шва, в особенности пластических характеристик. Достигнутое повышение производительности труда составляет от 15 до 30 % [27, 39, 40].

В последнее десятилетие развитие автоматической и роботизированной сварки стимулировало разработку газозащитных порошковых проволок с металлическим сердечником (metal-core), содержание неметаллических материалов в сердечнике которых не превышает 1 %. Такие порошковые проволоки отличаются высокой скоростью и эффективностью плавления (на 30...40 % выше, чем при сварке проволокой сплошного сечения), благодаря их применению снижаются затраты электроэнергии за счет высокой доли присадочного электродного металла в порошковом сердечнике [23, 41, 42]. Отсутствие шлака на поверхности сварного шва позволяет производить многослойную сварку без очистки от шлака. Высокие оперативные свойства при сварке в газовых смесях достигаются за счет

мелкокапельного или струйного переноса электродного металла. Получен также высокий уровень показателей механических свойств (прочности и вязкопластичности).

Газозащитные порошковые проволоки применяются в большинстве отраслей промышленности, где сваривают металлоконструкции из углеродистых и низколегированных сталей повышенной и высокой прочности (в машиностроении, судостроении, энергетическом строительстве и др.).

Специализированные способы сварки порошковой проволокой. К специализированным относят способы автоматической сварки, требующие использования специальных сварочного оборудования, технологий и проволок, которые отличаются особыми свойствами в соответствии с требованиями, предъявляемыми к условиям сварки и качеству сварных соединений. В их число входят дуговая сварка с принудительным (электрогазовая) и полупринудительным формированием шва, автоматическая сварка кольцевых швов с подформовкой, сварка электрозаклепками и др. [5, 43].

Электродуговая сварка вертикальных стыковых соединений листовых конструкций (резервуаров, пролетных строений мостов, секций судов на стапеле, корпусов конверторов, доменных печей, силосных башен и др.) предусматривает выполнение процесса с одно- или двухсторонней формовкой поверхности шва с использованием подвижных (медного охлаждаемого ползуна) или неподвижных средств (керамической или медной охлаждаемой подкладки) [44, 45].

Сварка горизонтальных швов на вертикальной плоскости проводится с использованием подформовки боковой поверхности сварочной ванны специальным движущимся ползуном, обеспечивающим «полупринудительное» формирование шва и требуемую форму его поверхности [5, 45, 46]. Значительный объем сварочной ванны, необходимость получения специфических свойств шлака, образующего прослойку между ползуном и поверхностью шва, отсутствие последующей термообработки однопроходного шва потребовали создания специальных порошковых проволок. Для сварки в монтажных условиях при проектном положении конструкций разработаны самозащитные порошковые проволоки двухслойной конструкции [9, 46].

Существенным шагом в развитии сварки порошковой проволокой с принудительным формированием шва явилось создание способа сварки, оборудования и порошковых проволок для выполнения кольцевых швов стыковых соединений труб при строительстве магистральных трубопроводов большого диаметра [47–50]. При этом были решены задачи технологии сварки во всех пространственных положениях с обеспечением стабиль-



но высокого качества сварных соединений трубных сталей классов прочности от X50 до X80 [29, 51]. Оборудование и технология сварки обеспечивают непрерывный контроль за тепловложением и программное управление процессом сварки.

Порошковые проволоки для подводной сварки. Первая половина 1960-х годов характеризуется началом интенсивного освоения залежей нефти и газа в Сибири и строительством магистральных трубопроводов для транспортировки газа в Европейскую часть СССР и страны Европы. С учетом большого количества водных преград на пути прокладки трубопроводов и необходимостью обеспечения надежной эксплуатации последних возникла потребность в создании технологии ремонта с помощью подводной сварки. Применяемые для этой цели механическая сварка сплошной проволокой в защитных газах и ручная сварка требуемое качество сварных соединений не обеспечивали. По предложению Б. Е. Патона было решено использовать механизированную сварку порошковыми проволоками.

С 1965 г. в ИЭС им. Е. О. Патона проводятся фундаментальные исследования металлургических особенностей мокрой подводной сварки и физических характеристик дуги, горящей под водой. Результатом этих работ явилось создание в 1967 г. порошковой проволоки ППС-АН1 рутил-руднокислого типа для сварки нелегированных конструкционных сталей на глубинах до 20 м [52]. Металл швов, выполненных механизированной сваркой порошковой проволокой, по сравнению с ручной сваркой, характеризовался стойкостью против образования пор и имел повышенные механические свойства. Новый процесс позволил почти в 3 раза увеличить производительность сварки, обеспечить удобство и безопасность работы водолаза-сварщика, улучшить видимость зоны горения дуги.

В дальнейшем исследования были направлены на определение солёности воды, глубины выполнения работ, поиск путей оптимизации газоплазменной составляющей шихты порошковой проволоки и систем легирования [53–61], в результате созданы порошковые проволоки для сварки низколегированных сталей с пределом текучести до 400 МПа на глубинах до 30 м, обеспечивающие получение металла шва с требуемым уровнем механических свойств.

С начала 2000-х годов начали сваривать под водой элементы конструкций АЭС из нержавеющей сталей типа 18-10. Использование разработанных порошковых проволок способствовало получению сварных швов, которые по показателям механических свойств превосходили швы, выполненные на воздухе электродами типа Э-08Х20Н9Г2Б, например ЦЛ-11 [62].

С 1972 г. в ИЭС им. Е. О. Патона проводятся работы по созданию технологии механизированной дуговой резки порошковой проволокой взамен ручной электрокислородной резки. Применение этого способа повысило производительность процесса и позволило отказаться от подачи кислорода в зону резки, что особо важно при выполнении работ во взрывоопасных условиях. Разработанные порошковые проволоки позволяют выполнять технологическую и разделительную резку низколегированных и нержавеющей сталей, алюминия, меди, титана и их сплавов толщиной до 40 мм на глубинах до 60 м [63, 64].

Практическое использование разработок ИЭС им. Е. О. Патона началось в 1969 г. при ремонте водовода диаметром 1020×12 мм из стали 09Г2, проложенного через р. Днепр на глубине 12 м [65]. В 1971 г. с помощью подводной сварки порошковой проволокой впервые выполнили ремонт подводной части корпуса среднего рыболовного траулера-рефрижератора [66]. Морским регистром СССР траулер был допущен к дальнейшему плаванию без постановки в док. Одним из примеров использования сварки порошковой проволокой в строительстве может являться соединение на плаву четырех секций плавучей платформы «Приразломная» длиной 126 м с общей длиной трехпроходного углового шва около 1800 м [67] и сварку подводной части опор Подольско-Воскресенского мостового перехода через р. Днепр в Киеве, общая длина трехпроходного углового шва составила около 5000 м.

Порошковые проволоки для резки применяли при выполнении работ по расчистке прибрежных акваторий от затонувших судов, демонтаже подводных опор стационарных оснований, проведении аварийно-спасательных операций. С их использованием произведены работы по подъему подводной лодки в районе г. Петропавловск-Камчатский [68], ремонт причальных стенок в Санкт-Петербурге, на о. Диксон и др.

Разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона технология мокрой подводной сварки и резки порошковой проволокой успешно применяется при восстановлении трубопроводов с максимальным диаметром до 1020 мм и рабочим давлением до 5 МПа, ликвидации на плаву навигационных и коррозионных повреждений судов без последующей постановки их в док, ремонте элементов конструкций гидроэлектростанций, причальных стенок, морских платформ, проведении аварийно-спасательных операций и др.

Разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области подводной мокрой сварки порошковой проволокой защищены 10 патентами.

Порошковые проволоки для электродуговой наплавки. В настоящее время порошковые проволоки являются наиболее распространенным



электродным материалом для автоматической и механизированной электродуговой наплавки деталей машин и механизмов в различных отраслях промышленности. По сравнению с проволоками сплошного сечения порошковые проволоки обеспечивают значительно большие возможности для легирования наплавленного металла.

Первая порошковая проволока ПП-3Х2В8, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона, предназначалась для наплавки валков прокатных станов. Состав этой проволоки выбран столь удачно, что она до сих пор широко используется в промышленности под наименованием ПП-Нп-35В9Х3ГСФ.

Были исследованы сварочно-технологические свойства нового наплавочного электродного материала, разработаны режимы наплавки проволоками, обеспечивающие получение качественного наплавленного металла [1, 69]. Первые порошковые проволоки предназначались для наплавки под флюсом. В результате исследований взаимодействия расплава шлака с легирующими элементами [1, 69–73] установлена степень их окисления или восстановления из шлака, что позволило с достаточной степенью точности рассчитать состав шихты порошковых проволок для наплавки.

В работах [1, 74–77] исследован механизм образования кристаллизационных трещин при наплавке и сварке и предложены меры борьбы с ними. Установлено, что формирующиеся при наплавке высокоуглеродистых высокохромистых сталей ледебуритные легкоплавкие эвтектики при определенном содержании углерода могут залечивать несплошности, которые образуются при затвердевании таких сталей.

При наплавке деталей из низко- и высокоуглеродистых сталей практически постоянно приходится сталкиваться с проблемой появления холодных трещин. Наиболее распространенным способом борьбы с холодными трещинами является предварительный подогрев деталей перед наплавкой и отпуск после наплавки. Для наплавки таких деталей без или с минимальным подогревом в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны порошковые проволоки ПП-АН193, ПП-АН195, ПП-АН196 и ПП-АН202, обеспечивающие получение наплавленного металла с высокой трещиностойкостью [78].

Введение дополнительных минеральных и металлических компонентов в шихту порошковых проволок дало возможность бороться с таким дефектом наплавленного металла, как поры. Для предупреждения водородной пористости И. И. Фрумин предложил вводить в сердечник порошковой проволоки тетрафторид щелочных металлов.

Для механизированной дуговой наплавки открытой дугой в шихту порошковых проволок вводятся газо- и шлакообразующие компоненты и различные добавки, стабилизирующие процесс горения дуги и препятствующие образованию пор

в наплавленном металле. Создан ряд самозащитных порошковых проволок для наплавки различных износостойких сплавов [79, 80].

В ИЭС им. Е. О. Патона проводили исследования особенностей и характерных видов износа деталей различных машин и механизмов и разрабатывали соответствующие порошковые проволоки. Для наплавки прокатных валков и штампов различного назначения создана гамма порошковых проволок ПП-Нп-35В9Х3СФ, ПП-Нп-25Х5ФМС, ПП-АН132, ПП-АН140, ПП-АН147, ПП-АН148, применение которых позволяет многократно восстанавливать изношенные детали. Для восстановления и упрочнения деталей металлургического оборудования разработаны порошковые проволоки ПП-АН158, ПП-АН159 и ПП-АН174, обеспечивающие получение наплавленного металла типа высокохромистая нержавеющая сталь с различной твердостью и износостойкостью [81].

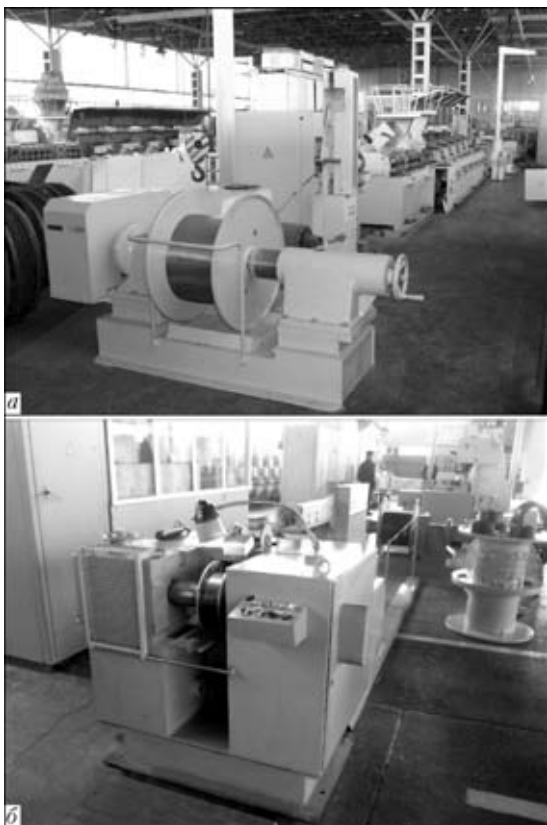
Для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного износа с ударной нагрузкой различной интенсивности, рекомендуются порошковые проволоки ПП-АН125, ПП-АН135, ПП-АН170, ПП-АН192, ПП-АН197 и ПП-АН105.

Для наплавки штоков шахтных гидрокрепей проходческих комбайнов, плунжеров гидропрессов и других подобных деталей при изготовлении и восстановлении разработана порошковая проволока ПП-АН165. Металл, наплавленный этой проволокой, отличается достаточно высокой коррозионной стойкостью в водно-солевых растворах и стойкостью против износа при трении металла по металлу. Применение наплавки позволяет исключить экологически вредную операцию — хромирование деталей.

Для наплавки валов, осей, крановых колес и других деталей, работающих в условиях трения металла по металлу без или с абразивной прослойкой, рекомендуется применять порошковые проволоки ПП-АН120, ПП-АН126, ПП-АН194 и ПП-АН198.

К настоящему времени в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны и производят порошковые проволоки для наплавки под флюсом, открытой дугой, а также в защитных газах деталей различных машин и механизмов, которые эксплуатируют в условиях практически всех известных видов изнашивания [82]. Оригинальные составы порошковых проволок для наплавки защищены пятью патентами.

Создание производства порошковых проволок. В 1950-е годы и начале 1960-х годов порошковые проволоки изготавливали на небольших участках, оборудованных при электродном производстве. Работы по проектированию и организации полномасштабного производства порошковой проволоки, а также разработке и реализации соответствующей промышленной технологии проводили в ИЭС им. Е. О. Патона с привлечением организаций и предприятий, имевших



Автоматизированная линия по изготовлению порошковой проволоки (формовка, заполнение, волочение) (а) и установка для намотки порошковой проволоки на каркасные шпули К-300 (BS-300) (б)

опыт в создании электродных производств, среди которых институты «Гипрометиз» (г. Ленинград), НИИМетиз (г. Магнитогорск), Алма-Атинский завод тяжелого машиностроения, организации и предприятия Минмонтажспецстроя и др. Главной организацией и координатором всех работ являлся ИЭС им. Е. О. Патона. Институтом выполнены исследования технологии изготовления порошковой проволоки различных видов. Изучение совместной деформации сплошных и сыпучих тел, силовых условий при различных схемах обработки и построение технологического процесса позволили создать научные и инженерные основы промышленной технологии изготовления. Разработаны конструкции агрегатов, устройств и приборов для оснащения технологических производственных линий, в частности формующих устройств, дозаторов шихты непрерывного действия, агрегатов обезжиривания, сварки и намотки стальной ленты, установок непрерывного съема проволоки, приборов контроля и мониторинга заполнения проволоки шихтой.

ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона разработал конструкции специализированных типов оборудования для формовки различных порошковых проволок, дозирующих устройств для заполнения стальной оболочки шихтой, устройств для непрерывного съема порошковой проволоки с воло-

кательных станков, установок и оснастки для обезжиривания холоднокатаной ленты, сварки лент, смесителей шихты и другого технологического оборудования. Пилотные образцы оборудования и головные промышленные установки изготавливал Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона. Разработки института передавали предприятиям-изготовителям оборудования. На Алма-Атинском заводе тяжелого машиностроения освоено промышленное производство комплектных технологических линий по изготовлению порошковых проволок, которыми оснащались строящиеся производства (Нижнеднепровское метизное производственное объединение, Череповецкий завод сталеπροкатный завод, Днепропетровский завод сварочных материалов и др.). В 1978 г. работа сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона по созданию, организации массового производства и внедрению новых материалов (порошковых проволок) для механизированной сварки, обеспечивающих повышение производительности труда и качества сварных конструкций, была удостоена Государственной премии СССР. В авторский коллектив входили И. К. Походня, И. И. Фрумин, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков, В. Ф. Альтер, а также сотрудники указанных выше организаций и заводов.

В 1978 г. в состав ИЭС им. Е. О. Патона был передан котельно-сварочный завод Минчермета УССР. За короткий срок завод существенно реконструировали и оснастили современным оборудованием. К настоящему времени Государственное предприятие «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона» является ведущим в Украине по производству сварочных материалов — электродов, порошковых проволок (рисунок), сварочных флюсов.

Высокий уровень разработок сварочных порошковых проволок, технологий их изготовления и производственного оборудования получил признание во многих зарубежных странах. Передача документации, поставка оборудования и освоение технологий по разработкам ИЭС им. Е. О. Патона выполнены на основе лицензионных соглашений и контрактов с предприятиями Франции, ФРГ, США, КНР, Японии, Аргентины и др.

Вопросы теории и практики изготовления порошковых проволок обобщены в работе [83]. Приоритет разработок ИЭС им. Е. О. Патона в области технологий изготовления проволок и соответствующего оборудования защищен более чем 50 патентами.

1. Фрумин И. И. Легирование наплавленного металла при сварке под флюсом // Автомат. сварка. — 1952. — № 1(22). — С. 3–19.
2. Походня И. К., Суптель А. М. Механизированная сварка открытой дугой порошковой проволокой // Там же. — 1959. — № 11. — С. 3–12.

3. Походня И. К., Шлепаков В. Н. Порошковая проволока с сердечником основного типа для полуавтоматической сварки открытой дугой // Там же. — 1961. — № 7. — С. 87–88.
4. Походня И. К. Состояние и перспективы развития способа механизированной сварки открытой дугой порошковой проволокой // Материалы III Сибир. науч.-техн. конф. по сварке, наплавке и газопламенной обработке металлов. — Красноярск, 1963. — С. 52–80.
5. Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н. Сварка порошковой проволокой. — Киев: Наук. думка, 1972. — 223 с.
6. Походня И. К., Шлепаков В. Н. Эффективность защиты металла при сварке порошковой проволокой // Автомат. сварка. — 1970. — № 2. — С. 10–12.
7. Shlepakov V. N., Suprun S. A., Kotel'chuk A. S. Kinetics of gas generation in flux-cored wire welding. — S. I., [1987]. — 15 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1046–87).
8. Походня И. К. Газы в сварных швах. — М.: Машиностроение, 1972. — 256 с.
9. Шлепаков В. Н. Кинетика процессов взаимодействия металла с газами при сварке порошковой проволокой // Проблемы сварки и специальной электрометаллургии. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 168–173.
10. О механизме образования пор в сварных швах / И. К. Походня, Л. И. Демченко, В. Н. Шлепаков и др. // Автомат. сварка. — 1978. — № 6. — С. 1–5.
11. Походня И. К., Демченко В. Ф., Демченко Л. И. Математическое моделирование поведения газов в сварных швах. — Киев: Наук. думка, 1979. — 54 с.
12. Шлепаков В. Н., Гиок С. П. Использование валиковой щелевой пробы для оценки стойкости против образования холодных трещин // Автомат. сварка. — 1987. — № 5. — С. 13–18.
13. Новый метод количественного определения чувствительности сталей к водородному охрупчиванию / И. К. Походня, В. И. Швачко, С. А. Котречко, Ю. Я. Мешков // Физ.-хим. мех. материалов. — 1998. — № 4. — С. 79–84.
14. Шлепаков В. Н., Шевченко Г. А. Легирование сердечника порошковой проволокой при сварке сталей с различным уровнем прочности // Металлургические и технологические проблемы сварки порошковой проволокой: Докл. I Междунар. шк. стран-членов СЭВ «Сварка порошковой проволокой», София, апр. 1986. — Киев: Наук. думка, 1986. — С. 84–88.
15. Шлепаков В. Н., Котельчук А. С. Оценка структурного состава металла низколегированных швов, выполненных порошковой проволокой // Координационный центр стран-членов СЭВ по проблеме «Развитие научных основ и разработок новых технологических процессов сварки, наплавки и термической резки различных материалов и сплавов для получения сварных конструкций и создание эффективных сварочных материалов и оборудования». — 1989. — Вып. 1. — С. 7–10.
16. Shlepakov V. N., Kotelchuk A. S., Naumeiko S. M. Effect of nitride-forming elements on composition and structure of low-alloyed weld metal // The Paton Welding J. — 2000. — № 6. — С. 6–9.
17. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко и др.; под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1990. — 221 с.
18. Влияние легирования на механические свойства сварных швов, выполненных порошковыми проволоками / И. К. Походня, Л. Н. Орлов, Г. А. Шевченко, В. Н. Шлепаков // Автомат. сварка. — 1985. — № 7. — С. 8–11.
19. Шлепаков В. Н., Котельчук А. С., Супрун С. А. Идентификация состава порошковых проволок по электрическим сигналам дуговой сварки // Там же. — 1999. — № 8. — С. 37–42.
20. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Орлов Л. Н. Технологические свойства шлаков при дуговой сварке порошковой проволокой с принудительным формированием шва // Координационный центр стран-членов СЭВ по проблеме «Развитие научных основ и разработка новых технологических процессов сварки, наплавки и термической резки различных материалов и сплавов для получения сварных конструкций и создание эффективных сварочных материалов и оборудования». — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. — С. 94–97.
21. Шлепаков В. Н., Наумейко С. М. Влияние поверхностного натяжения солеоксидных сварочных шлаков на показатели сварочно-технологических свойств самозащитной порошковой проволоки // Автомат. сварка. — 2001. — № 11. — С. 24–27.
22. Шлепаков В. Н., Билинец А. В. Порошковые проволоки с металлическим сердечником для сварки в защитных газах // Там же. — 2003. — № 3. — С. 53–54.
23. Методика первичной санитарно-гигиенической оценки порошковых проволок / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. А. Супрун и др. // Координационный центр стран-членов СЭВ по проблеме «Развитие научных основ и разработка новых технологических процессов сварки, наплавки и термической резки различных материалов и сплавов для получения сварных конструкций и создание эффективных сварочных материалов и оборудования». — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. — С. 28.
24. ГОСТ 26271–84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия. — Введ. 07.09.84
25. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие газов с металлами / И. К. Походня, И. Р. Явдошин, В. И. Швачко и др.; под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 2004. — 442 с.
26. Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н. Электродуговая сварка порошковой проволокой. — М.: Машиностроение, 1973. — 38 с.
27. Сварка порошковой проволокой деталей и узлов строительных и дорожных машин / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков и др. — М., 1975. — 43 с. — (Сер. V «Технология, экономика, организация производства» / ЦНИИТЭстроймаш).
28. Порошковые проволоки для электродуговой сварки: Каталог-справочник / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков и др.; под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1980. — 180 с.
29. Дуговая сварка неповоротных стыков магистральных трубопроводов / И. К. Походня, М. З. Шейкин, В. Н. Шлепаков и др. — М.: Недра, 1987. — 189 с.
30. Pokhodnya I. K., Shlepakov V. N. Welding with flux-cored wire / Ed. B. E. Paton. — S. I.: Harwood acad. publ., 1995. — 73 p. — (Welding and Surfacing Rev.; Vol. 4, pt 4).
31. Суптель А. М., Походня И. К. Порошковые проволоки рутилового типа для сварки открытой дугой: Инструктивные материалы по применению. — Киев: О-во «Знание», 1969. — 31 с. — (Семинар «Сварочные порошковые проволоки»).
32. Походня И. К., Шлепаков В. Н. Порошковая проволока ПП-АН3 для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей на повышенных токах // Автомат. сварка. — 1964. — № 1. — С. 61–65.
33. Походня И. К., Шлепаков В. Н. Порошковая проволока для сварки открытой дугой малоуглеродистых и низколегированных сталей // Свароч. пр-во. — 1967. — № 2. — С. 21–22.
34. Походня И. К., Шлепаков В. Н. Порошковые проволоки карбонатно-флюоритного типа для сварки открытой дугой: инструкт. материалы. — Киев: О-во «Знание» УССР, 1969. — 45 с. — (Семинар «Сварочные порошковые проволоки»).
35. Походня И. К. Сварка порошковой проволокой и перспективы ее развития // Свароч. пр-во. — 1967. — № 11. — С. 43–45.
36. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Супрун С. А. Порошковая проволока ПП-АН9 с улучшенными гигиеническими характеристиками // Там же. — 1973. — № 1. — С. 48–49.
37. Порошковая проволока ПП-АН54 для сварки высокопрочных низколегированных сталей / И. К. Походня, Б. С. Касаткин, В. Ф. Мусияченко и др. — Киев, 1984. — 4 с. — (Информ. письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона; № 58/1461).

38. Влияние состава сердечника порошковой проволоки и защитного газа на стабильность процесса дуговой сварки / В. Н. Шлепаков, А. С. Котельчук, С. М. Наумейко, А. В. Билинец // Автомат. сварка. — № 6. — 2005. — С. 18–22.
39. Походня И. К., Головкин В. Н. Высокопроизводительная порошковая проволока для сварки в углекислом газе // Там же. — 1974. — № 7. — С. 66–70.
40. Особенности процесса сварки порошковой проволокой в углекислом газе / И. К. Походня, В. Н. Головкин, С. А. Супрун, В. Н. Шлепаков // Координационный центр стран-членов СЭВ по проблеме «Развитие научных основ и разработка новых технологических процессов сварки, наплавки и термической резки различных материалов и сплавов для получения сварных конструкций и создание эффективных сварочных материалов и оборудования». — Киев, 1978. — Вып. 1. — С. 109–116.
41. Основы построения композиций порошковых проволок с высокой производительностью сварки / В. Н. Шлепаков, Ю. А. Гаврилюк, А. С. Котельчук, С. М. Наумейко // Сб. докл. V Междунар. конф. «Сварочные материалы. Технологии. Производство. Качество. Конкурентоспособность», Артемьевск, 7–11 июня 2010. — Киев, 2010. — С. 172–178.
42. Shlepakov V. N., Gavriluk Yu. A., Kotelchuk A. S. State-of-the-art of development and application of flux-cored wires for welding of carbon and low-alloyed steels // The Paton Welding J. — 2010. — № 3. — P. 35–42.
43. Дуговая сварка вертикальных швов с принудительным формированием / И. К. Походня, В. Я. Дубовецкий, В. Н. Шлепаков и др. // Автомат. сварка. — 1966. — № 11. — С. 67–70.
44. Автоматическая сварка вертикальных швов технологических металлоконструкций АЭС самозащитной порошковой проволокой / И. К. Походня, Б. Ф. Лебедев, В. Н. Шлепаков и др. // Энергомашиностроение. — 1981. — № 5. — С. 34–36.
45. Перспективы применения в судостроении сварки самозащитной порошковой проволокой / И. К. Походня, С. А. Супрун, А. И. Казацкий, В. В. Кухаренко // Судостроение. — 1987. — № 5. — С. 24–26.
46. Estimating of the characteristics of flux-cored wire welding under the wind flow effect / V. N. Shlepakov, S. A. Suprun, A. S. Kotelchuk // Proc. of Intern. conf. «Welding under extreme conditions», Helsinki, Finland, Sept. 4, 1989. — Oxford, New York: Pergamon press, 1990. — P. 171–179.
47. Hochleistungsschweißen von Vertikalnahten mit Zwangsformung / I. K. Pochodnja, V. N. Shlepakov, W. M. Iljushenko, A. S. Kotelchuk // Sondertagung «Schweißen in Schiff- und Metallbau» mit Vorkolloquium, Rostock, Mai 4–5, 1995. — Duesseldorf: DVS, 1995. — 23 S.
48. Resource-saving technology of automatic welding of main pipelines with flux-cored wire and at forced weld formation / I. K. Pokhodnya, V. N. Shlepakov, V. Ya. Dubovetsky et al. — S. 1, [1983]. — 12 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XI-412–83).
49. Shlepakov V. N. Flux-cored wire automatic electric arc welding of position butt joints of pipelines // Proc. of the Intern. conf. on welding of pipelines, Istanbul, May 12–13, 1998. — Istanbul, 1998. — P. 1–8.
50. Автоматическая сварка неповоротных стыков труб большого диаметра самозащитной порошковой проволокой / Б. Е. Патон, И. К. Походня, В. Я. Дубовецкий и др. // Стр-во трубопроводов. — 1981. — № 2. — С. 22–24.
51. Resources-saving technology of position automatic flux-cored wire welding of gas pipelines with a forced weld formation / I. K. Pokhodnya, V. N. Shlepakov, V. Ya. Dubovetsky et al. // Welding in energy related projects: Proc. of the Intern. conf. held in Toronto, Sept. 20–21, 1983. — Toronto, 1983. — P. 133–139.
52. Савич И. М. Подводная сварка порошковой проволокой // Автомат. сварка. — 1969. — № 10. — С. 70.
53. Кононенко В. Я. Влияние углерода, кремния и марганца на технологические свойства и ударную вязкость металла шва, сваренного под водой // Подводная сварка и резка металлов / Под ред. А. Е. Асниса. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1980. — С. 59–76.
54. Аснис А. Е., Игнатушенко А. А., Дьяченко Ю. В. Способ снижения содержания водорода в ЗТВ при механизированной подводной сварке // Автомат. сварка. — 1983. — № 8. — С. 1–4.
55. Ignatushenko A. A., Denisenko A. V., Djachenko Yu. V. Mechanized underwater welding using austenitic consumables // Underwater welding. — Oxford: Pergamon press, 1983. — P. 227–236.
56. Савич И. М., Кононенко В. Я., Гусаченко А. И. Структура металла шва и околошовной зоны при сварке в воде различной солёности // Автомат. сварка. — 1984. — № 4. — С. 50–52.
57. Гусаченко А. И., Кононенко В. Я. Автоматическая сварка под водой низколегированных сталей порошковой проволокой // Там же. — 1989. — № 7. — С. 32–34.
58. Грецкий Ю. Я., Максимов С. Ю. Влияние никеля на структуру и свойства швов при подводной сварке порошковой проволокой // Там же. — 1995. — № 8. — С. 56–57.
59. Yushchenko K. A., Gretsii Yu. Ya., Maksimov S. Yu. Study of physico-metallurgical peculiarities of wet arc welding of structural steels // Underwater wet welding and cutting. — S. 1.: Woodhead publ. Ltd., 1998. — P. 6–29.
60. Структура и свойства металла, наплавленного под водой порошковой проволокой с никелевой оболочкой / С. Ю. Максимов, И. М. Савич, С. М. Захаров и др. // Автомат. сварка. — 2003. — № 4. — С. 19–22.
61. Грецкий Ю. Я., Максимов С. Ю. Повышение устойчивости дуги, горящей в воде, при сварке порошковой проволокой // Там же. — 2004. — № 2. — С. 11–15.
62. Самозахисний порошковий дріт для підводного зварювання високолегованих сталей типу 12Х18Н10Т / К. А. Ющенко, Ю. М. Каховський, Г. В. Фадеева та ін. // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин: Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. / Наук. керівник — академік Б. Є. Патон. — К.: Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, 2006. — С. 532–538.
63. Данченко М. Е., Савич И. М., Нефедов Ю. Н. Подводная дуговая резка порошковой проволокой // Автомат. сварка. — 1988. — № 4. — С. 59–61.
64. Грецкий Ю. Я., Нефедов Ю. Н. Технология механизированной подводной дуговой резки порошковой проволокой углеродистых и легированных сталей. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1993. — 24 с.
65. Кононенко В. Я., Рыбченко А. Г. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов // Автомат. сварка. — 1994. — № 9/10. — С. 29–32.
66. Кононенко В. Я., Грицай П. М., Семенкин В. И. Применение мокрой механизированной сварки при ремонте корпусов судов // Там же. — 1994. — № 12. — С. 35–38.
67. Кононенко В. Я. Применение технологии механизированной подводной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» // Там же. — 2005. — № 12. — С. 53.
68. Савич И. М., Максимов С. Ю. Применение механизированной резки при подъеме подводной лодки // Там же. — 2001. — № 2. — С. 59–60.
69. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Metallurgizdat, 1961. — 421 с.
70. Подгаецкий В. В. Реакции в атмосфере дуги при сварке под флюсом // Автомат. сварка. — 1953. — № 1. — С. 10–17.
71. Походня И. К. Взаимодействие шлака и металла при дуговой и электрошлаковой наплавке высокохромистых ледебуритных сталей // Там же. — 1955. — № 5. — С. 33–46.
72. Низкокремнистые флюсы для автоматической сварки и наплавки / И. И. Фрумин, Д. М. Рабкин, В. В. Подгаецкий и др. // Там же. — 1956. — № 1. — С. 3–20.
73. Фрумин И. И. О достижениях равновесия между шлаком и металлом при сварке и наплавке // Там же. — 1958. — № 1. — С. 3–13.



74. Фрумин И. И. О механизме возникновения кристаллизационных трещин при сварке и наплавке // Там же. — 1957. — № 1. — С. 4–8.
75. Походня И. К. О влиянии скорости охлаждения на образование кристаллизационных трещин // Там же. — 1955. — № 6. — С. 64–73.
76. Походня И. К. О влиянии химического состава железомуглеродистых сплавов на образование кристаллизационных трещин // Там же. — 1956. — № 6. — С. 55–63.
77. Походня И. К. Горячие (кристаллизационные) трещины при наплавке высокоуглеродистых высокохромистых ледебуритных сталей // Горячие трещины в сварных соединениях, слитках и отливках. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — С. 68–91.
78. Кондратьев И. А., Рябцев И. А., Черняк Я. П. Порошковая проволока для наплавки слоя мартенситностареющей стали // Автомат. сварка. — 2006. — № 4. — С. 50–53.
79. Юзвенко Ю. А. Порошковые проволоки для наплавки // Там же. — 1972. — № 5. — С. 67–71.
80. Юзвенко Ю. А., Кирилюк Г. А. Наплавка порошковой проволокой. — М.: Машиностроение, 1973. — 45 с.
81. Рябцев И. А., Кондратьев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Екотехнологія, 1999. — 62 с.
82. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. — Киев: Екотехнологія, 2004. — 160 с.
83. Производство порошковой проволоки: Учеб. пособие для вузов / И. К. Походня, В. Ф. Альтер, В. Н. Шлепаков и др. — Киев: Виц. шк., 1980. — 231 с.

The paper summarizes the results of the work performed by PWI in the field of flux-cored wire welding and surfacing.

Поступила в редакцию 12.07.2010

**Вышел в свет очередной выпуск журнала
weld+vision № 25 (октябрь 2010 г.)
на русском языке
(издатель — «Фрониус Украина»)**



Содержание

От редактора	3-6
От быстрых успехов к долгосрочным результатам	
Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	7-11
Фирма «Fronius» работает на долгосрочную перспективу	
Усовершенствованный процесс CMT — CMT Advanced: повышение производительности наплавки на 60 %	
Виртуальное обучение в области сварки	
Кратко и по существу	12-13
Новости от «Fronius»	
Инновации	14-15
Оптимизированные процессы обещают огромную потенциальную экономию	
Практические примеры	16-19
«TimeTwin Digital» вдвое сокращает время сварки	
Мебельная фирма «Embru» получает прибыль благодаря сварке	
О фирме	20-21
Мечта, обретающая форму	
Информация для путешественников	22-23
Другой взгляд на Париж	

**Бесплатную подписку можно оформить
в редакции журнала «Автоматическая сварка».
Контактный тел./факс: 528-34-84**

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЯПОНИИ В ПЕРИОД ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА 2009 г.

О. К. МАКОВЕЦКАЯ, канд. экон. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены статистические данные, характеризующие состояние рынка сварочной техники на завершающем этапе общемирового финансово-экономического кризиса 2009 г. в Японии.

Ключевые слова: сварочное производство, рынок материалов и оборудования, программа действий, приоритетные направления

Рынок основных конструкционных материалов. В 2009 г. вследствие мирового финансового кризиса в Японии произошло значительное сокращение выпуска основных конструкционных материалов. По сравнению с 2008 г. производство сырой стали сократилось на 26,3 % и составило 87,5 млн т. Это самый низкий уровень производства с 1969 г. Значительно сократился также выпуск всех видов готовой стальной продукции. В табл. 1 представлены данные о производстве горячекатаного проката за период 2007–2009 гг. [1].

Металлоперерабатывающие отрасли сократили заказы на 30 % (до 37,6 млн т). Потребление стали в строительстве уменьшилось на 26,1 % (до 9,6 млн т), машиностроении на 29,8 % (до 18,2 млн т), судостроении на 2,8 % (до 5,5 млн т). В наибольшей степени (на 35,5 %) сократили заказы на стальную продукцию автомобилестроительные компании (до 7,3 млн т). По прогнозу JFE Holdings в 2010 г. ожидается увеличение объема заказов в автомобиле- и машиностроении.

Производство первичного алюминия в 2009 г. уменьшилось на 23,2 % (до 5,1 тыс. т), вторичного — на 36,9 % (до 666,0 тыс. т), алюминиевого проката — на 21,4 % (до 1 062,8 тыс. т), а прессованного профиля — на 24,2 % (до 673,1 тыс. т). Внутреннее потребление алюминия составило в 2009 г. 3250,1 тыс. т (на 23,4 % меньше, чем в 2008 г.). В табл. 2 приведена структура потребления алюминиевого проката и прессованного профиля в Японии по отдельным отраслям промышленности и в строительстве [2].

Рынок сварочных материалов. Рынок сварочных материалов в Японии тесно связан с рынком конструкционных металлов, особенно стали [3]. Уменьшение потребления

готовой стальной продукции основными металлоперерабатывающими отраслями привело к значительному сокращению рынка сварочных материалов. Например, уменьшилось потребление сварочных материалов в судостроении на 10,9 %, а также потребление сварочных материалов в автомобиле- и мостостроении, промышленном машиностроении и ряде других отраслей, вследствие чего общий объем производства сварочных материалов в 2009 г. сократился почти на 30 % по сравнению 2008 г. и достиг минимального уровня за последние 20 лет. Как результат произошло сокращение производства сварочных материалов по отдельным видам продукции (от 9 до 44 %).

Объем и структура внутреннего потребления основных групп сварочных материалов в 2009 г. представлены в табл. 3 [4].

Таблица 1. Производство горячекатаного проката, тыс. т

Горячекатаный прокат	2007	2008	2009	2009/2008, %
Обычная сталь	86 704,4	84 299,5	63 487,9	75,3
Специальная	21 498,2	21 782,1	13 247,1	60,8

Таблица 2. Отраслевая структура потребления алюминиевого проката и прессованного профиля, тыс. т

Отрасль промышленности	Прокат		Прессованный профиль	
	2009	2009/2008, %	2009	2009/2008, %
Пищевая	428,6	–1,1	0,9	–18,9
Производство посуды	2,7	–6,5	1,2	–35,5
Фольга	113,1	–21,8	—	—
Производство металлоизделий	76,7	–20,4	18,9	–25,7
Электроэнергетика	76,9	–29,0	31,1	–5,7
Транспорт	118,8	–37,7	104,3	–36,6
Промышленное машиностроение	19,1	–47,4	40,4	–44,8
Строительство	40,6	–12,2	426,2	–17,1
Другие отрасли	40,4	–47,3	38,4	–32,4
Всего	916,9	–19,3	661,3	–24,0



Таблица 3. Объем и структура внутреннего потребления сварочных материалов

Вид сварочного материала	2008		2009		2009/2008, %	2010 (прогноз)	
	тыс. т	%	тыс. т	%		тыс. т	%
Покрытые электроды	40,6	11,4	30,6	12,1	75,4	29,4	11,5
Проволоки:							
для сварки под флюсом+флюс	40,2	11,3	28,9	11,4	71,9	31,3	12,3
сплошная тонкая	167,5	46,7	93,4	37,0	55,8	95,5	38,2
для сварки TIG, газовой сварки, резки и др.	2,1	0,6	1,9	0,8	90,5	1,9	0,8
Порошковая проволока	107,5	30,0	97,4	38,7	90,9	99,5	37,2
<i>Всего</i>	358,4	100,0	252,2	100,0	70,4	257,6	100,0

Сокращение общего объема потребления сварочных материалов отразилось на структуре потребления отдельных типов сварочных материалов. В наименьшей степени сократилось потребление порошковой проволоки (на 9 %), при этом ее доля в структуре потребления возросла до 38,7 % и стала соизмерима с долей применения сплошной проволоки, объем применения которой сократился в наибольшей степени (44,2 %). Уменьшились также объемы внешней торговли сварочными материалами. Импорт сварочных материалов сократился на 40,0 % (33,62 тыс. т); импорт сплошной проволоки — на 56,6 % (до 11,5 тыс. т), покрытых электродов — на 20,4 % (до 1,58 тыс. т). Вместе с тем импорт порошковой проволоки возрос на 4 % и составил в 2009 г. 14,4 тыс. т, а экспорт сварочных материалов сократился на 31,5 % (39,98 тыс. т).

По оценкам японских экспертов, в 2010 г. существенного роста производства в металлообрабатывающей промышленности и в строительстве не ожидается, в связи с этим спрос на сварочные материалы останется практически на уровне 2009 г. По прогнозу объем производства сварочных материалов в 2010 г. увеличится на 2,1 % (257,6 тыс. т). Экспорт сварочных материалов в 2010 г. возрастет на 2,0 % (до

36,7 тыс. т), а импорт — на 2,3 % (до 34,38 тыс. т).

Рынок сварочного оборудования. В 2009 г. отмечен значительный спад производства сварочного оборудования: на 60 % сократилось количество выпускаемого сварочного оборудования (в стоимостном выражении — почти 50 %). В табл. 4 приведены данные об объеме производства сварочного оборудования в Японии за 2009/2008 гг., а также дан прогноз на 2010 г. [5].

Объем оборудования для дуговой сварки составляет около 95 % всего производимого в Японии сварочного оборудования. В 2009 г. производство стандартного автоматического и полуавтоматического оборудования для дуговой сварки сократилось на 66,7 % (22100 шт.). Почти 90 % оборудования указанного вида составляют установки для сварки MAG в среде защитных газов. Потребность промышленности в оборудовании этого типа очень велика, но в связи с сокращением производства в автомобилестроении, строительстве и некоторых других отраслях инвестиции в данную сферу сварочной индустрии практически заморожены. Исключение составило судостроение, которое предварительно имело достаточный объем заказов. Однако усилиями только этой от-

Таблица 4. Показатели производства сварочного оборудования Японии

Оборудование	2008, шт. (млрд иен)	2009, шт. (млрд иен)	2009/2008, % (млрд иен)	Прогноз на 2010, шт. (млрд иен)
Все оборудование для дуговой сварки	128 100 (39 797)	50 900 (20 790)	39,7 (52,2)	56 800 (21 550)
В том числе:				
преобразователи вращающегося типа	22 200 (6 324)	7 900 (2 590)	35,6 (41,0)	9 500 (3 100)
автоматы и полуавтоматы	66 400 (21 847)	22 100 (8 200)	33,3 (37,5)	24 700 (9 430)
источники питания и др.	39 500 (11 626)	20 900 (10 000)	52,9 (86,0)	22 600 (9 020)
Машины для контактной сварки, всего	8 400 (9 841)	2 900 (4 400)	34,6 (44,7)	3 300 (4 900)
<i>Всего</i>	136 500 (49 638)	53 800 (25 190)	39,4 (50,7)	60 100 (26 450)

расли стабилизировать ситуацию не представляется возможным.

Несмотря на значительный спад производства автоматического и полуавтоматического оборудования выпуск нового поколения сварочного оборудования с цифровыми системами управления в данном сегменте постоянно увеличивается. В настоящее время в строительстве и ряде других отраслей, производящих сварные конструкции, происходит замена традиционного сварочного оборудования на цифровое: из каждых 10 единиц оборудования четыре заменяются на оборудование, оснащенное источниками питания с цифровыми системами управления. Около 10 % объема выпуска цифровых источников питания поставляют на экспорт в страны Северной Америки, Европы и Азии.

Согласно прогнозу в 2010 г. ожидается рост производства стандартного автоматического и полуавтоматического оборудования в количественном выражении на 12 %, что составит 24700 шт., в стоимостном выражении увеличение продаж ожидается на уровне 15 % по отношению к 2009 г.

Производство машин для контактной сварки в 2009 г. сократилось на 65,4 % в количественном выражении и на 55,3 % в стоимостном. В 2010 г. ожидается рост производства сварочных машин данного вида на 13,8 % (3300 шт.), что связывают с прогнозируемым увеличением экспорта в автомобилестроении в 2010 г.

Япония является мировым лидером в области производства промышленных роботов и автоматизации производства на основе роботизации процессов сварки. Сварочные роботы составляют около 20 % всех производимых в стране роботов, из которых подавляющая доля приходится на роботы, используемые для традиционных технологий дуговой и контактной сварки, более 70 % из них применяют в автомобилестроении.

Исходя из статистических данных за первую половину 2009 г. снижение объема производства

сварочных роботов в стоимостном выражении по сравнению с аналогичным периодом 2008 г. составило более 57 %. Внутреннее потребление сварочных роботов за этот период сократилось почти на 55 %, а экспорт — на 60 %. В табл. 5 приведены данные о стоимостном объеме производства сварочных роботов в 2008 г., а также в первой половине 2009 г. Снижение производства сварочных роботов в большей степени затронуло сектор контактной сварки [6].

Из изложенного выше можно заключить, что мировой финансово-экономический кризис значительно повлиял на экономику Японии, включая металлообрабатывающие отрасли промышленности и сварочную индустрию. Объем производства сварочной техники по отдельным видам продукции сократился от 30 до 60 %.

В ответ на кризис сварочная промышленность, исследовательские организации и профессиональные объединения Японии разработали конкретные программы действий как на уровне отдельных фирм и организаций, так и национальные долгосрочные (на 20 лет) программы развития сварочной индустрии. Основным приоритетом на ближайшее время японские производители сварочной техники считают необходимым поддерживать разумные рыночные цены и доход от инвестиций. Для повышения оборота на рынке сварочной техники японскими специалистами предложены программы деятельности «Новая стоимость» и «Три в одном», в рамках которых предлагается осуществить оптимизацию организации сварочного производства, исключив значительные накладные расходы, оптимизацию технологических процессов сварки, а также разработку новой высококачественной продукции. Следует скоординировать деятельность производителей, дилеров и потребителей сварочной техники, увеличить объемы продаж на внутреннем рынке путем изучения потребностей производителей сварных конструкций, особенно малых и средних предприятий.

Таблица 5. Стоимостный объем (млн иен) производства, поставок на внутренний рынок и экспорт промышленных роботов и манипуляторов для сварки в первом полугодии 2008 и 2009 гг.

Область применения	Январь–июнь 2008			Январь–июнь 2009			Январь–июнь 2009/ январь–июнь 2008, %		
	Внутреннее потребление	Экспорт	Всего	Внутреннее потребление	Экспорт	Всего	Внутреннее потребление	Экспорт	Всего
Все промышленные роботы	103 896	200 723	304 598	51 200	58 586	109 786	49,3	29,2	36,0
В том числе для способов сварки:	26 552	30 203	56 755	12 101	12 102	24 203	45,6	40,1	42,6
дуговой	14 791	13 385	28 176	7 363	6 234	13 597	49,8	46,6	49,5
контактной	11 702	16 803	28 506	4 701	5 864	10 565	40,2	34,9	37,1
лазерной	15	10	25	11	—	11	73,3	—	44,0
других	44	5	49	27	4	31	61,4	80,0	63,3



Япония стремится занять ведущее положение в мире, «иметь свое лицо» и в области технологий сварки и соединения. С этой целью Японским сварочным обществом предложена новая философия проведения научно-исследовательских работ в секторе сварки и производства сварочной техники — self-made (сделай себя сам). На государственном уровне в рамках деятельности Японского сварочного общества разработаны планы (программы) научно-исследовательских работ в области конкретных технологий сварки и соединения на ближайшие 20 лет, а также стратегические задачи развития технологий сварки в отдельных отраслях промышленности. Намечены основные направления исследований и отрасли промышленного производства, в интересах которых в основном будут разрабатываться технологии сварки и соединения. К приоритетным направлениям исследований отнесены сварные конструкции, способы сварки, металлургия сварки, усталостная прочность сварных конструкций, физика сварочной дуги, лучевая обработка, создание легких конструкций, микросварка, соединение по поверхности раздела. Области судо- и мостостроения, атомной энергетики, химическая промышленность, изготовление сосу-

дов высокого давления названы приоритетными для сварочной индустрии Японии. В рамках программ предполагается разработать и внедрить системный подход при выполнении исследований и разработок, создании новых образцов продукции. Предполагается изготовление сварных конструкций и изделий с новым уровнем свойств на основании созданных интеллектуальных банков данных, благодаря которым станет возможным производить расчет сварочных материалов и характеристик сварных конструкций, осуществлять проектирование технологического процесса сварки и его оптимизацию. Предлагаемый системный подход позволит осуществить стандартизацию процесса сварки и соединения на качественно новом уровне.

1. The Japan iron and steel federation // <http://www.jisf.or.jp>.
2. Japan aluminium association // <http://www.aluminium.or.jp>.
3. Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. Сварочное производство Японии. Особенности современного развития // Свароч. пр-во. — 2009. — № 10. — С. 42–50.
4. Welding consumables // The Japan Welding News. — 2010. — Winter iss., 14. — № 50. — P. 1–2.
5. Welding machines // Ibid. — P. 3–4.
6. Japan robot association // <http://www.jara.jp/e/>.

The paper presents statistical data characterizing the condition of the Japanese market of welding equipment at the final stage of the world financial-economic crisis of 2009 in Japan.

Поступила в редакцию 18.10.2010

21-24 ИЮНЯ 2011
Нижний Новгород

X Международная специализированная выставка
МАШИНОСТРОЕНИЕ
СТАНКИ
ИНСТРУМЕНТ **MaDIn**

XV Международная специализированная выставка
СВАРКА-2011

Всероссийское ЗАО "Нижегородская ярмарка"
603086, г. Нижний Новгород, ул. Совнаркомовская, 13
тел. (831) 277-54-96, 277-55-89 факс: 277-55-86
E-mail: kaa@yarmarka.ru, levin@yarmarka.ru
<http://www.yarmarka.ru>



ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ TiO_2 ИЗ СУСПЕНЗИИ МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВОЗДУШНО-ГАЗОВОГО ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Ю. С. БОРИСОВ, А. Л. БОРИСОВА, доктора техн. наук, М. В. КОЛОМЫЦЕВ, Е. К. КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК, инженеры, А. Ю. ТУНИК, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины), О. Н. КОЗАРУК, В. А. ЯРОШЕНКО, инженеры (ТО ООО НПП «Микрон», г. Черкассы)

Выполнены эксперименты по нанесению покрытий из TiO_2 с использованием в качестве напыляемого материала водной суспензии TiO_2 с содержанием наноразмерных частиц TiO_2 в количестве 15 мас. %. Эксперименты проведены с применением метода высокоскоростного воздушно-газового плазменного напыления (установка «Киев-С»). Толщина полученных покрытий составляет 80 ± 12 мкм. В процессе напыления соотношение содержания фаз «анатаз–рутил» изменяется с 79/21 (в порошке) до 31/69 (в покрытии).

Ключевые слова: диоксид титана, суспензия, покрытие, плазменное напыление, фазовый состав, структура

Одним из новых направлений в развитии метода газотермического напыления покрытий является использование в качестве исходного материала суспензий, состоящих из жидкой фазы и высокодисперсного (вплоть до наноразмерного) порошка материала покрытия. Это позволяет заменять пневмотранспорт порошков в зону напыления, жидкостным транспортом и избежать таких проблем, как плохая сыпучесть, склонность к агломерированию мелкодисперсных порошков, и формировать тонкие (до 1 мкм и менее) слои напыленного покрытия, в том числе с наноразмерной структурой [1, 2]. К настоящему времени накоплен опыт экспериментальных работ по получению покрытий из оксидов (Al_2O_3 – TiO_2 , ZrO_2 , TiO_2), карбидов (WC – Co) [2]. Для напыления суспензий используют технологии плазменного и газоплазменного напылений [2]. В качестве жидкой среды применяют воду и этиловый спирт.

Наибольшее внимание исследователей привлекло нанесение покрытий с применением суспензии TiO_2 , что связано с фотокаталитическими свойствами TiO_2 -покрытия и перспективами его применения для очистки воздуха (например, от ацетилальдегида, аммиака, оксидов азота и др.), воды (от фенолов и т. п.) [3, 4]. Показано также, что нанокристаллический пористый слой TiO_2 , формирующийся при плазменном напылении суспензии TiO_2 , может быть использован при изготовлении солнечных батарей нового типа (батареи Гретцеля), обладающих повышенным коэффициентом полезного действия (10...11 %) [5].

В качестве исходного материала для нанесения покрытий из TiO_2 использовали водную суспен-

зию с содержанием наноразмерных частиц оксида TiO_2 в количестве 15 мас. %.

Методом РСФА установлено, что порошок TiO_2 (рис. 1), входящий в состав суспензии, содержит 79 мас. % анатаза (тетрагональная решетка с размерами элементарной ячейки $a = 0,3798$, $c = 0,9532$ нм) и 21 мас. % рутила (тетрагональная решетка с размерами элементарной ячейки $a = 0,4595$, $c = 0,2955$ нм).

Оценка областей когерентного рассеяния для анатаза 7,6 и рутила 24 нм указывает на нанодисперсность исходных частиц.

При исследовании порошка на растровом электронном микроскопе установлено, что частички TiO_2 с размером около 100...200 нм образуют конгломераты до 1...1,5 мкм.

Для равномерного распределения частиц порошка в суспензии перед напылением проводили ее ультразвуковую обработку на установке УЗ-ДН-А в течение 5...7 мин. Этого было достаточно для сохранения однородности суспензии на про-

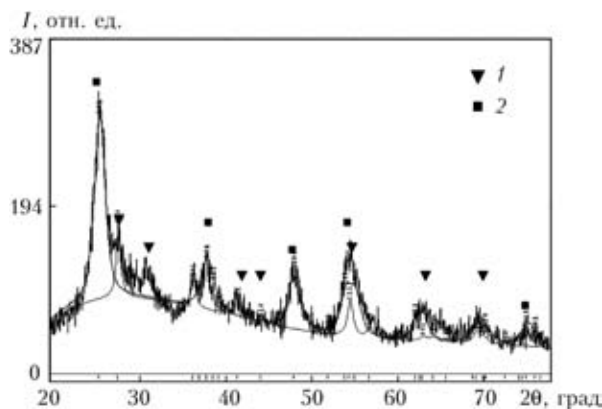


Рис. 1. Рентгенограмма частиц TiO_2 в исходной суспензии: 1 — рутил; 2 — анатаз

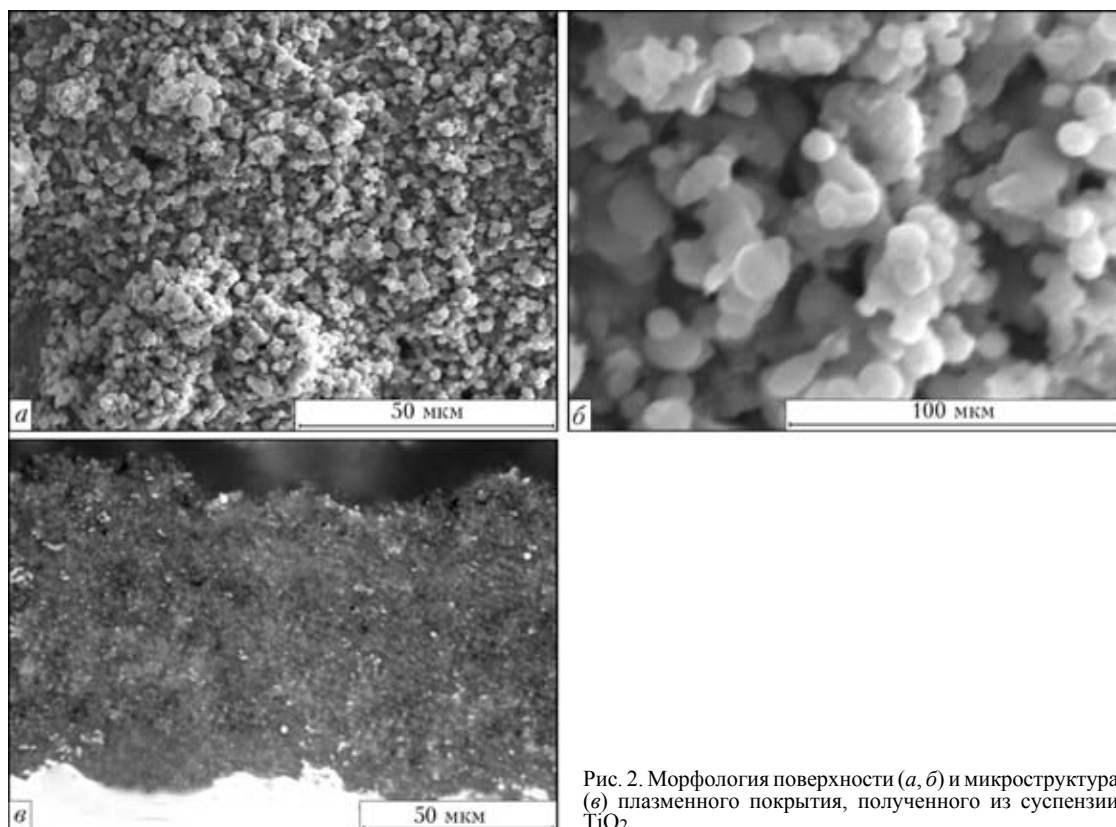


Рис. 2. Морфология поверхности (а, б) и микроструктура (в) плазменного покрытия, полученного из суспензии TiO_2

тяжении нескольких часов и обеспечения равномерности подачи ее в плазменную струю.

Покрyтия из суспензии TiO_2 получали с помощью метода высокоскоростного воздушно-газового плазменного напыления с использованием модернизированной установки «Киев-С».

Для транспортировки суспензии в плазменную струю использовали воздушный компрессор, который создавал подпорное давление сжатым воздухом в резервуаре с суспензией. Перед поджигом плазменной струи сжатый воздух под небольшим давлением по отдельной магистрали подавали в инжектор для обдува сопла подачи суспензии. После поджига плазменной струи и выхода работы плазмотрона на режим напыления начинали подачу суспензии с малого давления подпорного газа и одновременно прекращали подачу сжатого воздуха на обдув сопла инжектора. Далее выходили на режим давления подпорного газа, когда струя суспензии полностью смешивалась с плазменной струей, не нарушая ее осевой стабильности. Суспензию подавали под срез сопла плазмотрона на расстоянии 10 мм под углом 10° навстречу потоку плазменной струи. Диаметр сопла инжектора составлял 0,5 мм.

Технологические параметры работы установки после выхода на режим напыления были следующими: $I = 250$ А, $U = 290$ В, $L = 120$ мм, расход плазмообразующего газа составлял $18 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление подпорного газа (воздух) — 3,5 атм. Пок-

рyтия наносили на образцы углеродистой стали размером $16 \times 16 \times 3$ мм.

В результате эксперимента получены однородные равномерные по толщине покрытия без трещин и отслоений от основы (рис. 2). Толщина покрытия составляла 80 ± 12 мкм, структура мелкодисперсная, сформированная из округлых коагулированных частиц размером 6...17 мкм. Микротвердость покрытия невысокая — 1420 ± 300 МПа, что, по-видимому, связано с невысокой когезионной прочностью покрытия.

В процессе напыления при нагреве порошка плазменной струей в оксиде титана происходят структурно-фазовые превращения, изменяется соотношение двух его основных модификаций — рутила и анатаза. Так, содержание анатаза уменьшается до 31 мас. %, а рутила возрастает до 69 мас. % по сравнению с исходным порошком соответственно 79 и 21 мас. % (см. рис. 1). При этом параметры решетки обеих фаз изменяются незначительно: у рутила $a = 0,4593$ и $c = 0,2942$, у анатаза — $a = 0,3776$ и $c = 0,9491$ нм. Анатаз — это низкотемпературная модификация TiO_2 и при нагреве в температурном интервале 699...915 °С он переходит в рутил [6], поэтому в процессе плазменного напыления содержание рутила в покрытии увеличивается по сравнению с исходным порошком.

Таким образом, установлена возможность формирования покрытий толщиной до 80...90 мкм в



результате высокоскоростного плазменного напыления водной суспензии с порошком TiO_2 . Поскольку каталитическая активность материала такого покрытия зависит от содержания в нем фазы анатаза, дальнейшее направление работы связано с определением пути управления фазовым составом TiO_2 -покрытия, полученного методом плазменного напыления суспензии TiO_2 , и установление влияния фазового состава покрытия на его каталитическую активность или эффективность использования в составе солнечной батареи.

1. *Напыление покрытий с подачей в плазменную струю водных растворов различных соединений* / В. А. Фролов, В. А.

Поклад, Б. В. Рябенко и др. // Свароч. пр-во. — 2009. — № 9. — С. 47–50.

2. *Parameters controlling liquid spraying solutions, solids or suspensions* / P. Fauchais, R. Etchart-Salas, V. Rat et al. // J. Therm. Spray Technology. — 2008. — 17(1). — P. 31–59.
3. *Comparative study on the photocatalytic behavior of titanium oxide thermal sprayed coatings from powders and suspensions* / F.-L. Toma, L. V. Berger, D. Jackuet et al. // J. Surface and Coating Technology. — 2009. — 203. — P. 2150–2156.
4. *Microstructure and environment functionalities of TiO_2 -supported photocatalysts obtained by suspension plasma spraying* / F.-L. Toma, G. Bertrand, S. Begin et al. // Appl. Catal. B. — 2006. — 68. — P. 74–84.
5. *Suspension plasma spraying of TiO_2 for the manufacture of photovoltaic cells* / R. Vassen, Z. Yi, H. Kassner, D. Stover // J. Surface and Coating Technology. — 2009. — 203. — P. 2146–2149.
6. *Физико-химические свойства окислов: Справочник*. — М.: Металлургия, 1969. — 456 с.

Experiments on deposition of TiO_2 coatings with the TiO_2 water suspension containing 15 wt. % of the nanosized TiO_2 particles used as a spraying material were carried out. The experiments were conducted by the high-velocity air-gas plasma spraying method (unit «Kiev-S»). Thickness of the deposited coatings was $80 \pm 12 \mu\text{m}$. The anatase/rutile content ratio varied during the spraying process from 79/21 (in powder) to 31/69 (in coating).

Поступила в редакцию 30.10.2009



По страницам журнала «WELDING and CUTTING», 2010, № 3

ВЫСОКОТОЧНЫЙ РОБОТ ЭКОНОМИТ ВРЕМЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ. — С. 132–134

Фирма AMS (Германия) разработала уникальную установку для плазменной резки нержавеющей стали специально для изготовления сосудов под давлением, ресиверов, теплообменников, смесителей и других устройств емкостью от нескольких миллилитров до ста тысяч литров массой до 20 т и максимальным диаметром до 4 м, используемых во многих отраслях промышленности.

К достоинствам установки относится возможность сокращения времени вырезки контура днища резервуара и всех требуемых в нем отверстий до четырех часов вместо двух дней ручной работы, причем с точностью линии реза $\pm 1 \text{ мм}$. Точность реза существующих образцов аналогичного оборудования составляет 3...5 мм, что при последующих операциях, например, после свертывания обечаек резервуара приводит к появлению в зоне стыка сопрягаемых листов щелей или к короблению металла.

Кроме того, установка позволяет проводить резку нержавеющей стали толщиной до 50 мм, в то время как большинство образцов существующего оборудования рассчитано

на резку стали толщиной до 25 мм. Установка обеспечивает резку металла и вырезку отверстий не только по прямолинейным, но и по криволинейным плоскостям, позволяет выполнять разделку кромок для последующей операции сварки.

Разрезаемые листы могут быть размещены на двух сварочных столах размером 4×4 м, а плазматрон, закрепленный на подвижном портале, имеет возможность вращения и перемещения по трем осям (по длине на 8 м, по ширине на 3 м и на 1 м по высоте). При резке небольших изделий один сварочный стол может быть использован для загрузки или выгрузки деталей, в то время как на втором столе будет проводиться операция резки. При необходимости обработки крупногабаритных изделий два стола соединяются между собой, что расширяет обрабатываемую поверхность до 4×8 м.

Плазматрон снабжен шупом, перемещаемым пневматическим приводом, который контролирует пространственное положение плазматрона и позволяет проводить последующее моделирование перемещения плазматрона по сферическим, коническим, полусферическим обрабатываемым плоскостям



разрезаемого металла с фиксированием реперных точек, необходимых для обозначения нулевых точек отсчета при выполнении последующих операций изготовления обечаек и сварки.

Установка может быть укомплектована баком емкостью 20 м³ и размерами 6,5×1,8×1,8 м для полного погружения

готового изделия в протравочный раствор, системой проверки изделия на герметичность при давлении до 180 ати, а также системами видеоэндоскопии, ферритометром и анализатором свойств металла.

КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛАСТМАСС С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ. — С. 143

Поликарбонаты нашли широкое применение в автомобильной промышленности при изготовлении боковых окон или прозрачных обзорных крыш, что по сравнению с обычными стеклами позволяет не только сократить массу этих элементов на 40...50 %, но и повысить их стойкость к ударным воздействиям, т. е. повысить уровень безопасности водителя и пассажиров в аварийных ситуациях.

В связи с тем, что поликарбонаты деградируют под действием ультрафиолетового излучения, для повышения степени резистивности к солнечному свету на них наносят полисилоксановое покрытие, которое к тому же обеспечивает повышенную склерометрическую твердость (стойкость к истиранию и нанесению царапин).

В настоящее время полисилоксановое покрытие наносят методом распыления или поливом, однако в этом случае появляется дополнительная операция предварительной защиты зон соединения поликарбоната с металлом от нанесения на них покрытия.

При нагреве стеклопакетов разница в коэффициентах термического расширения стали и стекла почти не заметна, но у поликарбоната этот параметр в пять раз выше, чем у стали, поэтому для исключения выпучивания листа поликар-

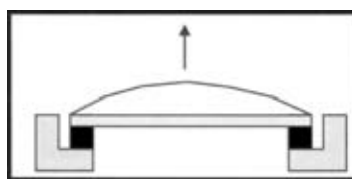


Рис. 1. Малый зазор между поликарбонатом и металлической рамой приводит к его выпучиванию



Рис. 2. Для устранения выпучивания поликарбоната необходимо увеличение зазора

боната при нагреве (рис. 1, 2) необходимо увеличивать размеры металлического проема, куда вклеивается лист поликарбоната. Особенности монтажа поликарбоната в металлическую раму показаны на рис. 1 и 2.

При этом необходимо также использовать соответствующие высококомодульные (Terostat 8890FE 25) или низкокомодульные адгезивы (Terostat 8590UHV/M) и соответствующие грунтовочные материалы, выпускаемые фирмой Henkel AG & Co. KGaA

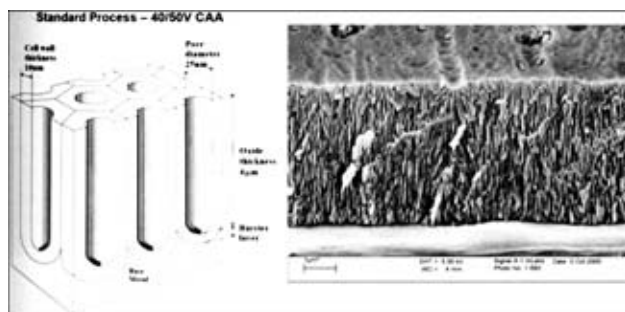
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ. — С. 144–148

Склеивание как метод соединения является самым древним в истории человечества, но его использование в автомобильной промышленности известно лишь с начала 1980-х годов благодаря выпуску фирмой «Лейланд» модели ECV3 (Energy Conservation Vehicle Mark 3) — первого энергосберегающего транспортного средства с несущим кузовом из алюминиевых сплавов, прочность конструкции которого обеспечивалась в основном упрочненными эпоксидными смолами. Преимущества современных автомобилей серии «Aston Martin DB9», «Jaguar XJ», спортивного «Lotus Elise», а также «Formula 1» достигнуты за счет использования взамен сварки клеевых соединений узлов корпуса, хотя при этом нельзя отрицать важную в автомобилестроении роль способов сварки или заклепочных соединений.

В авиационной промышленности в 1903 г. методом склеивания был изготовлен пропеллер биплана братьев Райт, более широко этот метод использовали при изготовлении аэропланов в 1945 г., а в настоящее время примером успешного использования клеевых соединений при изготовлении элементов рулевого оперения из алюминиевых сплавов является «Конкорд». Современные модели аэробусов типа A320 и A319 немыслимы без расширения использования композитных материалов, для которых склеивание является основным процессом соединения.

Предварительная обработка поверхностей перед процессом склеивания является необходимостью для большинства материалов, и выбор метода обработки зависит от требований к соединению, условий его эксплуатации и других факторов, например, энергозатрат, стоимости химикатов, а также законодательных запретов по использованию некоторых реактивов (в частности, шестивалентного хрома). В ряде слу-

чаев методы обработки представляют собой многостадийный процесс, включающий химическое травление и анодное окисление, а также современные методы обработки на основе электролитического раскисления в фосфорной кислоте в сочетании с сернокислотным анодированием (EPAD+SAA), или анодирования на переменном токе с наложением постоянного потенциала (AC/DC). Для примера на рисунке представлены особенности поверхностной обработки.



Схематическое представление поверхности материала, подвергнутого сернокислотному анодированию и микрография реальной поверхности

Процессом EPAD+SAA достигается очистка и раскисление обрабатываемой поверхности, а также модификация поверхностного слоя, повышающая его адгезионные свойства. При этом возникают двойные оксидные слои, способствующие более глубокому проникновению грунтовки и служащие барьерным слоем, улучшающим коррозионную стойкость.



ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ. — С. 152–154

Дуговая пайка высокопрочных двухфазных сталей припоями CuSn6P взамен сварки позволяет увеличить прочность соединений при воздействии циклических нагрузок. При этом зона разрушения обычно располагается на границе между припоем и основным металлом, где возможно наложение нескольких факторов, например, металлургического и геометрического характера (в частности, надреза).

Целью данной работы является исследование условий формирования паяных соединений с малым углом смачивания и увеличением зоны сплавления различных припойных материалов. Для проведения исследований использовали нахлесточные соединения с перекрытием 10 мм стали НСТ780XD+ZE с дуговым нагревом плавящимся электродом в защитной газовой среде, который обеспечивает высокую стабильность процесса, пониженный уровень тепловложения и отсутствие разбрызгивания.

В качестве припойных материалов были выбраны проволоки из сплава CuSi3Mn1, наиболее широко используемого в автомобилестроении сплава CuAl7, обеспечивающего самую высокую среди выбранных припоев статическую прочность паяных соединений, и сплава CuSn6P, обладающего наилучшим смачиванием стали при минимальной температуре нагрева.

В качестве неизменяемых параметров режима пайки были выбраны: скорость пайки — 1 м/мин, диаметр проволоки — 1 мм, расход защитного газа — 12 л/мин.

Проведение дополнительной обработки обычно способствует повышению прочности соединения при вибрационных нагрузках, а зона начального разрушения паяного соединения смещается в центральную часть прослойки припоя, в связи с чем обеспечение требуемой прочности паяного соединения обуславливается свойствами припоя.

Результаты исследования указывают на то, что при дуговом нагреве зоны соединения короткой дугой в среде защитного газа использование припойных материалов, обладающих более высокими прочностными характеристиками, для которых необходим более высокий уровень тепловложения из-за их низкой смачивающей способности, не приводит к заметному повышению прочности паяных соединений в условиях циклической нагрузки.

Припойные материалы с пониженной прочностью, но обладающие хорошей смачиваемостью, позволяют повысить

циклическую стойкость соединений из-за возможности проведения процесса пайки при пониженном уровне тепловложения. Кроме того, по сравнению с обычно используемой проволокой состава CuSi3Mn1 припойная проволока состава CuSn6P позволяет улучшить прочность и демпфирующие свойства соединения в условиях циклических нагрузок, а также не препятствует последующей операции нанесения защитного покрытия. На соединяемых поверхностях стали вблизи паяного шва менее заметны следы нагара и повреждения цинкового покрытия.

Последующая ударная обработка паяного шва способствует повышению прочности соединения при циклических нагрузках, причем ударная проковка по сравнению с дробеструйной обработкой позволяет повысить прочность соединения почти на 20 %.

Проведение испытаний паяных соединений при пульсирующей растягивающей нагрузке в резонансном режиме до разрушения при соотношении напряжений $R = 0,1$ показывает, что использование высокопрочного припойного металла не обязательно приводит к повышению прочности паяного соединения в условиях циклической нагрузки (рисунок).

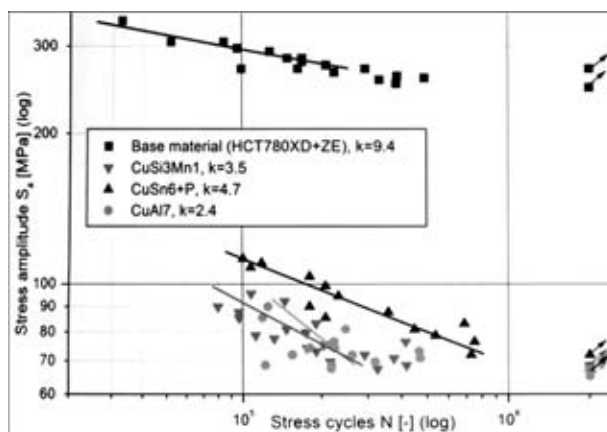


Диаграмма циклической прочности соединений при различных типах припоя

РАСШИРЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ СОСУДОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ УЧЕТА ОПАСНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ. — С. 160–166

В металлах сосудов под давлением, содержащих чистые, сухие или не вызывающие коррозию жидкости или газы, обычно не наблюдаются процессы деградации в течение длительного времени. Сосуды для хранения криогенных продуктов типа сжиженного природного газа, жидкого азота или жидкого кислорода обычно не подвергаются контролю состояния металла на внутренней поверхности сосуда в течение двадцати — тридцати лет. К тому же опорожнение сосуда для проведения проверки состояния его внутренней поверхности связано с существенными потерями сохраняемого продукта. В том случае, если не предполагается никаких изменений условий эксплуатации, или не очень велика опасность разрушения сосуда, то, учитывая незначительную вероятность разрушения сосуда, возникает возможность обоснованно увеличить интервал времени между очередными перерывами в эксплуатации сосуда для проведения планового освидетельствования.

Однако при этом очень важна необходимость проведения тщательной и корректной экспертизы с обоснованием рекомендаций, обеспечивающих принятие должных мер безопасности и разработкой рекомендаций, предписывающих проведение конкретных дополнительных мероприятий в случае возможного изменения условий эксплуатации.

В соответствии с заказом Health and Safety Commission (Комиссия по здравоохранению и безопасности Великобритании) авторами разработана методика, состоящая из шести этапов оценки и обоснования требований к проведению очередного внутреннего осмотра сосудов высокого давления на предприятиях, оперирующих в зоне повышенной опасности. При разработке методики освидетельствования сосудов высокого давления с учетом риска возникновения возможных опасных ситуаций при его разрушении были учтены рекомендации ведущих нефтехимических компаний и организаций госнадзора Великобритании.

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ СВЕРХПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ. — С. 167–173**

В комплексе мероприятий и законодательных норм, направленных на снижение уровня последствий аварии, наряду с существующими системами и средствами обеспечения безопасности водителя и пассажиров, основное внимание уделяется жесткости конструкции автомобильного корпуса. К одной из основных функций корпуса относится распределение и гашение возникающих при аварии усилий за счет деформации определенных элементов, причем постоянный рост требований к прочности корпуса без заметного повышения его массы вызывает необходимость в увеличении объема использования высокопрочных и горячекатаных сталей.

Не рассматривая процесс деформации используемых сталей, происходящий при проведении испытаний при лобовом столкновении, наиболее существенное влияние на деформацию и разрушение автомобильного корпуса оказывает прочность сварных точек. В этом отношении появляется необходимость в уточнении наших представлений не только о распределении механических напряжений в сварной точке, но и о влиянии свойств металла сварной точки на основной металл. При этом следует иметь в виду то обстоятельство, что при точечной сварке высокопрочных и горячекатаных сталей происходит резкое снижение механической прочности в зоне термического влияния, окружающей сварную точку. Именно в этой области металла наиболее вероятно возникновение трещин под воздействием напряжений растяжения, возникающих при аварийных ситуациях. Разрушение соединения чаще всего начинается в области максимальной концентрации напряжений, например, в зоне надреза, а затем происходит по основному металлу.

Цель проведения данной работы состояла в исследовании влияния надреза, возникающего при сварке горячекатаной стали, на прочность соединения при растяжении и возможность учета этого фактора при проектировании сварных конструкций с использованием точечной контактной сварки.

В качестве исследуемого материала использовали марганцево-боридную сталь типа 22MnB5, широко используемую в автомобилестроении, а также сталь этой же марки, подвергнутую отпуску при 450 °С, что, как известно, повышает пластичность металла. Для защиты стали от коррозии и устранения образования окалины на сталь обычно наносят цинковое покрытие методом погружения.

Для проведения испытаний были использованы два типа образцов, показанные на рис. 1.

Для выявления влияния эффекта надреза, формирование которого характерно при затвердевании металла сварной точки, были проведены испытания прочности сварных соединений на разрывной машине LFEM 300 фирмы Walter + Bai AG, со скоростью приложения растягивающей нагрузки 20 МПа/с до момента достижения предела текучести.

Результаты измерения твердости металла при сварке стали 22MnB5 показывают возрастание твердости в зоне сварной точки после проведения процесса сварки и снижение твердости в промежуточной области между сварной точкой и основным металлом (в зоне термического влияния) по сравнению с твердостью основного металла (рис. 2).

В зоне термического влияния твердость изменяется от среднего значения твердости прилегающей области металла

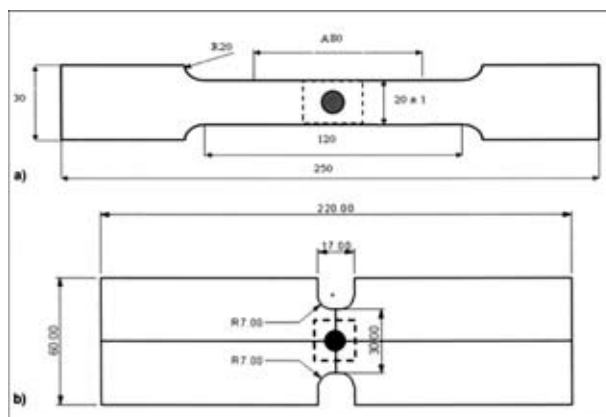


Рис. 1. Форма образцов для различных видов испытаний точечного сварного соединения: а — одноосное растяжение; в — двухосное напряжение

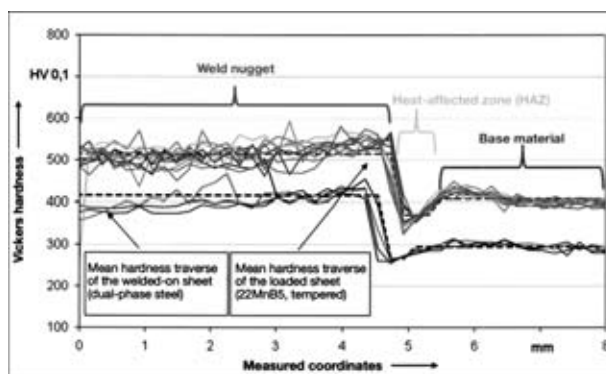


Рис. 2. Распределение твердости в области сварной точки для стали 22MnB5 (верхняя линия) и листов двухфазной стали (нижняя линия)

до трехкратного возрастания отклонения от среднеквадратичного значения.

Снижение твердости в зоне термического влияния приблизительно одинаково как для стали 22MnB5 в исходном состоянии, так и стали, подвергнутой операции отпуска, однако если предел прочности на разрыв исходного металла составляет 1500 МПа, то в отпущенном состоянии эта характеристика снижается до 1050 МПа.

На основании анализа результатов измерения твердости сварных образцов сверхпрочной стали в зоне сварной точки и проведенных испытаний на разрыв установлено, что возникновение трещин происходит не только вблизи сварной точки, но и в области основного металла. Сопоставление результатов компьютерного моделирования поведения металла сварной точки под воздействием напряжений растяжения с экспериментальными данными показывает достаточно полное совпадение не только в определении очагов первичного разрушения сварного соединения, но и момента разрушения.

Материал подготовил В. М. Кислицын,
канд. техн. наук



18-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

С 4 по 8 октября 2010 г. в Ялте состоялась 18-я международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», организованная Украинским информационным центром «Наука. Техника. Технология» (г. Киев) и НПП «Машиностроение» (г. Днепропетровск) при поддержке обществ неразрушающего контроля и технической диагностики Украины, России и Республики Беларусь. Генеральный спонсор конференции — МЧТПП «Онико» (г. Киев), спонсоры — НПП «Машиностроение», НПП «Интрон-СЕТ».

В работе конференции приняли участие более 200 специалистов из Украины, России, Республики Беларусь, Великобритании, Германии, Болгарии, Чехии, Латвии, Литвы, Узбекистана, Молдовы.

Открыл конференцию академик НАН Украины, заместитель директора ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ академик НАН Украины Л. М. Лобанов. В своем докладе «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации конструкций» он рассказал об исследованиях в области НКТД, выполненных за последние годы в рамках целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин». Целью программы являлась разработка методологических основ прогнозирования остаточного ресурса конструкций, создания методов, технических средств и технологий для оценки технического состояния и продления срока эксплуатации техногенных и экологически опасных объектов.

Проф. В. А. Троцкий, руководитель отдела ИЭС им. Е. О. Патона, председатель УО НКТД, выступил с докладами «Перспективные научные направления развития технологий неразрушающего контроля» и «20 лет УО НКТД: итоги деятельности в Украине и за рубежом».

Известный специалист в области магнитных методов контроля проф. Ю. К. Федосенко, заведующий отделом НИИИК МНПО «Спектр» (Москва), рассказал о современных тенденциях развития НКТД по итогам 10-й Европейской конференции по неразрушающему контролю.

Председатель Болгарского общества неразрушающего контроля проф. М. Миховский поделился со слушателями научными новостями из жизни ученых и специалистов Болгарии.

Научный сотрудник Британского института сварки д-р Р. Mudge выступил с докладом «Разработка технологии для выявления критически опасных трещин и коррозионного поражения корпусов судов в рамках выполнения Европейского научного проекта «Ship-Inspector», а руководитель департамента компании «General Electric Sending&Inspection Technologies» рассказал о новых разработках и серийном оборудовании этой ведущей в мире фирмы, специализирующейся в области неразрушающего контроля и объединившей компании: «Krautkramer», «Nukem», «Seifert», «Agfa NDT» и др.

Всего на конференции было представлено 10 пленарных и 108 секционных докладов.

На конференции работало 6 секций: ультразвуковой контроль ответственных объектов с использованием современных технологий ультразвукового контроля TOFD, LRUT, UTRA (руководители: проф. В. А. Троцкий, М. Миховски, Р. Mudge, Р. Catton); современные методы и средства НК в промышленности (руководители: И. П. Белокур, О. Н. Будадин); сертификация специалистов НК в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов (руководители: Л. Г. Лукьянова, Н. Г. Белый (Украина), А. Алексиев (Болгария), Н. Г. Медведевских (Беларусь), А. В. Муллин (Россия)); диагностика состояния промышленных объектов (руководители: П. П. Теличко, С. И. Буило, Ю. Б. Еськов, Ю. К. Бондаренко); неразрушающий контроль и техническая диагностика оборудования АЭС, находящихся в эксплуатации (руководители: Л. С. Ожигов, Е. М. Афанасьев); диагностика и ремонт металлургического оборудования (руководители: М. А. Демин, Н. Н. Изюмский, А. В. Мозговой, А. А. Третьак (Россия)).

С докладами конференции (электронный вариант) можно ознакомиться в секретариате УО НКТД и в УИЦ «Наука. Техника. Технология».

По единодушному мнению участников, конференция прошла успешно. Оргкомитет сделал все возможное для того, чтобы ее участники могли плодотворно работать и обмениваться информацией.

Следующая, 19-я конференция, состоится в начале октября 2011 г.

Ю. Н. Посыпайко, инж.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «WELDEX/РОССВАРКА-2010»

С 12 по 15 октября в Москве в ЭЦ «Сокольники» прошла 10-я Юбилейная международная выставка «Weldex/Россварка-2010», организованная ЗАО «Международная выставочная компания», компанией «Элсвар» при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, Правительства Московской области, Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков и Российского научно-технического сварочного общества.

На церемонии открытия выставки к многочисленным гостям и участникам с приветственным словом обратились В. И. Лаврухин, руководитель Департамента МТПП; А. Н. Крутов, депутат Московской городской думы; В. А. Казаков, первый вице-президент РНТСО, директор издательства «Технология машиностроения», главный редактор журнала «Сварочное производство»; О. И. Стеклов, президент РНТСО; В. Н. Бутов, президент ММАГС; Ю. К. Подкопаев, генеральный директор фирмы «Элсвар».

«Россварка» является центральной специализированной выставкой России, поэтому, несмотря на кризисные процессы в экономике, она отражает тенденции развития сварочного производства: активный поиск и развитие новых технологий и оборудо-

вания, обеспечивающих высокую эффективность и конкурентоспособность производства, технологическую и экологическую безопасность конструкций. Традиционно главная миссия выставки — максимальное содействие продвижению новых технологий, материалов и перспективных разработок на российском экономическом пространстве.

В юбилейной выставке приняли участие 183 предприятия из России, а также 15 стран ближнего и дальнего зарубежья (Германии, Финляндии, Швеции, Италии, Украины, Китая, США, Австрии, Турции, Франции, Мексики и др.). Наиболее представительной на выставке была экспозиция российских предприятий (143 стенда). Среди них такие известные производители сварочного оборудования в России, как НПФ ЗАО «ИТС» (С.-Петербург), ГРПЗ (г. Рязань), ПКП «Плазер» (г. Ростов-на-Дону), ЗАО «ПКТБА» (г. Пенза), ЗСО «Технотрон» (г. Чебоксары), ООО «Автогенмаш» (г. Тверь), ОАО «Прогресс НИТИ» (г. Ижевск), а также сварочных материалов — ООО «Северсталь-Метиз» (г. Орел), ООО «Межгосметиз» (г. Мценск), ЗАО «Завод сварочных материалов» (г. Березовский), ОАО «Лосиноостровский электродный завод» (г. Москва), ООО «Су-



диславский завод сварочных материалов» (г. Челябинск).

Украина на выставке была представлена стендом Института электросварки им. Е. О. Патона, Краматорским предприятием «Донмет», ООО «Арксэл» (г. Донецк), ООО «Навкотех» (г. Киев), журналами «Автоматическая сварка», «Сварщик», «Оборудование и инструмент для профессионалов».

Известные в мире сварки бренды ведущих фирм были представлены их отделениями в России — ООО «Эсаб» (Швеция); ООО «Сабарос» (Швейцария); ООО «Кемпи» (Финляндия); производство С.А.С. Полисуд и ООО «Air Liquide Welding» (Швейцария); «The Lincoln Electric Company» (США); АО «IGM Robotersysteme AG»; ООО «Бёлер Вэлдинг»; «Глобал Вэлдинг Технолоджи» (Австрия); GmbH «Lorch Schweissttechnik», GmbH «Делоро Стеллит» (Германия), S.P.A. «Cebora», «MIRA ITALY» (Италия).

На выставке были представлены также экспозиции ряда ведущих научных, инженерно-технологических и инжиниринговых центров России таких, как Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона (г. С.-Петербург), НИТИ «Прогресс» (Ижевск), ОАО ИТЦ «Прометей» (г. Чехов), Московская межотраслевая ассоциация главных сварщиков.

Основной объем экспонатов на выставке, как обычно, пришелся на сварочное оборудование для различных методов электродуговой сварки металлов. При этом, очевидно, продолжают сохраняться тенденции развития инверторных схем с микропроцессорным программным синергетическим управлением, обеспечивающих такие функции, как горячий старт (Hot start), антиприлипание (antistick), форсаж дуги (Arc Force), существенную экономию электроэнергии, снижение требований к квалификации сварщиков при обеспечении должного качества сварки, нечувствительность к колебаниям сетевого напряжения (что особенно важно для сварки в строительстве).

Переход в схемах оборудования на полностью цифровую инверторную импульсную технологию обеспечивает воспроизводимость результатов сварки при практически полном исключении брызг расплавленного металла.

В целом представленные на выставке экспонаты соответствуют современному уровню сварочной техники, техники для термических методов резки (газовой, плазменной и пр.) и вызвали живой интерес специалистов, посетивших выставку.

Для большинства специализированных выставок, проводимых в Москве, С.-Петербурге, Киеве, характерно, что преобладающее число стендов отражает деятельность и номенклатуру товаров и услуг, представленную торговыми фирмами. Среди них ООО «Компания Аван», ООО «Вебер Комеханикс», ООО «Алекс» (г. Москва), ООО «ТД Аргос» (г. Нижний Новгород), ПГ «Дюкон» (г. С.-Петербург) и многие другие.

В рамках выставки состоялась научно-практическая конференция «Новации в мире сварки», посвященная 80-летию журнала «Сварочное производство». В ней приняли участие ведущие специалисты из ряда крупных предприятий, входящих в федеральное агентство по атомной энергетике, структуры Газпрома и Транснефти, предприятий ВПК, авиационного и космического машиностроения, университетов и др. Тематика конференции была посвящена актуальным вопросам совершенствования и разработки сварочных материалов, оборудования для дуговой и электронно-лучевой сварки, сертификации и подготовке кадров.

Традиционно на выставке прошел конкурс «Лучший сварщик России 2010», «Лучший инженер (уче-





ный)-сварщик России 2010». Конкурс проходил в трех номинациях: ручная дуговая сварка ММА; аргонодуговая сварка неплавящимся электродом TIG, полуавтоматическая сварка MIG/MAG. Во всех случаях предстояло сварить наиболее сложные для сварки швы — на неповоротных стыках труб диаметром 149 мм и толщиной стенки 4,5 мм.

Во время проведения конкурса все участники и зрители могли ознакомиться с новейшей продукцией ведущих производителей сварочной техники, оценить ее достоинства и технологические возможности. Но главным в этом конкурсе было мастерство сварщиков, которым восхищались зрители.

Участие в конкурсе приняли представители 28 предприятий из Хабаровска, Москвы, Обнинска, Химок, Зеленограда, Воронежа, Подольска, Владимира, Иваново, Новосибирска, Тюмени.

В номинации «Ручная дуговая сварка покрытым электродом» победителем стал П. В. Фетисов (МГУП «Мосводоканал»). В номинации «Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом» первое место занял Д. Н. Балелов (ОАО «ВПО «Точмаш»). В номинации «Механизированная сварка в защитном газе» победил А. В. Бурсевич (ЗАО «Мосфлоулайн»). В номинации «Лучший инженер (ученый)-сварщик» победителем признан А. В. Щербаков — ведущий инженер кафедры технологии металлов Московского энергетического института за разработку «Система управления процессом прецизионной электронно-лучевой сварки». Победители конкурса получили прекрасные призы — сварочные аппараты, предоставленные компаниями ESAB (Швеция) и «KEMPPRI» (Финляндия), а также рос-

сийской компанией «ИНСВАРКОМ-СВАРОГ» (г. С.-Петербург).

Ярко прошел также конкурс «Мисс Сварка России-2010». Девушки соревновались в качестве ручной художественной плазменной резки и аргонодуговой сварки, участвовали в викторине по истории сварки, дефилировали в специальной одежде и демонстрировали продукцию участников выставки, читали стихи, пели. Победительницей конкурса была признана Регина Нуритдинова — сотрудник компании «Orient-Pro» и одновременно студентка РГТУ МАТИ. Корона ручной работы для «Мисс Сварка Мира-2010», изготовленная художником-кузнецом творческой мастерской фабрики

художественных кузнечных изделий «ОСТ» из стали с применением техникиковки и сварки, по праву может считаться подлинным произведением искусства. Победительница была также награждена ценным призом — домашним кинотеатром, представленным спонсором конкурса компанией «Элсвар». Подарки для всех участниц конкурса вручили компания «Донмет» (преподнесла всем девушкам искусно выполненные методом сварки медные розы), завод «Электросталь», ESAB, «KEMPPRI».

Выставку посетило более 4000 специалистов, среди которых официальные лица, руководители, главные сварщики и специалисты предприятий различных отраслей промышленности, а также руководители и менеджеры торговых фирм и торговых представительств из всех регионов России и СНГ, представители средств массовой информации.

В рамках выставки состоялась научно-практическая конференция «Новации в мире сварки», посвященная 80-летию журнала «Сварочное производство». Конференцию открыл главный редактор журнала, д-р техн. наук В. А. Казаков. Он кратко осветил ретроспективу развития журнала, его основные вехи за 80 лет существования, огромный вклад в совершенствование сварочного производства в СССР, а затем в России. На конференции также выступили президент РНТСО, д-р техн. наук О. И. Стеклов, заведующий кафедрой сварки МАТИ, д-р техн. наук В. А. Фролов, заместитель директора ООО «Техпром», д-р техн. наук З. А. Сидлин, представитель Института сварки в Ахене (Германия) А. Забиров и др.

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



НАГРАЖДЕНИЕ КИТАЙСКОГО УЧЕНОГО

10 ноября 2010 г. в Пекинском НИИ авиационной технологии состоялась торжественная церемония награждения академика Академии инженерных наук Китая Гуань Цяо орденом Украины «За заслуги» III степени. Орден ученому вручил посол Украины в Китае Ю. В. Костенко (фото). В церемонии награждения приняли участие вице-президент AVIC проф. Гао Цзянь-шэ, президент Академии фундаментальной техники AVIC проф. Ли Сяо-хун, директор Пекинского НИИ авиационной технологии, проф. Чжан Цзюнь.

Обращаясь к присутствующим Гуань Цяо отметил:

«Позвольте прежде всего выразить свою глубокую признательность Украинскому правительству и народу Украины за вручение ордена «За заслуги» III степени.

Это большая честь не только для меня, но и нашего института. Мы приняли этот орден как символ дружбы и сотрудничества между двумя народами!

Сейчас мне невольно вспоминается, как складывались мои взаимоотношения с представителями украинской науки, росли симпатии к Украине.

Я, инженер-сварщик, с 50-х годов прошлого века в течение почти 10 лет учился в Московском высшем техническом училище им. Баумана, где закончил аспирантуру, затем вернулся на Родину и начал работать в Пекинском НИИ авиационной технологии.

Еще в студенческие годы меня поражали блестящие достижения сварочной науки и техники в Советском Союзе, особенно большой вклад ученых и специалистов ИЭС им. Е. О. Патона в окончательную победу в Великой Отечественной войне.

В то же время я с увлечением прочитал избранные труды Е. О. Патона «Сварные конструкции», что предопределило мой выбор.

За последние 30 лет, имея информацию о деятельности ИЭС им. Е. О. Патона и обширные связи с учеными из ИЭС, я приложил много усилий для ознакомления китайских коллег с многочисленными технологиями, новейшими методами, инициативами и изобретениями, разработанными в ИЭС под руководством академика Б. Е. Патона. К ним



относятся процессы электронно-лучевой сварки, электронно-лучевого испарения для создания жаропрочных покрытий на газотурбинных лопатках, неразрушающие методы контроля качества и измерения напряжений в сварных конструкциях и их диагностика и т. п. В результате двухстороннего сотрудничества в последующие годы был налажен обмен специалистами между ИЭС и китайскими организациями, в том числе и Пекинском НИАТом.

Недавно делегация из Пекинского НИАТа возвратилась из ИЭС после подведения итогов выполнения работ по совместному проекту.

Среди специалистов ИЭС ряд ученых, в частности Леонид Михайлович Лобанов, Аркадий Анатольевич Игнатушенко и др., регулярно приезжают к нам в рамках научно-технического обмена.

Мне приятно, что это сотрудничество по актуальным направлениям продолжает давать плодотворные результаты на благо обеих сторон.

Во время международной конференции в 1998 г. в Киеве, посвященной 80-летию академика Б. Е. Патона, в честь юбиляра и в знак уважения к нему, я сделал доклад на пленарном заседании.

ИЭС им. Е. О. Патона и академик Б. Е. Патон пользуются большим авторитетом не только в Китае, но и во всем мире. Это и есть научный потенциал и сокровище Украины на мировой арене.

Искренне желаю еще большего процветания украинской науке и технике, счастливой жизни украинскому народу!»

К. А. ЮЩЕНКО — 75



В декабре исполнилось 75 лет известному ученому в области технологии сварки и сварочного материаловедения доктору технических наук, академику Национальной академии наук Украины, профессору, заслуженному деятелю науки и техники Украины, лауреату Государственной премии СССР, Премии Совета Министров СССР, Премии им.

Е. О. Патона, заместителю директора по научной работе Института электросварки им. Е. О. Патона Константину Андреевичу Ющенко.

После окончания Киевского политехнического института в 1958 г. К. А. Ющенко начал трудовую деятельность в Институте электросварки им. Е. О. Патона, где прошел путь от инженера-экспериментатора до заместителя директора.

Здесь он защитил кандидатскую (1965) и докторскую (1982) диссертации, получил звание профессора (1987). Был избран членом-корреспондентом (1990), а затем академиком (2003) НАН Украины. Руководил лабораторией (с 1970 г.), а позже отделом (с 1978 г.) металлургии и технологии сварки высоколегированных сталей и сплавов.

Основное направление его научной деятельности — создание новых металлических материалов, разработка процессов их получения и технологий сварки и обработки поверхности. Диапазон исследований включает создание хорошосвариваемых сталей и сплавов, разработку теоретических основ их сварки применительно к изделиям, предназначенным, в частности, для эксплуатации в экстремальных условиях при воздействии агрессивных сред, криогенных и высоких температур, облучения, сильных магнитных полей.

С 1962–1965 гг. К. А. Ющенко был выполнен цикл работ по теории сварки сталей ферритно-аустенитного класса. Установлены закономерности изменения физико-механических и коррозионных свойств металла сварного соединения с многокомпонентным фазовым составом. Изучен избирательный характер электрохимического растворения фаз в зависимости от легирования и линейных размеров. Это послужило основой для разработки новых оригинальных систем экономнолегированных никелем сталей и швов, создания сварочных материалов и процессов, обеспечивающих их широкое использование в химическом машиностроении. С 1965 г. К. А. Ющенко возглавляет в Академии наук УССР исследования по созданию новых свариваемых сталей и сплавов для криогенной техники. Комплексные работы выполняются в тесном сотрудничестве с ВНИИКриогенмашем, ЦНИИЧерметом им. И. П. Бардина (г. Москва), Челябинским металлургичес-

ким комбинатом (г. Челябинск), Уралхиммашем (г. Свердловск), Спецтехмонтажем (Байконур), заводами «Днепроспецсталь», НКМЗ, Ижорским заводом тяжелого машиностроения и другими организациями бывшего СССР. Была решена проблема оптимизации составов стали и металла шва, исходя из требований высокой удельной прочности, стойкости против охрупчивания при различных условиях нагружения в интервале 4,2...293 К, в том числе в сильных магнитных полях и при радиационном облучении, термоударах. Выполненные исследования, наряду с теоретическими работами, позволили создать гамму принципиально новых хорошосвариваемых сталей для криогенной техники, сварочных материалов и технологических процессов соединения. Впервые в мировой практике в СССР был создан процесс производства на ЧМК в дуговых 100 т печах хладостойких нержавеющей сталей со сверхнизким содержанием углерода. Это послужило основой для разработки нового научного направления — сварочного криогенного материаловедения, которое признано не только в странах СНГ, но и за рубежом. Выполнен цикл работ по оценке конструкционной прочности сварных соединений при криогенных температурах. Теоретические исследования явились основой для разработки норм и методов расчета, принятых в Украине, России и других странах при проектировании криогенных конструкций нового типа, где используется низкотемпературное упрочнение металла. Более 50 запатентованных марок сталей, сварочных проволок, электродов, флюсов, созданных под руководством и при участии К. А. Ющенко, используются в криогенном машиностроении. Их применение реализовано в таких крупных проектах, как «Буран» (стартовый комплекс), «Токамак-7», «Токамак-15» (силовая сверхпроводящая система МГД генератора), в крупном имитаторе космоса, устройстве для жизнеобеспечения, бортовых двигателях космических систем, новом поколении газотурбинных двигателей. Новые стали и материалы, а также технологические процессы, разработанные К. А. Ющенко, включены в качестве кандидатных при создании международного термоядерного реактора «ИТЭР» и стелларатора.

В 1985 г. К. А. Ющенко разработаны новые положения применительно к процессам, вызывающим образование трещин в швах при кристаллизации и повторных нагревах. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена роль дислокационных и сегрегационных процессов для верхнего и нижнего интервалов хрупкости и их роль в образовании трещин. В 1975–2005 гг. К. А. Ющенко выполнен цикл работ по изучению свариваемости



материалов. Разработана новая теория свариваемости и классификация методов соединения материалов в зависимости от агрегатного состояния вещества. Новый критерий свариваемости, которым энергетически оценивается степень деградации материала, расширяет технические возможности получения неразъемных соединений из любых конструкционных металлов и неметаллов. На основе исследования процессов охрупчивания высокохромистых сталей с ОЦК-структурой системы Fe–20Cr коллективом ученых ИЭС им. Е. О. Патона во главе с К. А. Ющенко в содружестве с Физико-технологическим институтом металлов и сплавов НАН Украины предложено управлять сегрегационными явлениями при рекристаллизации металла за счет контролируемого диспергирования примесей по телу зерна. Эти работы открыли новое перспективное направление в разработке хорошосвариваемых безникелевых коррозионностойких высокохромистых ферритных сталей массового назначения.

Одним из научных достижений является создание К. А. Ющенко с сотрудниками теории сварки высоколегированных сталей со сверхравновесным содержанием азота. Цикл работ позволил обосновать принципы получения качественных соединений нового класса металлов со сверхравновесным легированием газами. Исследования по кинетике деазотации позволили установить условия существования квазиравновесных состояний в приграничных зонах кристаллизующегося металла, роль фазовых изменений металла в системе «жидкость–газ». Впервые в мировой практике разработаны материалы и процессы, позволяющие сваривать металл со сверхравновесным содержанием азота до 1%.

В 1986–2005 гг. К. А. Ющенко активно участвует в работах по созданию новых материалов и процессов для обработки поверхности и нанесения покрытий. Он проводит исследования по разработке и применению специальных порошковых проволок для износостойкой и коррозионностойкой наплавки, новых видов проволок и порошков на основе ту-

гоплавких материалов, композиций сплавов с аморфной структурой. Созданные материалы и процессы нашли применение в промышленности. К ним относятся такие технологические процессы, как карбонадирование, плазменно-детонационная обработка, разрядно-импульсная обработка и микроплазменное напыление. Многие из них, являясь оригинальными, запатентованы и получили признание за рубежом.

К. А. Ющенко ведет большую научно-организационную деятельность. В 1989 г. был избран вице-президентом Международного института сварки. С 1986 по 1992 гг. — заместитель председателя Национального Комитета СССР по сварке, с 1993 г. — председатель Национального комитета по сварке Украины, с 1990 г. — руководитель направления «Неразъемные соединения и покрытия», программы «Новые вещества и материалы». Возглавляет секцию по покрытиям Научно-технического межгосударственного совета СНГ, с 1983 г. — член бюро Отделения физико-технических проблем материаловедения НАН Украины, член специализированного совета по защите диссертаций Института электросварки им. Е. О. Патона, член редколлегии журналов «Автоматическая сварка» и «Сварщик», член Технического комитета и председатель специального комитета Международного института сварки по соединениям и покрытиям перспективных материалов в авиационной технике. С 1984 г. входит в руководящий состав международных организаций по криогенной технике и криогенным материалам.

К. А. Ющенко — автор более 750 опубликованных работ и изобретений, в числе которых 7 монографий. Под его руководством подготовлено более 40 кандидатских и 6 докторских диссертаций.

К. А. Ющенко награжден Почетной грамотой Верховного Совета УССР, орденом Дружбы народов, орденом князя Ярослава Мудрого V степени и медалями. В 1994 г. избран действительным членом Международной электротехнической академии (г. Москва).

Коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона и редколлегия журнала «Автоматическая сварка» сердечно поздравляют Константина Андреевича Ющенко со славным юбилеем и желают ему доброго здоровья, счастья, новых творческих успехов.

ПАМЯТИ В. С. ПОПОВА



В октябре 2010 г. на 84-м году ушел из жизни известный ученый, доктор технических наук, профессор, академик Академии инженерных наук Украины, заслуженный деятель науки и техники Украины, заведующий кафедрой оборудования и технологии сварочного производства Запорожского национального технического университета Вениамин Степанович Попов.

После окончания в 1948 г. Челябинского механико-машиностроительного института В. С. Попов работал в Орске на «Южуралмашзаводе». В 1951–1956 гг. учился в аспирантуре Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения (Москва), где успешно защитил кандидатскую диссертацию. С 1956 г. работал в Запорожском машиностроительном институте (ныне Запорожский национальный технический университет). В 1964 г. основал кафедру оборудования и технологий сварочного производства. Многие годы В. С. Попов руководил научными исследованиями, проводимыми на кафедре, в области трибоматериаловедения и износостойкости материалов. В 1975 г. защитил докторскую диссертацию. Им выполнены

теоретические исследования по изучению механизма разрушения металлов при абразивном износе и высоких удельных давлениях, повышению уровня износостойкости деталей машин и разработке наплавочных материалов.

С 1978 по 1993 гг. В. С. Попов был ректором института. В этот период проводил работу по организации и становлению высшего образования в Украине, дважды избирался депутатом Верховного Совета УССР.

Под руководством В. С. Попова подготовлены и защищены одна докторская и более 30 кандидатских диссертаций. Он — автор более 20 печатных работ, в том числе 42 авторских свидетельств, 6 монографий и учебных пособий.

За плодотворный труд В. С. Попов награжден орденом Дружбы народов, Почетной грамотой Верховного Совета Украины, нагрудными знаками «Петро Могила», «Відмінник освіти України» и «За бездоганну працю» I степени.

Светлую память об ученом и педагоге, инженере и организаторе, добром друге и хорошем человеке навсегда сохраняют все, кто знал его, в том числе, его коллеги из ИЭС им. Е. О. Патона.

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

АББ: роботизация сварки в Украине

Виталий Мысечко, руководитель подразделения робототехники АББ ЛТД

АББ является мировым лидером в области робототехники. Инсталляционная база компании насчитывает более 175 тыс. роботов, установленных и успешно работающих во всем мире, в том числе более 20 тыс. роботов-сварщиков. Такое доверие со стороны производственных предприятий объясняется огромным опытом выполнения проектов любой сложности, развитой сетью представительств компании и, безусловно, высоким качеством оборудования АББ.

С каждым годом все больше украинских предприятий стремятся достойно представить свою продукцию на мировом рынке. Такой вектор развития накладывает на производителей металлоконструкций определенные обязательства, в том числе и высокие требования к качеству сварного шва. В условиях, когда все более актуальным становится вопрос подбора квалифицированных сварщиков, логичным и оправданным решением становится внедрение роботизированного комплекса для дуговой сварки.

Именно по такому пути решила пойти компания «Модерн-Експо» — ведущий производитель торгового оборудования, владеющий одним из самых современных заводов в области производства оборудования для магазинов в Европе. В результате проведенного тендера предпочтение было отдано компании АББ, которая зарекомендовала себя надежным поставщиком высокоэффективных решений в области робототехники.

Заказчик поставил перед АББ непростую цель: разработать комплекс для сварки плавящимся электродом в среде защитного газа, который должен охватывать наиболее широкий ассортимент производимой продукции. При проработке технического задания использовалось компьютерное моделирование всего сварочного участка и самого процесса сварки в программной среде RobotStudio, а также проводилась тестовая сварка опытных образцов.

В результате проделанной специалистами АББ работы был создан роботизированный участок, укомплектованный:

- ✦ разработанным для дуговой сварки роботом IRB2400L, с промышленным контроллером IRC5, пультом управления FlexPendant и специальным программным обеспечением RobotWare 5.13, RobotWare Arc и Collision detection;
- ✦ позиционером IRBP 500K карусельного типа с двумя рабочими местами;
- ✦ комплектом сварочного оборудования для MIG/MAG сварки от «Fronius» — цифровой инверторный источник питания TPS 3200 с блоком охлаждения и механизм подачи сварочной проволоки VR1500;
- ✦ комплектом сварочного оборудования «ABICOR BINZEL» — сварочная горелка ABIROB W500 с шлангопакетом и устройством обслуживания горелки BRS-CCi (очистка сопла, впрыск антипригарной жидкости, под-резка проволоки).

Краткие технические характеристики оборудования приведены ниже.

Технические характеристики робота IRB2400L

Радиус действия.....	1,8 м
Грузоподъемность.....	7 кг
Напряжение	3х400 В, 50 Гц
Номинальная мощность.....	4 кВт
Повторяемость позиционирования точки	0,06 мм
Масса	380 кг

Технические характеристики позиционера IRBP 500K

Грузоподъемность на каждое рабочее место	500 кг
Напряжение	3х400В, 50Гц
Номинальная мощность	3,8 кВт
Время смены рабочих позиций	3,3-4,5 с
Повторяемость позиционирования	0,1 мм
Допустимая длина изделия	3150 мм
Допустимый диаметр вращения изделия	1400 мм
Масса	2300 кг

* Статья на правах рекламы.



Робот IRB2400L

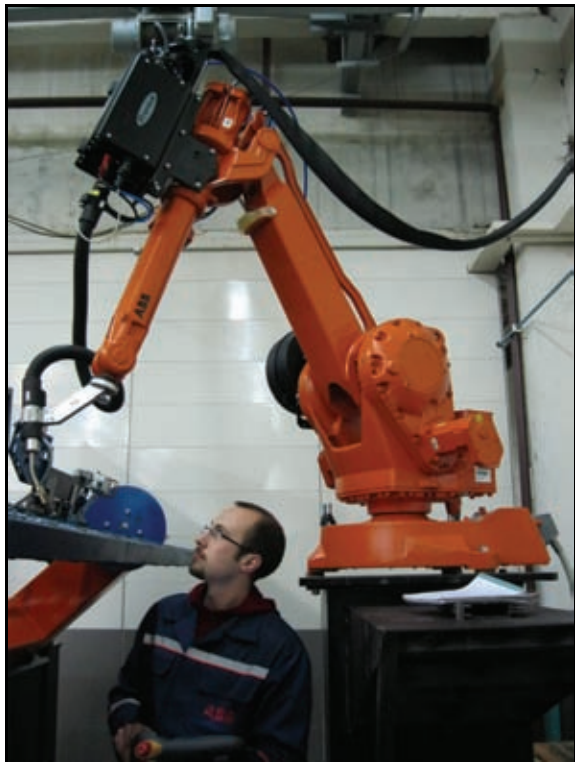


Позиционер IRBP 500K

Технические характеристики инверторного источника питания TransPuls Synergic 3200

Диапазон сварочного тока	3-320 А
Диапазон рабочего напряжения	14,2-30 В
Сварочный ток/ПВ	320 А / 40 %
	260 А / 60 %
	220 А / 100 %

Роботизированный участок оборудован системой безопасности, которая исключает нахождение человека в зоне действия робота и позиционера во время работы оборудования в автоматическом режиме. Все устройства безопасности — световые барьеры, датчик, кнопки аварийного останова, а также оснастка — управляются контроллером безопасности PILZ.



Программирование робота



Процесс роботизированной сварки

Для обеспечения 100 % повторяемости сварного шва в состав сварочного участка вошло устройство для автоматической калибровки TCP точки BullsEye. Оно было смонтировано на устройстве автоматической очистки горелки BRS-CCi. Благодаря BullsEye после любого сбоя в траектории движения робота, в результате столкновения или по другой причине, достаточно выполнить программу калибровки TCP точки и робот продолжит сварку по заранее запрограммированной траектории.

По требованию заказчика сварочный комплекс был запрограммирован на возможность использования при сварке как ручной, так и автоматической (пневматической) оснастки.

Для проведения приемочных испытаний сварочного участка заказчиком был выбран элемент торгового стеллажа «КЛНС ПН». На изделии 16 сварных швов. Сварка выполнялась с применением следующего режима и сварочных материалов.

Режим сварки:

- ❖ Сварочный ток — 100 А
- ❖ Рабочее напряжение — 20,3 В
- ❖ Скорость сварки — 12 мм/с

Сварочные материалы:

- ❖ Сварочная проволока — омедненная, сплошного сечения, Ø1 мм, аналог Св-08Г2С
- ❖ Защитный газ — MIX-1 (82 % Ar + 18 % CO₂)

Результат сварки удовлетворил представителей компании «Модерн-Экспо». После испытаний ответственные сотрудники заказчика были обучены самостоятельному программированию робота на сварку новых изделий.

Внедрение данного роботизированного участка позволило не только значительно улучшить качество сварки, но и повысило производительность в 4 раза.

Проект роботизации сварки торгового оборудования на предприятии «Модерн-Экспо» был выполнен в тесном сотрудничестве с локальными представителями таких компаний, как «Fronius» и «ABICOR BINZEL». Такой выбор партнеров не случаен и обусловлен опытом успешного совместного внедрения не одной тысячи роботизированных сварочных участков по всему миру.

Это первый проект подобного уровня, который компания АББ ЛТД выполнила в Украине в тесном сотрудничестве с локальными партнерами. Успешная его реализация лишний раз подтвердила высокий статус АББ ЛТД как инжиниринговой компании с мировым именем.

Международный концерн АББ (www.abb.com) — лидер в производстве силового оборудования, продукции и технологий для автоматизации. Технологии АББ позволяют промышленным предприятиям и энергетическим компаниям повышать свою производительность, снижая при этом негативное воздействие на окружающую среду. Группа компаний АББ работает более, чем в 100 странах, и насчитывает около 120 тыс. сотрудников.

ООО «АББ ЛТД» Украина, 03680, г. Киев,
бизнес-центр «Протасов Бизнес Парк», ул. Николая Гринченко, 2/1.
Тел.: 044 495 22 11. Факс: 044 495 22 10. www.abb.ua. E-mail: robotics@ua.abb.com





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

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

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

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

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

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

Возможно изготовление других марок материалов

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

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

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



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

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:

Флюсы сварочные

Проволоки порошковые для внепечной

обработки металлургических расплавов

Проволоки порошковые для сварки, наплавки,

напыления и металлзации

Электроды наплавочные, специального назначения,

для сварки чугуна и резки

Ферросплавы и легатуры

Хром металлический

Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Курсантская, 1
г. Днепропетровск
49051, Украина

Тел. (380562) 35-50-25
Тел./факс (38056) 37-41-912
E-mail sp@spetsplav.dp.ua

НАВКО-ТЕХ

Automatic machines and robots for arc welding

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



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА



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

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

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



ОАО «Электромашиностроительный завод
«Фирма СЭЛМА»

Производство электросварочного оборудования

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

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

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

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



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



ОАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»

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

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

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

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

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

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

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





STEIN-MEGAFIL®

МЫ НЕ ИЗОБРЕЛИ КОЛЕСО, НО МЫ ИЗОБРЕЛИ ПРОВОЛОКУ.

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



DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Drahtzug Stein
67317 Altleiningen (Germany)

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

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

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

info@drahtzug.com
www.drahtzug.com

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

ОАО "ЗОНТ"

ПРОИЗВОДСТВО:

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

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





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

Днепрометиз
 Группа предприятий «Северсталь-метиз»

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

e-mail: sale@dm.severstalmetiz.com

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

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

СЕТКИ:
 плетеные
 сварные
 рифленые

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

**ГВОЗДИ
 БОЛТЫ
 ГАЙКИ
 ШАЙБЫ**



www.dneprometiz.com.ua

Каховский завод
 электросварочного оборудования

74800 Украина, г. Каховка. Телефон: +38 (05575) 2-09-82, 2-10-72
market@kzeso.com www.kzeso.com



СИЛА ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЕЙ...

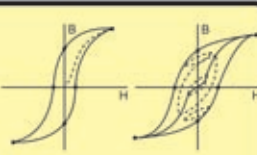


КЗЭСО

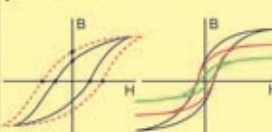
Специальные Научные Разработки **СНР**
 Научно-производственная фирма

**Магнитные материаловедческие
 измерения**

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



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



✓ Разработка и поставка магнитоизмерительных установок, комплексов, приборов:

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

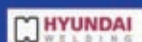
► Мировая новизна принципов и продуктивности измерений.
 ► Лучшее сочетание цена / качество.

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

Разработка, производство, внедрение

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

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



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

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



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

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

**100% гарантия от
производителя**

GYS TB
ДОНМЕТ®

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

ЗАПОРОЖЬЕ
Тел./факс (061) 224-11-56

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



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

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

Ручная плазменно-порошковая наплавка - прекрасный инструмент в ремонте!

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






Программы профессиональной подготовки на 2011 г.

Шифр курса	Наименование программы		Продолжи-тельность	Сроки проведения	
1. Повышение квалификации инженерно-технических работников (с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций в т.ч. подведомственных государственным надзорным органам)					
101	Техническое руководство сварочными работами на объектах, за которыми осуществляется государственный надзор		подготовка и аттестация	3 недели (112 ч)	ноябрь
102			переаттестация	18 ч	январь, февраль, март, апрель, июль, ноябрь
103	Техническое руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полиэтиленовых труб		подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	февраль, октябрь
104			переаттестация	1 неделя (32 ч)	март, май, ноябрь
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)		3 недели (112 ч)	декабрь	
106	Аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков – экспертов УАКС (расширение области аттестации)		8 ч	по согласованию с заказчиком и УАКС	
108	Подготовка членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	июль	
109		специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (74 ч)	ежеквартально	
110		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (74 ч)	май	
111	Аттестация членов комиссий по аттестации сварщиков – специалистов технологических служб по сварке (расширение области аттестации)		6 ч	по согласованию с заказчиком	
113	Подтверждение полномочий председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов УАКС:		со стажем 3 года	16 ч	май, ноябрь
114			со стажем 6 лет	32 ч	сентябрь
115			со стажем 9 лет	22 ч	июнь
170			со стажем 12 лет	20 ч	январь, октябрь
176			со стажем 15 лет	20 ч	октябрь
116	Подтверждение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб по сварке:	со стажем 3 года	16 ч	сентябрь
117			со стажем 6 лет	32 ч	
118			со стажем 9 лет	22 ч	июнь
171			со стажем 12 лет	20 ч	январь, октябрь
147			специалистов по техническому контролю	16 ч	ежеквартально
164	специалистов по техническому контролю (включая спец. подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)		36 ч		
120	специалистов по охране труда		16 ч	май, июнь	
121	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки с присвоением квалификации:	Международный инженер по сварке	458 / 120 ч¹	апрель, ноябрь	
122		Международный технолог по сварке	356 / 90 ч¹		
123		Международный специалист по сварке	239 / 60 ч¹		
124		Международный практик по сварке	146 / 32 ч¹	по мере поступления заявок	
126		Международный инспектор по сварке	полного уровня		230 ч
128			стандартного уровня		170 ч
125			базового уровня		115 ч
131	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком	
132	Производство сварочных электродов: организация, технологии и системы управления качеством		3 недели (112 ч)		
133	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)		подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	февраль, апрель, декабрь
134			переаттестация	22 ч	
135	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта		2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок	
136	Металлографические исследования металлов и сварных соединений		подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	март
137			переаттестация	22 ч	март, ноябрь
138	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений		повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	январь, октябрь
139			переаттестация	20 ч	май, июнь
140	Эмиссионный спектральный анализ (стилоскопирование) металлов и сплавов		подготовка и аттестация	2 недели (74 ч)	февраль, июнь
141			переаттестация	22 ч	июнь, декабрь
142	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей методами наплавки		70 ч	по согласованию с заказчиком	
152	Повышение квалификации специалистов по неразрушающему контролю		2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок	

Тематические семинары (возможно проведение на территории заказчика)			
143	Состояние нормативно-технической документации в области сварочного производства, тенденции и перспективы	1-2 дня	сентябрь
145	Новые технологии профессиональной подготовки сварщиков и дефектоскопистов	1 день	ежеквартально
146	Управление качеством производства сварочных материалов. Требования национальных и международных стандартов.	2 дня	июль
151	Современное оборудование и состояние нормативной документации в области сварки труб из термoplastов	1-2 дня	по согласованию с заказчиком
152	Входной контроль металлопродукции, заготовок и сварочных материалов.	2 дня	ноябрь

2. Подготовка и повышение квалификации педагогических работников системы профессионально-технического образования в области сварки

203	Повышение квалификации мастеров производственного обучения по использованию модульных технологий в обучении сварщиков	3 недели (112 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
204	Повышение квалификации преподавателей профессионального обучения по использованию модульных технологий в обучении сварщиков	2 недели (72 ч)	
205	Повышение квалификации мастеров (инструкторов) производственного обучения по сварке	5 недель (186 ч)	
206	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин профессионально-технических учебных заведений по направлению «Сварка»	3 недели (112 ч)	

3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала в области сварки и родственных технологий (с присвоением квалификации в соответствии с национальными и международными требованиями)

Курсовая подготовка сварщиков:

301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	9 недель (352 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	5 недель (192 ч)	
303	газовой сварки	3 недели (116 ч)	
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	3 недели (112 ч)	
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	
306	автоматической дуговой сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	по мере поступления заявок
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)	5 недель (196 ч)	март, октябрь
310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	120–610 ч ¹	по согласованию с заказчиком
315	Специальная подготовка по технологии и оборудованию контактной сварки арматуры	2 недели (72 ч)	

Курсовая переподготовка сварщиков:

316	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	152 / 76 ч ²	постоянно, по согласованию с заказчиком
318	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	112 / 76 ч ²	
320	газовой сварки	76 ч	
321	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	72 ч	
323	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	76 ч	
325	автоматической дуговой сварки под флюсом	76 ч	
327	электрошлаковой сварки	76 ч	

Повышение квалификации сварщиков:

330	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 недели (72 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
331	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 недели (72 ч)	
332	газовой сварки	2 недели (72 ч)	
333	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	2 недели (72 ч)	
334	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	2 недели (72 ч)	
335	автоматической дуговой сварки под флюсом	2 недели (72 ч)	
336	электрошлаковой сварки	2 недели (72 ч)	
339	Повышение квалификации газосварщиков (газовая пайка цветных металлов)	2 недели (72 ч)	

Курсовая подготовка дефектоскопистов и контролеров:

340	ультразвукового контроля	196 ч	по согласованию с заказчиком
341	рентгеновского и гамма контроля	188 ч	
342	магнитного контроля	180 ч	по согласованию с заказчиком
343	контролеров неразрушающего контроля	196 / 72 ч ³	

344	контролеров сварочных работ		154 ч	
Целевая курсовая подготовка дефектоскопистов для железнодорожного транспорта:				
352	магнитного контроля		120 ч	по согласованию с заказчиком
355	ультразвукового контроля		160 ч	
431	Специальная подготовка дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		160 ч	май, декабрь
Другие профессии				
367	Подготовка газорезчиков	газовой резки	3 недели (112 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
368		ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)	
369	Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы	электродуговым напылением	3 недели (112 ч)	
370		газопламенным напылением	3 недели (112 ч)	
371		детонационным напылением	3 недели (112 ч)	
372		плазменным напылением	3 недели (112 ч)	

4. Аттестация персонала сварочного производства

402	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, пра-вилами Госгорпромнадзор (НПАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		72 ч	постоянно, по согласованию с заказчиком
403	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно НПАОП 0.00-1.16-96		24 ч	
404	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госгорпромнадзор (НПАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч	
405	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287-1)		112 / 72 ч ²	
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287-1)		32 ч	
408	Специальная подготовка и аттестация операторов автоматической сварки плавлением / наладчиков контактной сварки в соответствии с стандартом ДСТУ ISO 14732		2 недели (72 ч)	
409	Специальная подготовка и аттестация сварщиков на допуск до выполнения сварочных работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		3 недели (112 ч)	
410	Периодическая аттестация сварщиков на допуск до выполнения сварочных работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч	
413	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		проводится по окончании курса 309	
414	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		32 ч	январь, февраль, апрель, май, сентябрь, декабрь
415	Специальная подготовка дефектоскопистов к сертификации согласно НПАОП 0.00-6.14-97	ультразвуковой контроль	24 ч	ежемесячно
416			60 / 70 / 140 ч ⁴	по согласованию с заказчиком
419		радиационный контроль	24 ч ⁴	ежемесячно
420			60 / 70 / 140 ч ⁴	по согласованию с заказчиком
423		магнитный контроль	24 / 60 / 110 ч ⁴	
426		капиллярный контроль	24 / 60 / 110 ч ⁴	
428	визуально-оптический контроль		24 / 30 / 70 ч ⁴	ежемесячно
358	Специальная подготовка и аттестация дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов (согласно РД 07-09-97)	подготовка и аттестация	76 ч	по согласованию с заказчиком
430		переаттестация	36 ч	
433	Специальная подготовка и аттестация специалистов по контролю качества защитных покрытий	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком
434		переаттестация	32 ч	
520	Высокочастотная сварка пластмасс		72 ч	
501	Профессиональное тестирование сварщиков ручной и механизированной дуговой сварки		4-8 ч	постоянно

¹ - Продолжительность обучения определяется по результатам оценки документов кандидата.

² - Длительность программы определяется по результатам входного тестирования.

³ - Продолжительность обучения зависит от специализации и требуемого уровня квалификации.

⁴ - Продолжительность обучения указывается в направлении ОСП (орган по сертификации персонала).

По просьбе заказчиков возможно проведение обучения по другим программам, не вошедшим в данный перечень. На период обучения слушателям предоставляется жилье с оплатой за наличный расчет. Стоимость обучения определяется при заключении договора. Для приема на обучение необходимо направить заявку с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовых реквизитов предприятия.

Украина, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11
Тел. (44) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09,
Факс (44) 456-48-94; E-mail: paton_muac@ukr.net, http://muac.kpi.ua

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ за 2010 г.

Передовицы

Борис Патон — лауреат международной энергетической премии «Глобальная энергия» № 7

Вклад сварщиков в Великую Победу № 5

Е. О. Патон — выдающийся ученый, педагог, организатор науки и производства (к 140-летию со дня рождения) № 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

АЖАЖА В. М., ЛАВРИНЕНКО С. Д., ТОЛСТОЛУЦКАЯ Г. Д., ПИЛИПЕНКО Н. Н., БОБРОВ Ю. П., СВИНАРЕНКО А. П., АКСЕНОВА А. Н. Влияние геттерных добавок на водородное охрупчивание сварных соединений конструкционных материалов оборудования АЭС № 8

АСТАХОВ Е. А., КУДЬ И. В., ЛИХОДЕД Л. С., ЗЯТКЕВИЧ Д. П., ЯКОВЛЕВА М. С., ЕРЕМЕНКО Л. И. Получение порошка сплава системы Ni—Cr—Al—Y, легированного кремнием, методом порошковой металлургии № 3

БЕЛЫЙ А. И. Влияние основных технологических параметров плазменной наплавки на свойства композиционного наплавленного металла № 6

БЕЛЫЙ А. И. Износостойкость и прочность карбидов вольфрама WC—W₂C, полученных различными способами № 12

БОНДАРЕВ А. А., ТЕРНОВОЙ Е. Г. Особенности формирования швов и свойства соединений алюминиевых и магниевых сплавов в условиях, имитирующих космические № 11

БОРИСОВА А. Л., АДЕЕВА Л. И., ТУНИК А. Ю., ЦЫМБАЛИСТАЯ Т. В., ГРИЩЕНКО А. П. Плазменные покрытия на основе ZrO₂ с использованием в качестве металлического подслоя сплава AlCuFe № 4

БОРИСОВА А. Л., ТУНИК А. Ю., АДЕЕВА Л. И., ГРИЩЕНКО А. В., ЦЫМБАЛИСТАЯ Т. В., КОЛОМЫЦЕВ М. В. Многослойные теплозащитные плазменные покрытия ZrO₂—NiCrAlY № 10

БУТ В. С. Сравнительная оценка методик определения вязкости разрушения металла ЗТВ сварных соединений низколегированных сталей № 3

ВАСИЛЬЕВ Ю. С., ПАРШУТИНА Л. С., ЧУКАШКИН А. Н. Разработка технологии формирования механических и клее-механических соединений методом продавливания № 1

ГАЙВОРОНСКИЙ А. А., ПОЗНЯКОВ В. Д., САРЖЕВСКИЙ В. А., ВАСИЛЬЕВ В. Г., ОРЛОВСКИЙ В. Ю. Влияние термомеханического цикла наплавки на структуру и свойства железнодорожных колес повышенной прочности при их восстановлении № 5

ГВОЗДЕЦКИЙ В. С. Аналитическое исследование регулятора тока источника питания микроплазменной сварки № 9

ГЕДРОВИЧ А. И., ТКАЧЕНКО С. А., ГАЛЬЦОВ И. А. Оценка напряженно-деформированного состояния разнородных сварных соединений сталей 10X13Г18Д+09Г2С № 7

ГООК С., ГУМЕНЮК А., ЛАММЕРС М., РЕТМАЙЕР М. Особенности процесса орбитальной лазерно-дуговой сварки толстостенных труб большого диаметра № 9

ДЕРЛОМЕНКО В. В., ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЧЕРВЯКОВ Н. О. Технологическая прочность и анализ причин ухудшения свариваемости и образования трещин № 9

ДЗЫКОВИЧ В. И., ЖУДРА А. П., БЕЛЫЙ А. И. Свойства порошков карбидов вольфрама, полученных по различным технологиям № 4

ДЗЯНХУА Я., ЛИАНГ В., КАНЛИ Ч., ЧЖИДЗУНГ Ч., КОВАЛЕНКО В. С. Остаточные напряжения и механические свойства турбинных лопаток после лазерной обработки поверхности № 3

ДМИТРИК В. В., БАРТАШ С. Н. Особенности повреждаемости сварных соединений паропроводов по механизму ползучести № 6

ДОЛИНЕНКО В. В., СКУБА Т. Г., КОЛЯДА В. А., ШАПОВАЛОВ Е. В. Оптимальное управление формированием усиления сварного шва № 2

ДЯДИН В. П. Оценка температурного сдвига в зависимости от толщины образца по силовому и деформационному критериям механики разрушения № 4

ЖДАНОВ С. Л., ПОЗНЯКОВ В. Д., МАКСИМЕНКО А. А., ДОВЖЕНКО В. А., ВАСИЛЬЕВ В. Г., ВЫСОКОЛЯН Н. В., КОРОБКА В. А. Структура и свойства сварных соединений стали 10Г2ФБ, выполненных дуговой сваркой № 11

КОБЕРНИК Н. В., ЧЕРНЫШОВ Г. Г., МИХЕЕВ Р. С., ЧЕРНЫШОВА Т. А. Обработка поверхности алюмоматричных композиционных материалов концентрированными источниками энергии № 9

КОВАЛЕНКО Д. В., КРИВЦУН И. В., ДЕМЧЕНКО В. Ф., КОВАЛЕНКО И. В. Особенности тепловых и гидродинамических процессов при сварке ТИГ и А-ТИГ нержавеющей стали № 12

КОВАЛЕНКО Д. В., ПАВЛЯК Д. А., СУДНИК В. А., КОВАЛЕНКО И. В. Адекватность термогидродинамической модели сквозного проплавления при сварке ТИГ и А-ТИГ никелевого сплава NIMONIC-75 № 10

КРАВЧУК Л. А. Устранение подрезов при ЭЛС со сквозным и несквозным проплавлением № 6

КРИВЦУН И. В., ДЕМЧЕНКО В. Ф., КРИКЕНТ И. В. Модель процессов тепло-, массо- и электропереноса в анодной области и столбе сварочной дуги с тугоплавким катодом № 6

КРИВЦУН И. В., СЕМЕНОВ И. Л., ДЕМЧЕНКО В. Ф. Численный анализ процессов нагрева и конвективного испарения при обработке излучением импульсного лазера № 1

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ЧВЕРТКО П. Н., СЕМЕНОВ Л. А., САМОТРАСОВ С. М., ГУЩИН К. В. Особенности контактной стыковой сварки высокопрочного алюминиевого сплава 2219 № 3

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ШВЕЦ В. И., ШВЕЦ Ю. В., ТАРАНОВА Т. Г., ГОРДАНЬ Г. Н. Причины образования трещин в зоне термического влияния литой высокомарганцевистой стали при контактной стыковой сварке № 7

ЛАНКИН Ю. Н., СЕМИКИН В. Ф., СУШИЙ Л. Ф. Управление бездатчиковыми приводами постоянного тока сварочных установок № 3

ЛЕВЧЕНКО О. Г., ЛУКЬЯНЕНКО А. О., ПОЛУКАРОВ Ю. О. Экспериментальное и расчетное определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны при дуговой сварке покрытыми электродами № 1

ЛОБАНОВ Л. М., ПАЩИН Н. А., ЛОГИНОВ В. П., ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Влияние электроимпульсной обработки на остаточное формоизменение тонколистовых сварных конструкций (Обзор) № 3

МАКСИМОВА С. В., ХОРУНОВ В. Ф., ЗЕЛИНСКАЯ Г. М. Структурное состояние быстрозакаленного припоя Cu—Ti № 5

МАКСИМОВА С. В., ХОРУНОВ В. Ф., ШОНИН В. А. Механические свойства паяных соединений дисперсно-упрочненного медного сплава № 10

МАХНЕНКО В. И., БУТ В. С., КОЗЛИТИНА С. С., ДЗЮБАК Л. И., ОЛЕЙНИК О. И. Оптимальное снижение рабочего давления в трубопроводе при ремонте наплавкой участков утонения № 10

МАХНЕНКО В. И., БУТ В. С., КОЗЛИТИНА С. С., ОЛЕЙНИК О. И. Риск разрушения магистрального трубопровода с дефектами утонения стенки при ремонте под давлением № 1

МАХНЕНКО В. И., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., РОЗЫНКА Г. Ф., ПИВТОРАК Н. И. Совершенствование метода оценки риска разрушения в зоне утонений стенки магистральных трубопроводов № 5

МАХНЕНКО В. И., КОЗЛИТИНА С. С., ДЗЮБАК Л. И. Риск образования карбидов и σ-фазы при сварке высоколегированных хромоникелевых сталей № 12

МАХНЕНКО В. И., МАРКАШОВА Л. И., БЕРДНИКОВА Е. Н., ШЕКЕРА В. М., ОНОПРИЕНКО Е. М. Кинетика роста коррозионных трещин в трубной стали 17Г1С № 6

МАХНЕНКО В. И., РОМАНОВА И. Ю. Вероятностные характеристики сопротивляемости сварных соединений конструкционных сталей многоциклового усталости № 7

МАХНЕНКО В. И., РОМАНОВА И. Ю. Расчетное прогнозирование долговечности боковой рамы грузового железнодорожного вагона при переменных циклических нагрузках № 2

МАХНЕНКО О. В., ТИМОШЕНКО А. Н., МУЖИЧЕНКО А. Ф., ГОНЧАРОВ П. В. Совершенствование технологии дуговой точечной сварки нахлесточных соединений по результатам математического моделирования № 11

НАЗАРЕНКО О.К., ЗАГОРНИКОВ В.И. Влияние рабочего состояния сварочной электронной пушки на геометрию сварного шва № 5

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., ПРОКОФЬЕВ А. С., ПИСЬМЕННЫЙ А. А., НОВИКОВА Д. П., ЮХИМЕНКО Р. В., ПОЛУХИН В. В., ПТАШИНСКАЯ И. И., ПОЛУХИН Ю. В. Свойства сварных соединений трубных заготовок, полученных прессовой сваркой с формирующим устройством № 7

ПОЗНЯКОВ В. Д., КИРЬЯКОВ В. М., ГАЙВОРОНСКИЙ А. А., КЛАПАТЮК А. В., ШИШКЕВИЧ О. С. Свойства сварных соединений рельсовой стали при электродуговой сварке № 8

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ЧАЙКА А. А., КЛОЧКОВ И. Н., ЯВОРСКАЯ М. Р. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов различных систем легирования № 10

ПОЛЯКОВ С. Г., НЫРКОВА Л. И., МЕЛЬНИЧУК С. Л., ГАПУЛА Н. А. Диагностика коррозионного состояния внутренней поверхности магистрального нефтепровода № 12

ПОХОДНЯ И. К., МАРЧЕНКО А. Е., ЯВДОШИН И. Р., СКОРИНА Н. В., ФОЛЬБОРТ О. И. Обоснование системы раскисления и микролегирования наплавленного металла электродов для сварки и ремонта мостовых и транспортных конструкций № 8

ПОХОДНЯ И. К., ПАЛЬЦЕВИЧ А. П., ИГНАТЕНКО А. В., СОЛОМИЙЧУК Т. Г., СИНЮК В. С. Влияние иттрия на перераспределение водорода и структуру металла швов при дуговой сварке высокопрочных сталей № 8

РАДКЕВИЧ И. А., ШВАБ С. Л., ПРИЛУЦКИЙ В. П., АХОНИН С. В. Особенности управления дугой внешним магнитным полем (Обзор) № 10

РЯБЦЕВ И. А., КОНДРАТЬЕВ И. А., ВАСИЛЬЕВ В. Г., ЖДАНОВ В. А., БАБИНЕЦ А. А. Исследование структуры и эксплуатационных свойств наплавленного металла для восстановления и упрочнения прокатных валков № 7

РЯБЦЕВ И. А., КОНДРАТЬЕВ И. А., ЧЕРНЯК Я. П., ГОРДАНЬ Г. Н., СОЛОМИЙЧУК Т. Г., ГОДЗЫРА Н. Ф. Структура и свойства высокомарганцевого наплавленного металла № 4

СЛИВИНСКИЙ А. А. Анализ факторов образования подсолнечных трещин при сварке металлов с ГЦК-структурой кристаллической решетки (Обзор) № 4

СОКОЛЬСКИЙ В. Э., РОИК А. С., ДАВИДЕНКО А. О., ГАЛИНИЧ В. И., ГОНЧАРОВ И. А., МИЩЕНКО Д. Д., ТОКАРЕВ В. С. О фазовых превращениях в агломерированном флюсе солеосидной шлаковой системы при нагреве № 12

СОМ А. И., ЗЕЛЬНИЧЕНКО А. Т. Численный расчет тепловых процессов при центробежной плазменной порошковой наплавке № 6

СТЕПАНОВ Г. В., БАБУЦКИЙ А. И., МАМЕЕВ И. А., ЧИЖИК А. В., САВИЦКИЙ В. В., ТКАЧУК Г. И., ПАШИН Н. А. Повышение циклической долговечности металлических материалов и сварных соединений обработкой импульсным электрическим током № 11

ТЕРНОВОЙ Е. Г., БУЛАЦЕВ А. Р., СОЛОМИЙЧУК Т. Г., ШУЛЫМ В. Ф. Ремонт трубопроводов орбитальной сваркой ТИГ внутри обитаемых космических объектов № 4

УСТИНОВ А. И., ЗИНЬКОВСКИЙ А. П., ТОКАРЬ И. Г., СКОРОДЗИЕВСКИЙ В. С. Возможности снижения динамической напряженности конструктивных элементов машин с помощью наноструктурированных покрытий № 1

ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., МУРАВЕЙНИК А. Н., ХАРЧЕНКО Г. К., ФЕДОРЧУК В. Е., ГОРДАНЬ Г. Н. Сварка давлением микродисперсного композиционного материала $AMg5+28\% Al_2O_3$ с применением быстрозакристаллизованной прослойки эвтектического состава $Al+33\% Cu$ № 2

ХОРУНОВ В. Ф., МАКСИМОВА С. В., БУТЕНКО Ю. В., МАЛЫЙ А. Б. Прочность паяных соединений жаропрочного никелевого сплава Инконель 718, полученных с помощью палладиевых припоев № 11

ХОРУНОВ В. Ф., МАКСИМОВА С. В., ЗЕЛИНСКАЯ Г. М. Исследование структуры и фазового состава сплавов на основе системы $Ti-Zr-Fe$ № 9

ХОРУНОВ В. Ф., МАКСИМОВА С. В., СТЕФАНИВ Б. В. Влияние присадок олова на структуру и технологические свойства припоев системы $Ag-Cu-Zn$ № 7

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Оценка качества процесса саморегулирования дуги № 2

ЧЕРНАЯ Т. И., ЦАРЮК А. К., СИОРА А. В., ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю. Лазерная сварка корневых швов соединений толстого металла теплоустойчивой стали № 2

ЧЕРНЫХ И. В., РАЧКОВ С. А. Моделирование процесса индукционного нагрева труб в зоне сварного шва № 1

ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЧЕРВЯКОВ Н. О., ЗВЯГИНЦЕВА А. В. К возможному механизму образования трещин в стабильно аустенитных швах вследствие сегрегации кислорода № 5

ЮЩЕНКО К. А., УСТИНОВ А. И., ЗАДЕРИЙ Б. А., САВЧЕНКО В. С., МЕЛЬНИЧЕНКО Т. В., КУРЕНКОВА В. В., ЗВЯГИНЦЕВА А. В., ГАХ И. С. Влияние нанополыги системы $Ni-NbC$ на структуру швов жаропрочных сплавов, выполненных электроно-лучевой сваркой № 11

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

АНОШИН В. А., ИЛЮШЕНКО В. М., МИНАКОВА Р. В., ГРЕЧАНЮК Н. И. Повышение ресурса электродов контактных машин при сварке оцинкованной стали № 8

АХОНИН С. В., БЕЛОУС В. Ю., РОМАНЮК В. С., **СТЕСИН В. В.**, ВЕЛИКИЙ С. И., СЕМЕНЕНКО А. В., ПОЛИЩУК А. К. Сварка в узкий зазор высокопрочных титановых сплавов толщиной до 110 мм № 5

ЖУДРА А. П., КРИВЧИКОВ С. Ю., ПЕТРОВ В. В. Технология широкослонной наплавки крупногабаритных коленчатых валов № 2

ЗАЙФАРТ П. И. Современное оборудование для судостроения № 7

ЗАЙФАРТ П., ГЕДЕ Р. Обработка трехмерных изображений для систем программирования роботизированной сварки № 11

ЗАЛЕВСКИЙ А. В., ГАЛИНИЧ В. И., ПРОЦЕНКО Н. А., КУХАРЕНКО В. В. Кодовые обозначения флюсов отечественного производства и комбинаций флюс+проволока в соответствии с международными стандартами № 4

КАСАТКИН О. Г., ЦАРЮК А. К., СКУЛЬСКИЙ В. Ю., ГАВРИК А. Р., МОРАВЕЦКИЙ С. И. Особенности технологии сварки трубопроводов из разнородных сталей в атомной энергетике № 1

КАХ П., САЛМИНЕН А., МАРТИКАИНЕН Дж. Особенности применения гибридной лазерно-дуговой сварки (Обзор) № 6

КНЫШ В. В., СОЛОВЕИ С. А., КУЗЬМЕНКО А. З. Повышение циклической долговечности сварных соединений с накопленными усталостными повреждениями высокочастотной проковкой № 10

КОЗУЛИН С. М., ЛЫЧКО И. И., КОЗУЛИН М. Г. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию кристаллизационных трещин при ремонте бандажей обжиговых печей электрошлаковой сваркой № 1

КОЛЕДА В. Н., ИЛЮШЕНКО В. М. Оптимизация параметров дополнительной газовой защиты при сварке и наплавке меди и ее сплавов под флюсом № 11

КОНОНЕНКО В.Я. Использование способа сухой сварки при ремонте подводных переходов газо- и нефтепроводов в России № 5

КОРНИЕНКО А. Н. Полувековой юбилей первой выставки достижений сварочного производства № 11

КРАВЧУК Л. В., ЛЯШЕНКО Б. А., ЦЫБАНЕВ Г. В., КУРИАТ Р. И., БУЙСКИХ К. П., НАЛИМОВ Ю. С. Оценка эффективности ремонтных технологий для эксплуатации энергетических установок № 1

КУЗЬМЕНКО Г. В., КУЗЬМЕНКО В. Г., ГАЛИНИЧ В. И., ЛИПСИЙ В. И., НЕСТЫКАЙЛО В. В. Новая технология восстановления направляющих поверхностей буксового проема боковой рамы тележки грузового вагона модели 18-100 № 8

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., КАЧИНСКИЙ В. С., ИГНАТЕНКО В. Ю., ГОНЧАРЕНКО Е. И., КОВАЛЬ М. П. Прессовая сварка магнитоуправляемой дугой деталей автомобильного сортамента № 6

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., КАЧИНСКИЙ В. С., ИГНАТЕНКО В. Ю., ГОНЧАРЕНКО Е. И., КОВАЛЬ М. П. Прессовая сварка магнитоуправляемой дугой труб из стали Х70 № 7

КУЧУК-ЯЦЕНКО В. С., НАКОНЕЧНЫЙ А. А., САХАЦКИЙ А. Г. Контактная сварка сопротивлением стальной арматуры с использованием композитной вставки № 4

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., НЕЙЛО Ю. С., ГАВРИШ В. С., ГУЩИН К. В. Перспективы повышения энергетических показателей при контактной стыковой сварке (Обзор) № 2

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., РУДЕНКО П. М., ГАВРИШ В. С., КРИВОНОС В. П., СИДОРЕНКО В. М., НЕЙЛО Ю. С., ГУЩИН К. В. Энергетические характеристики процессов контактной стыковой сварки на переменном и постоянном токах № 12

ЛЕБЕДЕВ В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (Обзор) № 10

ЛЕБЕДЕВ В. А., ЛЕНДЕЛ И. В., ЛЕНДЕЛ В. И., ПИЧАК В. Г. Направления совершенствования вспомогательного оборудования для сварочного производства № 11

ЛОБАНОВ Л. М., ПАЩИН Н. А., ЛОГИНОВ В. П., ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., БАБУЦКИЙ А. И. Ремонт судокорпусных конструкций из алюминиевого сплава АМг6 с применением электродинамической обработки № 9

МАКОВЕЦКАЯ О. К. Сварочное производство Японии в период экономического кризиса 2009 г. № 12

МАРТИНОВИЧ В. Н., МАРТИНОВИЧ Н. П., ЛЕБЕДЕВ В. А., МАКСИМОВ С. Ю., ПИЧАК В. Г., ЛЕНДЕЛ И. В. Высококачественные шланг-пакеты для подводной сварки и резки № 9

МАШИН В. С., ПАШУЛЯ М. П. Особенности импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов без применения подкладных формирующих элементов № 3

МАШИН В. С., ПАШУЛЯ М. П., ШОНИН В. А., КЛОЧКОВ И. Н. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом в аргоне тонколистовых алюминиевых сплавов № 5

НЕДОСЕКА А. Я., НЕДОСЕКА С. А., ГРУЗД А. А., ОВСИЕНКО М. А., ЯРЕМЕНКО М. А., ХАРЧЕНКО Л. Ф. Приборы для акустико-эмиссионного контроля и диагностирования сварных конструкций № 8

НЕКЛЮДОВ И. М., БОРЦ Б. В., ЛОПАТА А. Т., РЫБАЛЬЧЕНКО Н. Д., СЫТИН В. И., АЛЕКСАНДРОВ В. А. Разработка композитов на основе циркония и нержавеющей стали для изготовления переходников к конструкциям АЭС № 8

ПАТОН Б. Е., ЛОБАНОВ Л. М., НЕДОСЕКА А. Я., ФЕДЧУН А. Ю., ЕЛКИН А. А., ОБОДОВСКИЙ Б. М. Надежность эксплуатации сварных конструкций. Оценка и управление № 5

ПЕРВУХИН Л. Б., ПЕРВУХИНА О. Л., БОНДАРЕНКО С. Ю. Очистка и активация свариваемых поверхностей в процессе сварки взрывом № 7

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., КИСЛИЦЫН В. М. Влияние ударной обработки металла шва на прочность сварного соединения № 1

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ИЩЕНКО А. Я., ЧАЙКА А. А., ЛАБУР Т. М. Сварка трением с перемешиванием — эффективный способ повышения эксплуатационных характеристик конструкций № 4

ПОХОДНЯ И. К., КОТЕЛЬЧУК А. С. Прогресс черной металлургии и производства сварочных материалов в КНР (Обзор) № 4

ПОХОДНЯ И. К., ШЛЕПАКОВ В. Н., МАКСИМОВ С. Ю., РЯБЦЕВ И. А. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области сварки и наплавки порошковой проволокой (Обзор) № 12

РОМАНОВ В. В., БУТЕНКО Ю. В. Сварочное производство в газотурбостроении (Обзор) № 3

РОЯНОВ В. А., КОРОСТАШЕВСКИЙ П. В. Определение дополнительных сопротивлений перемещению листовых полотнош по неприводному роликовому полю линий сборки и сварки № 2

РУДЕНКО П. М., ГАВРИШ В. С. Портативная система контроля и управления процессом контактной точечной сварки № 2

САВИЦКИЙ М. М., ПИСЬМЕННЫЙ А. С., САВИЦКАЯ Е. М., ПРИТУЛА С. И., БАБЕНКО С. К. Технология и оборудование для производства корпусов баллонов высокого давления из листового проката № 7

ТРОИЦКИЙ В. А., ДЯДИН В. П., ДАВЫДОВ Е. А. Ультразвуковая диагностика эксплуатационных дефектов в конструкциях нефтегазового комплекса № 9

ХОРУНОВ В. Ф., МАКСИМОВА С. В., СТЕФАНОВ Б. В. Изготовление буровых долот для добычи рассеянного метана в шахтных выработках № 6

ЦУМАРЕВ Ю. А. Контактная точечная сварка со специальной подготовкой свариваемых кромок № 3

ЧВЕРТКО П. М. Контактная стыковая сварка стержневой арматуры классов А400С–А600С при строительстве конструкций из монолитного железобетона № 8

ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю., БЕРНАЦКИЙ А. В., СИОРА А. В. Перспективы применения лазерной и гибридной технологий сварки сталей для повышения эксплуатационного ресурса трубопроводов № 10

ШЛЕПАКОВ В. Н., ГАВРИЛЮК Ю. А., КОТЕЛЬЧУК А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей № 3

ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЯРОВИЦЫН А. В., НАКОНЕЧНЫЙ А. А., НАСТЕНКО Г. Ф., ЗАМКОВОЙ В. Е., БЕЛОЗЕРЦЕВ О. С., АНДРЕЙЧЕНКО Н. В. Разработка технологии микроплазменной порошковой наплавки торцов бандажных полок рабочих лопаток ТВД авиационного двигателя № 8

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Арктическая премьера СМТ процесса № 2

БОНДАРЕНКО А. А., ТЮРИН Ю. Н., ДУДА И. М., ПОГРЕБНЯК А. Д. Свойства покрытий $Al_2O_3+Cr+TiN$ после электронно-лучевой обработки № 10

БОРИСОВ Ю. С., БОРИСОВА А. Л., КОЛОМЫЦЕВ М. В., КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК Е. К., ТУНИК А. Ю., КОЗАРУК О. Н., ЯРОШЕНКО В. А. Получение покрытий TiO_2 из суспензии методом высокоскоростного воздушно-газового плазменного напыления № 12

Диссертации на соискание ученой степени № 1, 7, 11

ДОЛИНЕНКО В. В., КОЛЯДА В. А., СКУБА Т. Г., ШАПОВАЛОВ Е. В. Методика оценки транспортных запаздываний в АСУ формированием сварного шва № 1

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ХАРЧЕНКО Г. К., СМЯН О. Д., ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., ЗАГАДАРЧУК В. Ф., БУТКОВА Е. И. Распределение водорода в соединениях стали 10Г2ФБ, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением № 5

ЛАНКИН Ю. Н. Влияние рабочей частоты на размеры трансформаторов для контактной сварки на переменном токе № 4

НАЗАРЕНКО О. К., ШЕВЧУК С. А. Выбор расположения датчика тока в высоковольтных источниках питания сварочных пушек № 11
Новая книга № 10
Новости № 1–5, 9–12

ОО «Межгосметиз-Мценск» — на пути освоения производства всех востребованных на рынке сварочных материалов № 5

По страницам журнала «Welding Journal» № 2, 4, 6, 8, 10

По страницам журнала «Welding and Cutting» № 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12

СИДОРЕНКО П. Ю., РЫЖОВ Р. Н. Использование импульсных электромагнитных воздействий для управления процессом переноса электродного металла при дуговой сварке № 6

ХРОНИКА

Богдановскому В. А. — 75 № 3

Вахнину Ю. Н. — 80 № 4

18-я Международная конференция «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» № 12

8-я Международная конференция «Лучевые технологии» № 7

Гуань Цяо — 75 № 8

X Международная конференция-выставка «Проблемы коррозии и противокоррозионной защиты конструкционных материалов. Коррозия-2010» № 9

10-я Международная специализированная выставка «Сварка и резка» № 5

10-я Юбилейная европейская конференция-выставка по неразрушающему контролю № 9

Дружественные контакты № 11

Информация № 1–12

Календарь выставок и конференций на 2010 г. № 1

Касаткину О. Г. — 75 № 6

Коржу В. Н. — 75 № 4

Кучук-Яценко С. И. — 80 № 8

Ланкину Ю. Н. — 75 № 2

Международная выставка «WELDEX/Россварка-2010» № 12

Международная конференция по сварочным материалам № 9

Международная конференция «Ti-2010 в СНГ» № 8

Международная конференция «МЕЕ-2010» № 11

Международная научно-техническая конференция «Наука и техника — фронту» № 6

Международный симпозиум в Черногории № 10

Награждение китайского ученого № 12

Наши поздравления (Л. М. Лобанов, В. С. Гвоздецкий, А. Д. Размышляев) № 9

Некоторые вопросы контроля качества сварки (по материалам конференций в области неразрушающего контроля) № 6

Отраслевое совещание ГК «Укртрансгаз» «Повышение надежности и эффективности работы линейной части магистральных газопроводов газотранспортной системы» № 4

Памяти Бернадского В. Н. № 10

Памяти Зайффарта П. № 7

Памяти Попова В. С. № 12

Памяти Россошинского А. А. № 11

Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин (итоговая научная конференция в ИЭС им. Е. О. Патона) № 2

Пятая международная конференция «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах» № 7

Разработано в ИЭС № 9–11

Семинар-форум ПИИ ООО «Бинцель Украина» № 1

Семинар Deloro Stellite GmbH в Запорожье № 1

Сессия Научного совета по новым материалам при Комитете по естественным наукам Международной ассоциации академий наук № 7

Специализированный форум «Патон Экспо 2010» № 7

Технический семинар «Авиастроение — технологии и оборудование для сварки» № 11

Торжественный митинг по случаю юбилея Победы в Великой Отечественной войне № 6

XIII Республиканская научно-техническая конференция сварщиков Казахстана № 2

Украинско-немецкий семинар «Плазменные и электронно-лучевые технологии защитных покрытий» № 10

Четвертая выставка «Schweissen & Schneiden India» № 4

Четвертый международный семинар «Новые направления исследований в области высокочастотной электросварки живых мягких тканей» № 1

XIV Международная специализированная выставка «Сварка 2010» № 7

63-я Международная ассамблея Международного института сварки № 10

Эннану А. А. — 75 № 3

Ющенко К. А. — 75 № 12

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Адеева Л. И. № 4, 10

Ажажа В. М. № 8

Аксенова А. Н. № 8

Александров В. А. № 8

Андрейченко Н. В. № 8

Аношин В. А. № 8

Астахов Е. А. № 3

Ахонин С. В. № 5, 10

Бабенко С. К. № 7

Бабынец А. А. № 7

Бабуцкий А. И. № 9, 11

Барташ С. Н. № 6

Белозерцев О. С. № 8

Белоус В. Ю. № 5

Белый А. И. № 4, 6, 12

Бердникова Е. Н. № 6

Бернацкий А. В. № 10

Бобров Ю. П. № 8

Бондарев А. А. № 10, 11

Бондаренко С. Ю. № 7

Борисов Ю. С. № 12

Борисова А. Л. № 4, 10, 12

Борц Б. В. № 8

Буйских К. П. № 1

Булацев А. Р. № 4

Бут В. С. № 1, 3, 10

Буткова Е. И. № 5

Бутенко Ю. В. № 3, 11

Васильев В. Г. № 5, 7, 11

Васильев Ю. С. № 1

Великий С. И. № 5

Великоиваненко Е. А. № 5

Высоколян Н. В. № 11

Гаврик А. Р. № 1

Гаврилюк Ю. А. № 3

Гавриш В. С. № 2, 3, 12

Гайворонский А. А. № 5, 8

Галинич В. И. № 4, 8, 12

Гальцов И. А. № 7

Гапула Н. А. № 12

Гах И. С. № 11

Гвоздецкий В. С. № 9

Гедрович А. И. № 7

Геде Р. № 11

Годзыра Н. Ф. № 4

Гончаренко Е. И. № 6, 7

Гончаров И. А. № 12

Гончаров П. В. № 11

Гоок С. № 9

Гордань Г. Н. № 2, 4, 7

Гречанюк Н. И. № 8

Грищенко А. В. № 10

Грищенко А. П. № 4

Грузд А. А. № 8

Гуменюк А. № 9

Гущин К. В. № 2, 3, 12

Давиденко А. О. № 12

Давыдов Е. А. № 9

Демченко В. Ф. № 1, 6, 12

Дерломенко В. В. № 9

Дзыкович В. И. № 4

Дзюбак Л. И. № 10, 12

Дзянхуа Я. № 3

Дмитрик В. В. № 6

Довженко В. А. № 11

Долиненко В. В. № 1, 2

Дуда И. М. № 10

Дядин В. П. № 4, 9

Елкин А. А. № 5

Еременко Л. И. № 3

Жданов В. А. № 7

Жданов С. Л. № 11

Жудра А. П. № 2, 4

Задерий Б. А. № 11

Загадарчук В. Ф. № 5

Загорников В. И. № 5

Зайффарт П. И. № 7, 11

Залевский А. В. № 4

Замковой В. Е. № 8

Звягинцева А. В. № 5, 11

Зелинская Г. М. № 5, 9

Зельниченко А. Т. № 6

Зиньковский А. П. № 1

Зяткевич Д. П. № 3

Игнатенко А. В. № 8

Игнатенко В. Ю. № 6, 7

Илюшенко В. М. № 8, 11

Ищенко А. Я. № 4

Касаткин О. Г. № 1

Канли Ч. № 3

Ках П. № 6

Качинский В. С. № 6, 7

Кирьяков В. М. № 8

Кислицын В. М. № 1

Клапатов А. В. № 8

Клочков И. Н. № 5, 10

Кныш В. В. № 10

Коберник Н. В. № 9

Коваленко В. С. № 3

Коваленко Д. В. № 10, 12

Коваленко И. В. № 10, 12

Коваль М. П. № 6, 7

Козарук О. Н. № 12

Козлитина С. С. № 1, 10, 12

Козулин М. Г. № 1

Козулин С. М. № 1

Коледа В. Н. № 11

Коломыцев М. В. № 10, 12

Коляда В. А. № 1, 2

Кондратьев И. А. № 4, 7

Кононенко В. Я. № 5

Корниенко А. Н. № 11

Коробка В. А. № 11

Коросташевский П. В. № 2

Котельчук А. С. № 3, 4

Кравчук Л. А. № 6

Кравчук Л. В. № 1

Кривонос В. П. № 12

Кривцун И. В. № 1, 6, 12

Кривчиков С. Ю. № 2

Крикент И. В. № 6

Кудь И. В. № 3

Кузьменко А. З. № 10

Кузьменко В. Г. № 8

Кузьменко Г. В. № 8

Кузьмич-Янчук Е. К. № 12

Куренкова В. В. № 11

Куриат Р. И. № 1

Кухаренко В. В. № 4

Кучук-Яценко В. С. № 4

Кучук-Яценко С. И. № 2, 3, 5–7, 12

Лабур Т. М. № 4

Лавриненко С. Д. № 8

Ламмаре Я. № 12

Ламмерс М. № 9

Ланкин Ю. Н. № 3, 4

Лебедев В. А. № 9–11

Левченко О. Г. № 1

Лендел В. И. № 11

Лендел И. В. № 9, 11

Лианг В. № 3

Липисий В. И. № 8

Лиходед Л. С. № 3

Лобанов Л. М. № 3, 5, 9

Логинов В. П. № 3, 9

Лопата А. Т. № 8

Лукьяненко А. О. № 1

Лычко И. И. № 1

Ляшенко Б. А. № 1

Маковецкая О. К. № 12

Максименко А. А. № 11

Максимов С. Ю. № 9, 12

Максимова С. В. № 5–7, 9–11

Малый А. Б. № 11

Мамеев И. А. № 11

Маркашова Л. И. № 6

Мартикаинен Дж. № 6

Мартиневич В. Н. № 9

Мартиневич Н. П. № 9

Марченко А. Е. № 8

Махненко В. И. № 1, 2, 5–7, 10, 12

Махненко О. В. № 11

Машин В. С. № 3, 5

Мельниченко Т. В. № 11

Мельничук С. Л. № 12

Минакова Р. В. № 8

Михеев Р. С. № 9

Мищенко Д. Д. № 12

Моравецкий С. И. № 1

Мужиченко А. Ф. № 11

Муравейник А. Н. № 2

Назаренко О. К. № 5, 11

Наконечный А. А. № 4, 8

Налимов Ю. С. № 1

Настенко Г. Ф. № 8

Недосека А. Я. № 5, 8

Недосека С. А. № 8

Нейло Ю. С. № 2, 12
Неклюдов И. М. № 8
Нестыкайло В. В. № 8
Новикова Д. П. № 7
Ныркова Л. И. № 12

Ободовский Б. М. № 5
Овсиенко М. А. № 8
Олейник О. И. № 1, 10
Онопrienко Е. М. № 6
Орловский В. Ю. № 5

Павляк Д. А. № 10
Пальцевич А. П. № 8
Паршутин Л. С. № 1
Патон Б. Е. № 5
Пашуля М. П. № 3, 5
Пашин Н. А. № 3, 9, 11
Первухин Л. Б. № 7
Первухина О. Л. № 7
Петров В. В. № 2
Пивторак Н. И. № 5
Пилипенко Н. Н. № 8
Письменный А. А. № 7
Письменный А. С. № 1, 7
Пичак В. Г. № 9, 11
Погребняк А. Д. № 10
Позняков В. Д. № 5, 6, 8, 11
Покляцкий А. Г. № 3, 4, 9, 10
Полищук А. К. № 5
Полукаров Ю. О. № 1
Полухин В. В. № 7
Полухин Ю. В. № 7
Поляков С. Г. № 12
Походня И. К. № 4, 8 (2), 12
Прилуцкий В. П. № 10
Притула С. И. № 7
Прокофьев А. С. № 7
Проценко Н. А. № 4
Пташинская И. И. № 7

Радкевич И. А. № 10
Рачков С. А. № 1
Ретмайер М. № 9
Розынка Г. Ф. № 5
Роик А. С. № 12
Романов В. В. № 3
Романова И. Ю. № 2, 7
Романюк В. С. № 5
Роянов В. А. № 2
Руденко П. М. № 2, 12
Рыбальченко Н. Д. № 8

Рыжов Р. Н. № 6
Рябцев И. А. № 4, 7, 12

Савицкая Е. М. № 7
Савицкий В. В. № 11
Савицкий М. М. № 7
Савченко В. С. № 5, 8, 9, 11
Салминен А. № 6
Самотрасов С. М. № 3
Саржевский В. А. № 5
Сахацкий А. Г. № 4
Свинаренко А. П. № 8
Семенов А. В. № 5
Семенов И. Л. № 1
Семенов Л. А. № 3
Семикин В. Ф. № 3
Сидоренко В. М. № 12
Сидоренко П. Ю. № 6
Синюк В. С. № 8
Сиора А. В. № 2, 10
Скорина Н. В. № 8
Скородзиевский В. С. № 1
Скуба Т. Г. № 1, 2
Скульский В. Ю. № 1
Сливинский А. А. № 4
Смиян О. Д. № 5
Сокольский В. Э. № 12
Соловей С. А. № 10
Соломийчук Т. Г. № 4, 8
Сом А. И. № 6
Степанов Г. В. № 11
Стесин В. В. № 5
Стефанов Б. В. № 6, 7
Судник В. А. № 10
Суший Л. Ф. № 3
Сытин В. И. № 8

Таранова Т. Г. № 7
Терновой Е. Г. № 4, 11
Тимошенко А. Н. № 11
Ткаченко С. А. № 7
Ткачук Г. И. № 11
Токарев В. С. № 12
Токарь И. Г. № 1
Толстолуцкая Г. Д. № 8
Троицкий В. А. № 9
Туник А. Ю. № 4, 10, 12
Тюрин Ю. Н. № 10

Устинов А. И. № 1, 11

Фальченко Ю. В. № 2, 5

Федорчук В. Е. № 2
Федчун А. Ю. № 5
Фольборт О. И. № 8

Харченко Г. К. № 2, 5
Харченко Л. Ф. № 8
Хаскин В. Ю. № 2, 10
Хорунов В. Ф. № 5–7, 9–11

Царюк А. К. № 1, 2
Цыбанев Г. В. № 1
Цыбульский Г. А. № 2
Цымбалистая Т. В. № 4, 10
Цумарев Ю. А. № 3

Чайка А. А. № 4, 10
Чертко П. Н. № 3, 8
Червяков Н. О. № 5, 9
Черная Т. И. № 2
Черных И. В. № 1
Чернышов Г. Г. № 9
Чернышова Т. А. № 9
Черняк Я. П. № 4
Чжидзунг Ч. № 3
Чижик А. В. № 11
Чукашкин А. Н. № 1

Шаповалов Е. В. № 1, 2
Шевчук С. А. № 11
Шваб С. Л. № 10
Швец В. И. № 7
Швец Ю. В. № 7
Шекера В. М. № 6
Шелягин В. Д. № 2, 10
Шишкевич О. С. № 8
Шлепаков В. Н. № 3, 12
Шонин В. А. № 5, 10
Шулым В. Ф. № 4

Юрко Л. Я. № 12
Юхименко Р. В. № 7
Ющенко К. А. № 5, 8, 9, 11

Явдошин И. Р. № 8
Яворская М. Р. № 10
Яковлева М. С. № 3
Яременко М. А. № 8
Яровицын А. В. № 8
Ярошенко В. А. № 12

ПОДПИСКА — 2011 на журнал «Автоматическая сварка»

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

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

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

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

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____ **20** г. по _____ **20** г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190мм) — 700\$
 Вторая страница обложки (200×290мм) — 550\$
 Третья страница обложки (200×290мм) — 500\$
 Четвертая страница обложки (200×290мм) — 600\$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки (200×290мм) — 400\$
 Вторая страница обложки (200×290мм) — 400\$
 Третья страница обложки (200×290мм) — 340\$
 Четвертая страница обложки (200×290мм) — 340\$

Внутренняя вставка

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

Технические требования к рекламным материалам

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

Подписано к печати 11.11.2010. Формат 60584/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,09.
 Усл.-отт. 9,67. Уч.-изд. л. 10,22 + 2 цв. вклейки. Цена договорная.
 Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.