



**Учредители:** Национальная академия наук Украины  
Институт электросварки им. Е. О. Патона  
Международная ассоциация «Сварка»

**Издатель:** Международная ассоциация «Сварка»

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Н. П. Алешин (Россия)  
Б. Брейтвейт (Великобритания)  
Д. фон Хофе (Германия)  
К. Буше (Франция)  
Гуань Цяо (Китай)  
У. Дилтай (Германия)  
П. Зайффарт (Германия)  
А. С. Зубченко (Россия)  
Т. Игар (США)  
К. Иноуэ (Япония)  
Н. И. Никифоров (Россия)  
Б. Е. Патон (Украина)  
Я. Пилярчик (Польша)  
Чжан Янмин (Китай)  
В. К. Шелег (Беларусь)

*Адрес редакции:*  
03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11  
Институт электросварки  
им. Е. О. Патона НАН Украины  
Тел.: (38044) 287 6302, 529 2623  
Факс: (38044) 528 0486  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
http://www.nas.gov.ua/pwj

*Редакторы:*  
Е. Н. Казарова, Т. В. Юштина

*Электронная верстка:*  
И. С. Баташева, А. И. Сулима,  
И. Р. Наумова, И. В. Петушков

Свидетельство о государственной  
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

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

Цена договорная.

**СОДЕРЖАНИЕ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

**Кучук-Яценко С. И., Кирьян В. И., Казымов Б. И.,  
Хоменко В. И.** К методологии контроля соответствия  
назначению сварных соединений трубопроводов,  
полученных контактной сваркой оплавлением ..... 3

**Головко В. В.** Влияние кислородного потенциала  
сварочных флюсов на легирование твердого раствора  
металла сварных швов ..... 10

**Похмурский В. И., Студент М. М., Довгуньк В. М.,  
Сидорак И. И., Дзьоба Ю. В., Рябцев И. А.**  
Возникновение и перераспределение внутренних  
напряжений в электродуговых покрытиях во время их  
формирования ..... 15

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ**

**Патон Б. Е., Заруба И. И., Дыменко В. В., Шатан А. Ф.**  
Снижение материалоёмкости источников питания и  
потребления электроэнергии при сварке ..... 20

**Чекотило Л. В., Булат А. В., Лебедев Я. Б., Звягин-  
цева А. В., Данилов Ю. Б., Качанов В. А., Кабашный  
А. И., Ивануна С. М., Шепель Т. Э., Гвоздикова Е. К.,  
Козин Ю. В.** Продление ресурса эксплуатации колонного  
оборудования нефтеперера- батывающих производств ..... 30

**Рыжов Р. Н., Кузнецов В. Д.** Внешние электромагнитные  
воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки  
(Обзор) ..... 36

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

**Сергиенко В. А., Юматова В. И.** Обеспечение  
безопасности при эксплуатации оборудования для  
газопламенной обработки металлов ..... 45

Производство сварочных материалов в странах СНГ  
в 2005 г. .... 47

Новости ..... 48

Патенты в области сварочного производства ..... 49

По зарубежным журналам ..... 53

Новые книги ..... 57

**ХРОНИКА**

59-я Ежегодная ассамблея Международного института  
сварки ..... 58

Поздравляем юбиляров (В. И. Махненко, В. И. Лакомского,  
Г. В. Павленко, В. Г. Радченко, В. Н. Гордеева, А. С. Пись-  
менного, А. В. Бабаева) ..... 60

Памяти доктора Зоссенгеймера ..... 66

**ИНФОРМАЦИЯ** ..... 67

Разработано в ИЭС ..... 9

# Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 10 (642)  
November 2006  
Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

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

**Publisher:** *International Association «Welding»*

## EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

**B.E.PATON**

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

## THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)  
B. Braithwaite (UK)  
C. Boucher (France)  
D. von Hofe (Germany)  
Guan Qiao (China)  
U. Dilthey (Germany)  
P. Seyffarth (Germany)  
A. S. Zubchenko (Russia)  
T. Eagar (USA)  
K. Inoue (Japan)  
N. I. Nikiforov (Russia)  
B. E. Paton (Ukraine)  
Ya. Pilarczyk (Poland)  
Zhang Yanmin (China)  
V. K. Sheleg (Belarus)

## Address:

The E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the NAS of Ukraine,  
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine  
Tel.: (38044) 287 63 02, 529 26 23  
Fax: (38044) 528 04 86  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
http://www.nas.gov.ua/pwj

## Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushtina  
*Electron galley:*

I. S. Batasheva, A.I.Sulima,  
I. R. Naumova,  
I. V. Petushkov

State Registration Certificate  
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

## CONTENTS

### SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Kuchuk-Yatsenko S. I., Kiryan V. I., Kazymov B. I., Khomenko V. I.** About the methodology of «fitness-for-purpose» control of pipeline welded joints made by the flash-butt welding ..... 3
- Golovko V. V.** Effect of oxygen potential of welding fluxes on alloying of solid solution of welds metal ..... 10
- Pokhmursky V. I., Student M. M., Dovgunyk V. M., Sidorak I. I., Dzyoba Yu. V., Ryabtsev I. A.** Initiation and redistribution of internal stresses in electric arc coatings during their formation ..... 15

### INDUSTRIAL

- Paton B. E., Zaruba I. I., Dymenko V. V., Shatan A. F.** Decrease in metal content of power sources and consumption of electric power in welding ..... 20
- Chekotilo L. V., Bulat A. V., Lebedevich Ya. B., Zvyagintseva A. V., Danilov Yu. B., Kachanov V. A., Kabashnyi A. I., Ivanuna S. M., Shepel T. E., Gvozdikova E. K., Kozin Yu. V.** Extension of service life of a column-type equipment of oil-refining plants ..... 30
- Ryzhov R. N., Kuznetsov V. D.** External electromagnetic actions in processes of arc welding and surfacing (Review) ..... 36

### BRIEF INFORMATION

- Sergienko V. A., Yumatova V. I.** Safety assurance in service of equipment for flame treatment of metals ..... 45
- Production of welding consumables in CIS countries in 2005 ..... 47
- News ..... 48
- Patents in the field of welding ..... 49
- Review of foreign journals ..... 53
- New books ..... 57

### NEWS

- 59th Annual Assembly of the International Institute of Welding ..... 58
- Congratulation of jubilee persons (V. I.Makhnenko, V. I. Lakomsky, G. V.Pavlenko V. G. Radchenko, V. N.Gordeev, A. S. Pismennyi, A. V. Babaev) ..... 60
- In memory of Prof. Lr.-Ing. H. Sossenheimer ..... 66

### INFORMATION ..... 67

- Developed at the PWI ..... 9

*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.*



## К МЕТОДОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СООТВЕТСТВИЯ НАЗНАЧЕНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ КОНТАКТНОЙ СВАРКОЙ ОПЛАВЛЕНИЕМ

Академик НАН Украины **С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО**, чл.-кор. НАН Украины **В. И. КИРЬЯН**,  
**Б. И. КАЗЫМОВ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),  
**В. И. ХОМЕНКО**, канд. техн. наук (ОАО «Стройтрансгаз», г. Москва, РФ)

Рассмотрены существующие требования к сварным кольцевым соединениям трубопроводов большого диаметра. Обобщены результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности соединений, выполненных контактной сваркой оплавлением (КСО) на стандартных и крупномасштабных образцах. Показано, что для контроля соответствия назначению сварных соединений КСО необходимы разработка методики испытаний и нормирование требований к вязкости металла соединения с учетом специфических особенностей их формирования при КСО.

*Ключевые слова:* контактная сварка оплавлением, трубопровод, сварное соединение, дефекты, работоспособность, критерии контроля, крупномасштабные образцы, требования к свойствам, соответствие назначению

В связи с непрерывным совершенствованием технологии строительства магистральных трубопроводов, применением новых марок трубных сталей, использованием современных средств диагностики и контроля технические условия, регламентирующие требования к сварным соединениям, нуждаются в существенной переработке. Особенно это касается оценки качества кольцевых сварных соединений, выполняемых в монтажных условиях [1]. Методология оценки соответствия назначению соединений, полученных различными способами электродуговой сварки, достаточно подробно изложена в работах [2, 3]. Она создавалась с учетом технологических особенностей сварки и условий последующей эксплуатации металлоконструкций. Наряду с электродуговой сваркой при строительстве трубопроводов успешно применяется автоматическая контактная сварка оплавлением (КСО). Использование этого способа сварки весьма перспективно при строительстве новых трубопроводных систем. Соединения, полученные КСО, существенно отличаются от выполненных электродуговыми способами сварки как структурой металла, так и формой (рис. 1). Поэтому определение основных критериев, которыми необходимо руководствоваться при установлении требований к свойствам сварных соединений, полученных КСО, весьма важно для разработки соответствующих нормативных документов.

Настоящая работа посвящена анализу требований, предъявляемых к сварным соединениям, полученным электродуговыми способами сварки, и развитию на этой основе принципов и исходных

положений методологии контроля соответствия назначению соединений, выполненных КСО, с учетом специфических особенностей, присущих данному способу сварки в формировании шва. При этом будут рассмотрены требования к характеристикам сварных соединений, которые контролируются в процессе изготовления трубопроводов, для подтверждения гарантий их несущей способности. Среди них важное значение имеют следующие: механические свойства металла соединений, получаемые на образцах со снятым усилением заподлицо с основным материалом, такие, как прочность (временное сопротивление  $\sigma_B$  наиболее слабого участка) и деформативность (угол изгиба  $\alpha$ ); геометрические параметры формы сварного соединения, которыми определяется уровень концентрации напряжений  $\alpha_\sigma$  в зоне соединения (ЗС); разнородность свойств металла соединения (твердость  $HV$ ); работа, затрачиваемая на разрушение

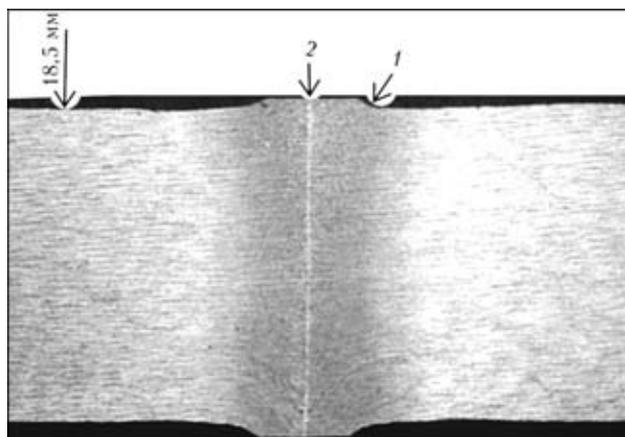


Рис. 1. Макрошлиф соединения, полученного КСО: 1 — место концентрации напряжений, обусловленное формой сварного соединения; 2 — ЗС



стандартных образцов сварных соединений (ударная вязкость *KCU* или *KCV*); допустимость и размеры наиболее вероятных дефектов, обнаруженных визуальным осмотром и методами неразрушающего контроля.

При сварке дугowymi способами такими дефектами являются подрезы, непровары, поры, неметаллические включения (шлаки), смещение кромок. В соответствии с нормативной документацией сварные соединения с указанными дефектами считаются пригодными к эксплуатации при условии, что их размеры не превышают допустимых. Кроме указанных дефектов, дугowymi способом сварки присущи также такие опасные повреждения, как трещины, которые образуются в результате возникновения в металле шва химической и физической неоднородностей. Появление первой связано с различной степенью растворимости химических элементов в зависимости от состояния металла (жидкое, твердое) и диффузионными процессами, протекающими при повышенной скорости охлаждения, а второй обусловлено возникновением вторичных границ, проходящих по участкам, где сосредоточены несовершенства кристаллических решеток [4].

Сварные соединения с трещинами независимо от расположения последних, их размера и ориентации к эксплуатации не допускаются. В то же время даже 100%-й неразрушающий контроль из-за его ограниченной разрешающей способности и субъективных факторов не может гарантировать отсутствия трещин. Исключение разрушений в данном случае обеспечивается достаточным запасом вязкости металла сварного соединения, что позволяет за счет пластической деформации в зонах концентраторов (включая трещины) снизить уровень напряжений без инициирования разрушения. В зависимости от условий эксплуатации (рабочие и остаточные напряжения, температура и др.), а также размера заданного наиболее вероятного (гипотетического) трещиноподобного дефекта устанавливается необходимый уровень вязкости металла с использованием широко известной концепции «соответствие назначению», основанной на подходах и критериях механики разрушения. Последние коррелируют с показателем ударной вязкости *KCV*, определяемом на стандартных образцах с острым надрезом [5].

Из изложенного выше очевидно, что методика испытаний по оценке вязкости металла сварного соединения и устанавливаемый ее нормативный уровень связывают с типами и размерами дефектов, присущих электродугowymi способам сварки. Такая же задача стоит сегодня применительно к сварным соединениям, полученным КСО.

КСО широко и успешно используют в различных отраслях промышленности, в том числе при строительстве магистральных трубо-

проводов [6–8]. Повышенный интерес к данному способу сварки объясняется сочетанием высокого и стабильного качества соединений, полученных КСО, их экономичности, а также высоких производительности сварочных работ и эксплуатационной надежности швов. Не останавливаясь на всех преимуществах этого весьма прогрессивного способа сварки кольцевых стыков магистральных трубопроводов, отметим те характерные особенности, которые связаны с несущей способностью таких соединений.

Главная из них состоит в том, что десятки тысяч километров различных трубопроводов, в том числе мощных магистральных газопроводов диаметром 1420 мм, безаварийно эксплуатируются в течение более 30 лет в различных регионах СНГ со сложными природными и климатическими условиями (например, заполярные районы Западной Сибири и пустыни Туркмении). Уже сам по себе этот факт может служить показателем их прочности и долговечности. Это подтверждено также исследованиями, проведенными в ИЭС им. Е. О. Патона. Исследовали крупномасштабные образцы, которые вырезали из труб (вдоль образующей) отечественного производства (Харьковский трубный завод) и импортной поставки (фирмы Германии, Японии, Италии). Трубы из низкоуглеродистых низколегированных сталей класса прочности X60...X70 имели наружный диаметр 1420 мм и толщину стенки 14,7...20,0 мм. Их кольцевые стыки выполняли на режимах сварки, применяемых при строительстве трубопроводов [9]. Сегментные образцы шириной от 160 до 500 мм со снятым гратом в соответствии с нормативной документацией (усиление не более 3 мм) или заподлицо с основным металлом испытывали в условиях растяжения на разрывных машинах с усилием 3000 и 8000 кН в широком температурном диапазоне (–60...+20 °С). Все образцы сварных соединений, полученных на оптимальном режиме, гарантирующем их качество, разрушались по основному металлу (ОМ). Результаты испытаний стандартных образцов, вырезанных из качественных сварных соединений со снятым гратом заподлицо с ОМ, также подтверждают их соответствие требованиям нормативной документации по прочности и деформативности [10, 11]. Разрушение гладких образцов при испытании на растяжение происходило вне ЗС при напряжении не ниже нормативного значения временного сопротивления металла трубы (рис. 2, а). Угол изгиба на каждом образце существенно превышал заданное среднеарифметическое значение 70° (рис. 2, б). Большинство образцов изгибались до 180° без образования трещины в металле сварного соединения.

Известно, что на прочность сварных соединений существенное влияние оказывают концент-

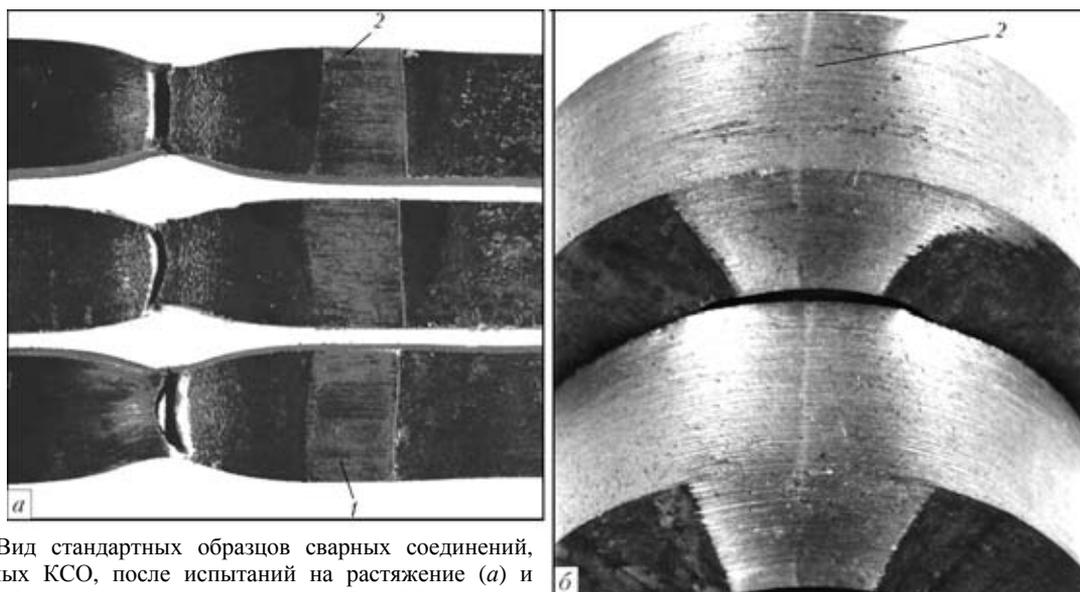


Рис. 2. Вид стандартных образцов сварных соединений, полученных КСО, после испытаний на растяжение (а) и изгиб (б): 1 — участок со снятым гратом; 2 — ЗС

раторы напряжений. Кроме того, при наличии дефектов может проявляться отрицательный эффект растягивающих остаточных напряжений, а также структурная и механическая неоднородность металла соединения. С этой позиции рассмотрим сварные соединения, полученные КСО.

Геометрия сварного соединения, выполненного КСО, после снятия грата с двух его сторон показана на рис. 1. Проведенные расчеты по результатам измерения профиля соединения показали, что создаваемая им концентрация напряжений стабильно низкая. Среднее значение коэффициента концентрации напряжений  $\alpha_{\sigma} \leq 1,1$ , а диапазон изменения 1,05...1,13. Весьма существенным моментом в плане работоспособности сварных соединений является несовпадение места расположения концентратора напряжений и ЗС, что имеет место, например, при электродуговых способах сварки (рис. 3). В последнем случае зона сплавления за счет пониженного сопротивления зарождению разрушения получила в литературе название «локальная хрупкая зона». Применительно к сварным стыковым соединениям с такой зоной при двухсторонней электродуговой сварке под флюсом трубных сталей контролируемой прокатки потребовалось разработать методологию оценки соответствия их целевому назначению и нормирование требований к вязкости разрушения [12]. В связи с этим ЗС при КСО также уделяется особое внимание. Результаты исследований металла ЗС качественных соединений показали, что он имеет меньшее в сопоставлении с металлом труб содержание углерода [13, 14] и более низкую твердость по сравнению с близлежащими участками зоны термомеханического влияния (ЗТМВ) [7, 15], что обуславливает некоторое увеличение пластичности металла в ЗС (рис. 4). Кроме этого, в ЗС отсутствуют микро- и макродефекты и она

имеет общие зерна с основным металлом труб. Все это указывает на то, что ЗС не может являться местом начала разрушения сварного соединения. В случае принудительного инициирования разрушения по ЗС при испытании стандартных образцов с искусственным концентратором трещины чаще всего уходят в более хрупкую ЗТМВ, где сопротивление разрушению ниже по сравнению с ЗС. Фрактографические исследования показали, что при разрушении по ЗС на поверхности изломов имеют место микроучастки, по виду близкие к вязкому разрушению (рис. 5, а). Вид поверхности изломов ЗТМВ типичный для хрупкого разрушения (рис. 5, б).

Однако ЗТМВ так же, как и ЗС, не является местом инициирования разрушения, поскольку в ней не образуются трещины и другие дефекты, характерные для электродуговых способов сварки. Обуславливается это особенностями формирования сварного соединения, в котором отсутствует литой металл.

Приведенные результаты испытаний позволяют утверждать, что сварные соединения, полученные КСО на оптимальном режиме, являются практически бездефектными. Кроме того, благодаря одновременному образованию соединения по всему периметру трубы в ЗС формируются остаточные напряжения незначительного уровня.

Здесь важно остановиться на системе обеспечения высокого и стабильного качества сварных соединений, полученных КСО. В первую очередь это современный уровень развития указанного способа сварки и оборудования для его реализации, созданного на базе последних достижений науки и техники. Отсутствие необходимости применения сварочных материалов устраняет важный фактор, от которого существенно зависят свойства соединения. Процесс сварки стыка, который длится не-

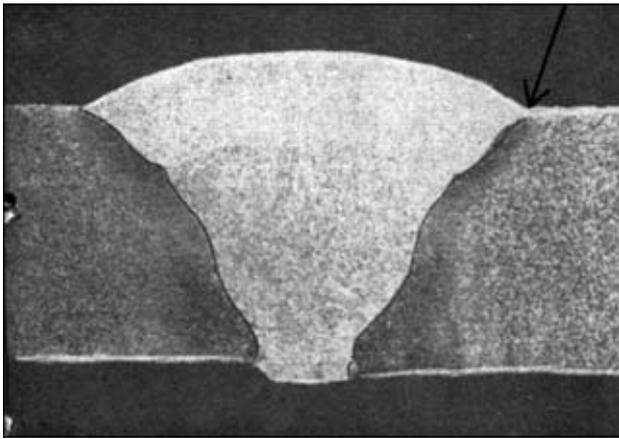


Рис. 3. Макрошлиф кольцевого сварного соединения, полученного ручной электродуговой сваркой: стрелкой показано место расположения концентратора напряжений, совпадающее с ЗС

прерывно 60...180 с, выполняется в автоматическом режиме по заданной программе без вмешательства сварщика-оператора, что исключает влияние субъективного фактора на качество соединения. После выполнения на подготовительном этапе всех необходимых условий для получения качественного соединения наступает завершающий этап — образование сварного соединения одновременно по всему сечению свариваемых торцов. При этом для каждого стыка на протяжении всего процесса сварки компьютеризированной системой регистрируются все основные параметры режима (ток и напряжение, время и длина перемещения подвижной части сварочной машины, по которым рассчитываются скорость оплавления, форсировки и осадки). На основе анализа их изменения в сопоставлении с качеством полученных соединений установлены оптимальные условия образования надежных сварных соединений. Отклонение в процессе сварки какого-либо параметра от заданного значения фиксируется системой контроля параметров режима сварки. Полученная информация обрабатывается, после чего подается команда на прек-

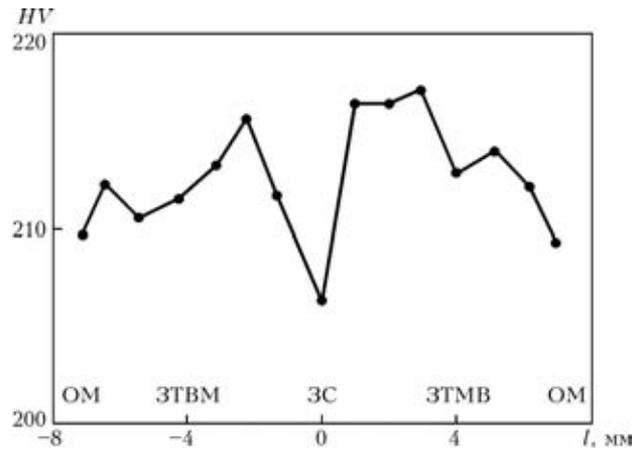


Рис. 4. Распределение микротвердости  $HV$  в металле сварного соединения в зависимости от его удаленности  $l$  от ЗС

ращение сварки, если нарушение произошло на подготовительном этапе процесса, или на отбраковку стыка, если нарушение имело место на этапе образования соединения.

Как показали исследования стыков, выполненных в условиях трассы, и многолетний опыт эксплуатации, соответствие параметров режима сварки нормативным значениям гарантирует необходимое качество сварных соединений и их высокую работоспособность. В таких соединениях могут возникать только локальные скопления неметаллических включений на отдельных участках ЗС, имеющие максимальную площадь до 20...30 мм<sup>2</sup> (в ряде работ такие участки называют матовыми пятнами (МП) [15]). На поверхности разрушения они видны визуально, поскольку отличаются от общего фона кристаллического излома (рис. 6). Для МП характерным является микроструктурная неоднородность. При увеличении обнаруживаются участки разрушенного металла ЗС и равномерно распределенные неметаллические включения, расположенные по всей площади МП. Неметаллические включения представляют собой сегрегационные включения или раздробленные в процессе осадки тонкие (менее 50 мкм) оксидные пленки. Строение этих двух

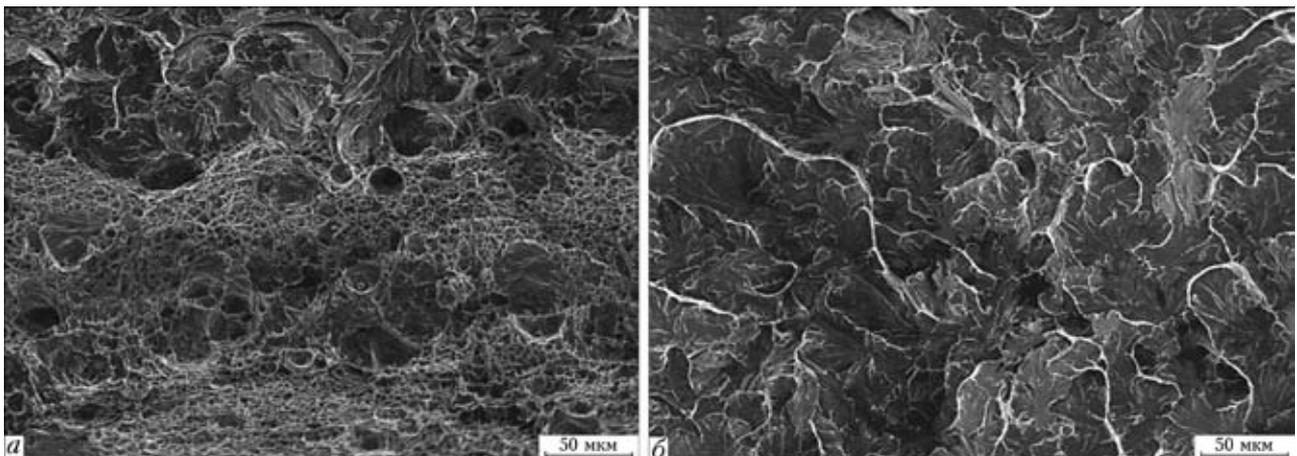


Рис. 5. Фрактограммы поверхности изломов при развитии трещины в ЗС (а) и ЗТМВ (б)



разновидностей неметаллических включений на поверхности изломов практически идентично. Причины их появления и механизм образования подробно рассмотрены в работах [16, 17].

Для оценки влияния неметаллических включений на работоспособность сварных соединений при температуре  $-60...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  испытывали крупномасштабные образцы. В одной серии образцов были низкие остаточные напряжения ( $\sigma_{\text{ост}} = 0,2...0,3\sigma_{0,2}$ ), которые обычно имеют место при КСО труб, во второй значения  $\sigma_{\text{ост}}$  приближались по уровню к  $\sigma_{0,2}$ . Эти остаточные напряжения создавались в образцах вследствие нанесения на их поверхность (с двух сторон) продольных наплавов с разрывом примерно 50...60 мм в зоне поперечного стыка. Исследования показали, что МП, специально созданные в ЗС некоторым отклонением параметров режима сварки от нормативных значений, даже большие по площади (суммарно до 30...40 % поверхности разрушения) не влияют на статическую прочность соединений. Поэтому МП считаются не дефектами, а структурной неоднородностью металла ЗС.

При недопустимых отклонениях значений отдельных параметров режима сварки в ЗС могут появляться непровары в виде незакрывшихся кратеров (НК) или раздробленных оксидных пленок (РОП) толщиной до 100 мкм. НК представляют собой небольшие участки несплошности диаметром до 5 мм, которые образуются в ЗС при недостаточном припуске на осадку. Их влияние на работоспособность соединений рассматривалось в работе [18].

Когда создаются условия для взаимодействия металла, нагретого до температуры, близкой к температуре плавления, с кислородом воздуха, в ЗС даже при оптимальной осадке образуются РОП, которые по составу практически не отличаются от неметаллических включений в МП, но имеют не только большую толщину, но и площадь. Такие фрагменты РОП видны на поверхности изломов невооруженным глазом. В местах разрыва пленок между свариваемыми кромками образуется металлическая связь (т. е. РОП являются дефектом с частичным свариванием), обусловленная наличием в РОП значительного содержания низших оксидов типа MeO (FeO, MnO), которые имеют одинаковые по строению и близкие по размерам кристаллические решетки с  $\alpha$ -железом [17].

Влияние рассмотренных дефектов на прочность сварных соединений труб оценивали по результатам испытаний нескольких партий крупномасштабных образцов таких же размеров, как и у исследуемых качественных соединений. Разница состояла только в том, что их сварку осуществляли на специально отработанных режимах

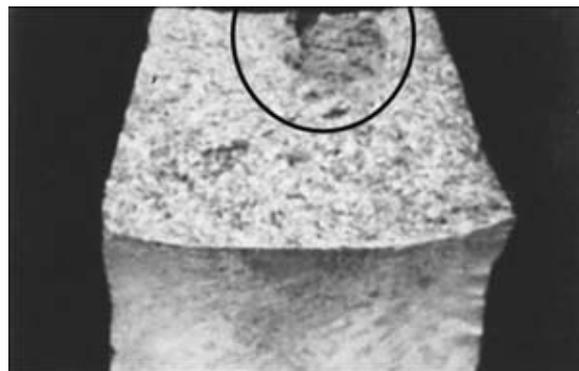


Рис. 6. Матовые пятна на поверхности разрушения (очерченная область)

с преднамеренно грубыми нарушениями технологии для образования в ЗС дефектов рассмотренных типов. О чувствительности сварных соединений к тому или иному дефекту судили по отношению номинальных разрушающих напряжений к нормативному значению предела текучести  $\sigma_{0,2}$  ОМ. Результаты этих исследований в диапазоне естественных климатических температур, включая  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , приведены на рис. 7.

Наличие РОП при низких температурах приводит к некоторому снижению сопротивления разрушению дефектных участков шва. Так, при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  критическое значение суммарной площади РОП в шве, устанавливаемое исходя из условия  $\sigma_p = \sigma_{0,2}$  (здесь  $\sigma_p$  — разрушающие напряжения), составляет примерно  $180\text{ мм}^2$  (сплошная кривая 1 на рис. 7).

Как показали результаты испытаний образцов при температурах  $-60$  и  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  со смещением свариваемых кромок, допустимым является смещение до 25 % толщины стенки трубы [18]. Сочетание смещения кромок и РОП усиливает их влияние. При температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и максимально допустимом смещении кромок (25 %) суммарное критическое значение площади РОП снижается до  $70\text{ мм}^2$  (сплошная кривая 2 на рис. 7). С повышением температуры критическое значение суммарной площади РОП в сварных соединениях без смещения и со смещением кромок увеличивается (см. штрихпунктирные кривые соответственно 1 и 2 на рис. 7). По степени влияния на прочность сварных соединений, полученных КСО, дефекты типа РОП в сочетании со смещением кромок идентичны НК (см. сплошные кривые соответственно 2 и 3 на рис. 7).

Принципиальным в плане обеспечения работоспособности сварных соединений является то, что установленные размеры недопустимых дефектов, типичных для соединений, полученных КСО при нарушении режима сварки, можно гарантированно выявить методами неразрушающего контроля. Наиболее эффективным из них является ультразвуковой контроль [19–21], который дает возможность с достаточной достоверностью выявлять

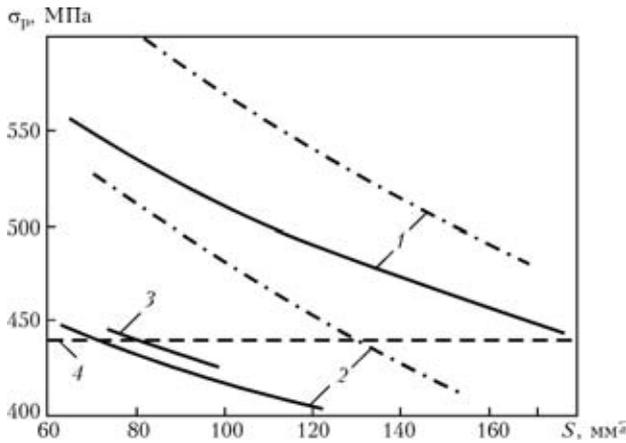


Рис. 7. Уровень разрушающих напряжений  $\sigma_p$  крупномасштабных образцов сварных соединений, полученных КСО, в зависимости от суммарной площади  $S$  дефектов в ЗС: 1 — РОП; 2 — РОП в сочетании с максимально допустимым (25 % толщины стенки трубы) смещением кромок; 3 — НК; 4 — нормативное значение предела текучести  $\sigma_{0,2}$  металла трубы; сплошные кривые — температура испытания  $-60\text{ }^\circ\text{C}$ ; штрихпунктирные —  $+20\text{ }^\circ\text{C}$

НК и РОП. Это, наряду с обеспечением качества швов путем поддержания в заданных границах параметров процесса КСО, является еще одним дополнительным средством повышения эксплуатационной надежности сварных соединений [22]. Кроме того, необходимо контролировать также вязкость металла соединения и поддерживать ее на нормативном уровне. Этот вопрос заслуживает отдельного рассмотрения. Следует отметить, что лабораторная методика испытаний небольших стандартных образцов должна разрабатываться с учетом характерных для соединений КСО дефектов и создаваемой ими концентрации напряжений. Основой для нормирования требований к вязкости металла соединения могут служить приведенные в данной работе результаты испытаний стандартных и крупномасштабных образцов качественных соединений и соединений с дефектами.

## Выводы

1. Опыт эксплуатации магистральных трубопроводов большого диаметра и результаты испытаний крупномасштабных образцов показали высокий уровень работоспособности сварных соединений, полученных КСО, что подтверждено систематическими контрольными испытаниями стандартных образцов на растяжение и изгиб при статическом нагружении.

2. В связи с отсутствием литого металла при КСО не создаются условия для образования трещин и других дефектов, характерных для электродуговых способов сварки. В качественных сварных соединениях только на отдельных участках ЗС имели место скопления неметаллических включений с максимальной площадью до  $20...30\text{ мм}^2$ .

Прочная связь последних с матрицей позволяет классифицировать их как структурную неоднородность металла ЗС, которая не влияет на работоспособность сварных соединений.

3. Качество сварных соединений, полученных КСО, обеспечивается благодаря контролю и поддержке компьютерной системой (на протяжении всего процесса сварки каждого стыка) параметров режима на установленном уровне.

4. При недопустимых отклонениях параметров режима сварки от оптимальных значений в ЗС могут образовываться характерные для КСО дефекты — НК и РОП. По результатам испытаний крупномасштабных образцов в диапазоне температур  $-60...+20\text{ }^\circ\text{C}$  критическое значение их площади превышает  $70\text{ мм}^2$ . Такие дефекты гарантированно обнаруживаются с помощью ультразвукового неразрушающего контроля.

5. Методика оценки вязкости металла сварных соединений, полученных КСО, а также требуемый ее уровень должны устанавливаться с учетом характерных дефектов (НК, РОП) и их влияния на прочность.

6. Контроль и обеспечение требований к параметрам процесса сварки, стандартным механическим свойствам ( $\sigma_b$ ,  $\alpha$ ), дефектности и обеспокоенному уровню вязкости металла сварных соединений, полученных КСО, является гарантом их высокого качества в условиях эксплуатации.

1. СП 105-34-96. Свод правил. Производство сварочных работ и контроль качества сварных соединений. — Введ. 01.10.96.
2. Иванцов О. М. Надежность сварных конструкций магистральных трубопроводов. — М.: Машгиз, 1985. — 231 с.
3. Молдаванов О. И., Орехов В. И., Шишов В. Н. Производственный контроль в трубопроводном строительстве. — М.: Недра, 1986. — 280 с.
4. Деев Г. Ф., Пацкевич И. П. Дефекты сварных швов. — Киев: Наук. думка, 1984. — 208 с.
5. Гиренко В. С., Дядин В. П. Зависимость между ударной вязкостью и критериями механики разрушения конструкционных сталей и их сварных соединений // Автомат. сварка. — 1985. — № 5. — С. 13–20.
6. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Кучук-Яценко С. И. Комплекс «Север-1» для контактной стыковой сварки неповоротных стыков труб больших диаметров // Там же. — 1979. — № 11. — С. 41–45.
7. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка трубопроводов. — Киев: Наук. думка, 1986. — 208 с.
8. Мазур И. И., Серафин О. М., Карпенко М. П. Электроконтактная сварка: Пути совершенствования // Стр-во трубопроводов. — 1988. — № 4. — С. 8–11.
9. ВСН 006–89. Инструкция по технологии стыковой электроконтактной сварки оплавлением магистральных трубопроводов с пределом прочности до  $60\text{ кгс/мм}^2$ . — М.: ВНИИСТ, 1989. — 48 с.
10. СНиП III-42–80. Строительные нормы и правила. Правила производства и приемки работ. Магистральные трубопроводы. — М.: Госстрой СССР, 1984. — 48 с.
11. API Standard 1104. Welding of pipelines and related facilities. — Washington: APJ, 1988. — 42 p.
12. Кирьян В. И., Семенов С. Е. Оценка соответствия целевому назначению сварных соединений магистральных тру-



- бопроводов из микролегированных сталей // Автомат. сварка. — 1995. — № 3. — С. 4–9.
13. Гельман А. С., Кабанов Н. С. Контактная стыковая сварка труб. — М.: Машгиз, 1957. — 232 с.
  14. Кабанов Н. С., Слепак Э. Ш. Технология контактной стыковой сварки. — М.: Машгиз, 1970. — 264 с.
  15. Кучук-Яценко С. И., Лебедев В. К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1965. — 140 с.
  16. Образование «матовых пятен» в соединениях, выполненных контактной стыковой сваркой / С. И. Кучук-Яценко, Б. И. Казымов, В. Ф. Загадарчук и др. // Автомат. сварка. — 1984. — № 11. — С. 23–26.
  17. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
  18. Влияние некоторых дефектов на прочность стыковых соединений, выполненных контактной сваркой / В. И. Труфяков, В. Г. Мазур, Г. В. Жемчужников, Б. И. Казымов // Автомат. сварка. — 1987. — № 2. — С. 7–9.
  19. Ультразвуковой контроль качества соединений, выполненных контактной стыковой сваркой / В. А. Троицкий, В. П. Радько, П. Т. Ющак и др. // Там же. — 1981. — № 4. — С. 38–40.
  20. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций / В. А. Троицкий, В. П. Радько, В. Г. Демидко, В. Т. Бобров. — Киев: Техніка, 1986. — 152 с.
  21. Исследование и особенности обнаружения дефектов типа окисных плен при ультразвуковом контроле соединений, выполненных контактной стыковой сваркой / В. П. Радько, В. А. Троицкий, Б. И. Казымов и др. // Неруйнівний контроль та технічна діагностика: 5-я Нац. наук.-техн. конф. і виставка, Київ, 10–14 квітн. 2006 р. — К., 2006. — С. 55–60.
  22. Кучук-Яценко С. И., Казымов Б. И., Радько В. П. Комплексный контроль соединений, выполненных автоматической стыковой сваркой оплавлением // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1996. — № 4. — С. 46–50.

Requirements to circumferential welded joints in large-diameter pipelines are considered. Results of experimental studies of strength and deformability of flash butt welded (FBW) joints on standard and large-scale specimens are generalised. It is shown that development of a test procedure and regulation of requirements for toughness of the weld metal, allowing for specific peculiarities of formation of the FBW joints, is required to control the fitness for purpose of the joints.

Поступила в редакцию 16.05.2006

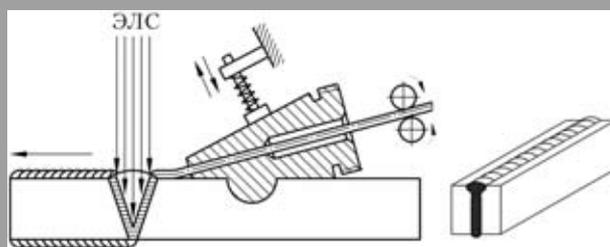
## ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛС ЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ПОДАЧЕЙ В СВАРОЧНУЮ ВАННУ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

*В производстве сварных конструкций различного назначения большой объем занимают полуфабрикаты в виде листовых заготовок. При этом в силу специфических особенностей процесса электронно-лучевой сварки алюминиевых сплавов формирование соединений происходит с некоторым занижением поверхности металла шва относительно верхней плоскости свариваемых листов.*

*Для предупреждения указанного дефекта сварных соединений листовых заготовок разработана технология ЭЛС с одновременной подачей присадочной проволоки в сварочную ванну. Сварка может осуществляться в различных пространственных положениях и без применения формирующих устройств. Сварные швы при этом наплавливаются с формированием валика усиления и проплавления с обратной стороны стыка.*

*В процессе сварки присадочная проволока диаметром 0,8...2,6 мм может подаваться в сварочную ванну с любой стороны относительно фронта плавления. Это особенно важно в случае одновременного применения устройств совмещения и направления пучка по стыку, когда стык перед пучком не должен быть «закрытым».*

*Разработанная технология и механизм подачи присадочной проволоки могут также использоваться при выполнении наплавочных работ, облицовке поверхности, заполнении широких зазоров в соединении при многопроходной сварке.*



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



# ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ НА ЛЕГИРОВАНИЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ

**В. В. ГОЛОВКО**, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

С помощью расчетно-экспериментальной методики выполнен прогноз уровня легирования ферритной матрицы назолегированного металла шва. Показаны результаты сопоставления расчетов, выполненных по предложенной методике, с данными экспериментов, которые показали хорошую достоверность полученных прогнозов. Сделан вывод о возможности использования предложенной методики как для расчета уровня легирования твердого раствора, так и для определения оптимального уровня окислительного потенциала сварочных материалов.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, низколегированные стали, сварочные флюсы, металл шва, ферритная матрица, уровень легирования, окислительный потенциал, расчетно-экспериментальная методика

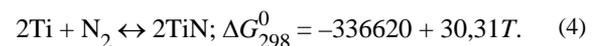
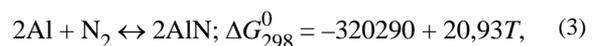
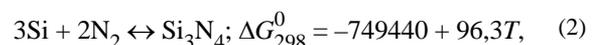
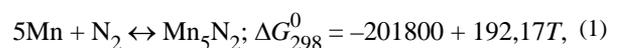
Металлургическая активность агломерированных флюсов определяется их способностью в зависимости от состава легировать или окислять металл шва, интенсифицировать металлургические реакции в газовой, шлаковой или металлической фазах. В статье приведены результаты компьютерного моделирования экспериментов по изучению способности агломерированных флюсов легировать металл шва или связывать в оксиды и нитриды легирующие и другие примеси, которые были введены тем или иным путем в сварочную ванну.

Легирование твердого раствора позволяет существенно изменить как структуру металла швов, так и их механические свойства. Такому влиянию традиционно уделяется большое внимание. Взаимосвязь между легированием феррита, его структурой и механическими свойствами описаны в работах [1–3], на основании которых можно сделать вывод об актуальности работ в области прогноза (а следовательно, и целенаправленного управления) содержания легирующих элементов в твердом растворе.

При выполнении исследований процесс легирования ферритной матрицы обычно рассматривают как цепь последовательных реакций. Такой подход хорошо проиллюстрирован в работе [4], где приведена схема (рис. 1), из которой видно, что при охлаждении сварного шва вначале происходит окисление легирующих элементов, затем та их часть, которая не вступила в реакцию с кислородом, образует нитриды, а то количество легирующих элементов, которое осталось несвязанным ни с кислородом, ни с азотом, растворяется в ферритной матрице. Такая последовательность реакций в сварочной ванне и металле ос-

тывающего шва в определенной мере формализована, однако удобна для расчетов.

Компьютерное моделирование процессов окисления позволяет определить количество легирующих элементов, не связанных в оксиды [5], которое вступает в реакции нитридообразования. В этом случае расчеты, связанные с образованием нитридов, базируются на результатах, полученных при компьютерном моделировании процессов окисления легирующих элементов, и с учетом того, что шлаковая фаза, как правило, не является источником поступления азота в сварочную ванну. Исключение могут составлять сварочные материалы, которые имеют в своем составе азото-содержащие компоненты, например азотистый ферромарганец или нитрид бора. Такие случаи достаточно редки и в данной работе не рассматриваются. Образование нитридов можно представить в виде следующих реакций [6]:



Исходя из результатов измерений, рассмотренных в работе [7], принимаем температуру сварочной ванны 2043 К. Для этой температуры

$$\Delta G_1^0 = 191, \Delta G_2^0 = -553, \Delta G_3^0 = -277, \Delta G_4^0 = -275 \text{ кДж.}$$

Из расчетов видно, что процесс образования нитрида марганца начнется только при температурах ниже 1050 К.

Количество азота, израсходованное на образование нитридов, можно определить из выражения

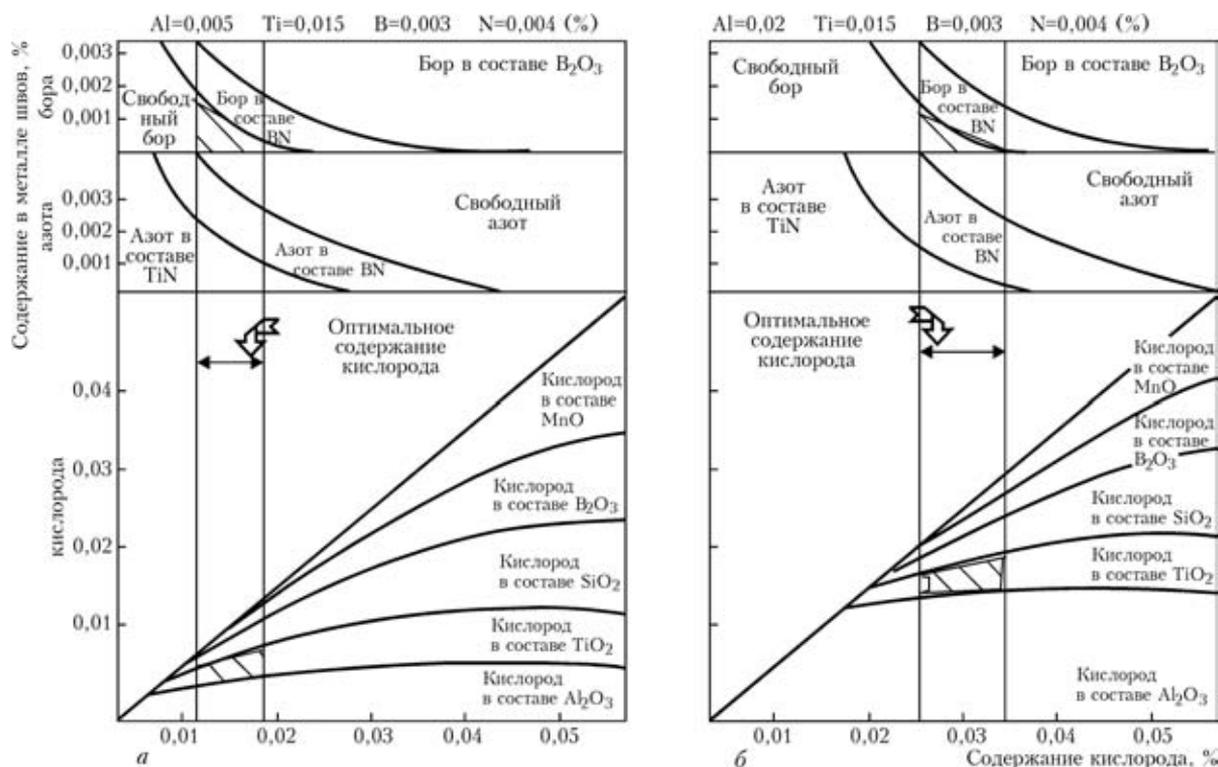


Рис. 1. Схема расчета оптимального содержания кислорода в металле низколегированного шва [4] при низком (а) и высоком (б) содержании в металле алюминия

Таблица 1. Содержание элементов-раскислителей в составе опытных агломерированных флюсов

№ эксперимента	Кислородный потенциал флюса $\pi_0$ , кДж/моль	Содержание элементов-раскислителей в шихте флюса, мас. %		
		Al	Ti	Si
1A	-369	0,5	—	—
1T		—	0,4	—
1AT		0,5	0,2	—
2A	-337	0,5	—	—
2S		—	—	0,5
2SS		—	—	1,0
3S	-307	—	—	0,5
3SS		—	—	1,0
3AT		0,5	0,2	—

$$\Sigma n_N = 2/5n_{Mn} + n_{Ti} + 4/3n_{Si} + n_{Al}$$

где  $\Sigma n_N$  — суммарное количество азота (г/моль), связанного в нитриды;  $n_{Mn}$ ,  $n_{Ti}$ ,  $n_{Si}$ ,  $n_{Al}$  — количество азота (г/моль), вступившего в реакцию соответственно с марганцем, титаном, кремнием и алюминием.

Зная содержание азота в металле шва, значение свободной энергии реакций нитридообразования, и используя методику расчетов, приведенную для случая реакций окисления [5], можно определить количество легирующих элементов, вступивших в реакцию с азотом.

Для проверки соответствия расчетных данных опытным результатам были проведены эксперименты, в ходе которых изготавливали стыковые соединения из низколегированной стали толщиной 20 мм по методике EN 1597-1 [8], предусматривающей получение образцов из чистого наплавленного металла. Сварку выполняли под опытными агломерированными флюсами в сочетании с проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм.

Опытные флюсы базировались на шлаковой системе  $MgO-Al_2O_3-SiO_2-CaF_2$ . Путем вариации соотношения между компонентами обеспечивалась возможность изменения кислородного потенциала флюсов. Последний определяли измерением парциального давления кислорода над расплавом шлака  $P_0$  с последующим расчетом в соответствии с формулой  $\pi_0 = RT \ln(P_0)$ . С целью изучения влияния различных элементов-раскислителей на уровень легирования твердого раствора в состав шихты опытных флюсов вводили алюминий, титан и кремний в соответствии с программой, приведенной в табл. 1. Эксперименты выполняли с использованием флюсов повышенной основности ( $\pi_0 = -369$ ), нейтрального (-337) и кислого типа (-307 кДж/моль).

Из металла, наплавленного под опытными флюсами, изготовлены шлифы для металлографического анализа. В процессе исследования с помощью электронной микроскопии изучали структуру металла швов, а также состав твердого раствора.



Т а б л и ц а 2. Результаты расчета количества легирующих элементов, вступивших в реакцию окисления и нитридообразования

№ эксперимента	Доля легирующих элементов (мас. %), содержащаяся в							
	металле шва				оксидах			
	Mn	Si	Ti	Al	Mn	Si	Ti	Al
1A	0,86	0,24	0,025	0,025	0,405	0,12	0,001	0,01
1T	0,70	0,22	0,025	0,019	0,224	0,109	0,012	0,008
1AT	0,75	0,29	0,01	0,029	0,279	0,153	0,0002	0,011
2A	0,73	0,38	0,01	0,02	0,229	0,291	0,0008	0,001
2S	0,85	0,30	0,013	0,01	0,208	0,234	0,0001	0,009
2SS	0,84	0,26	0,01	0,01	0,164	0,181	0,0071	0,009
3S	0,98	0,45	0,012	0,02	0,236	0,342	0,007	0,01
3SS	0,86	0,40	0,023	0,01	0,144	0,323	0,014	0,0069
3AT	0,88	0,44	0,017	0,02	0,169	0,381	0,0072	0,0134

Окончание табл. 2

№ эксперимента	Доля легирующих элементов (мас. %), содержащаяся в							
	нитридах				твердом растворе			
	Mn	Si	Ti	Al	Mn	Si	Ti	Al
1A	0	0,082	0,022	0,014	0,451	0,048	0,001	0,0001
1T	0	0,064	0,013	0,01	0,466	0,027	0,001	0,0002
1AT	0	0,087	0,005	0,017	0,471	0,026	0,0028	0,0002
2A	0	0,045	0,008	0,01	0,51	0,034	0,0032	0
2S	0	0,025	0,009	0	0,64	0,031	0,0033	0,001
2SS	0	0	0	0	0,68	0,039	0,0039	0,001
3S	0	0	0,002	0,005	0,744	0,078	0,0041	0,002
3SS	0	0	0,005	0	0,746	0,071	0,0049	0,003
3AT	0	0	0,002	0,002	0,751	0,064	0,0092	0,0056

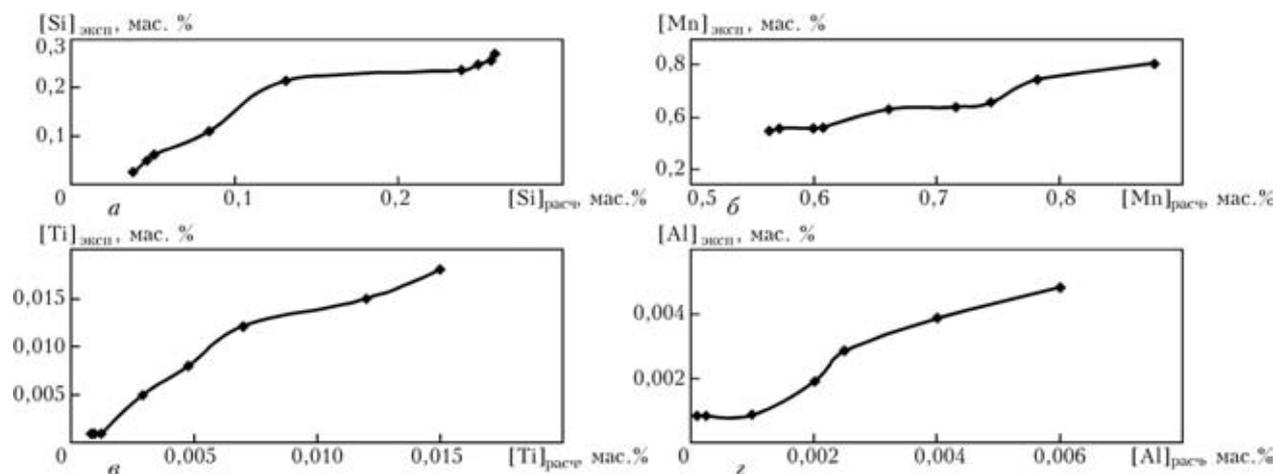


Рис. 2. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных содержания кремния (а); марганца (б); титана (в); алюминия (г) в твердом растворе

Результаты расчетов для некоторых составов металла швов приведены в табл. 2. На рис. 2 приведены результаты сопоставления расчетного содержания легирующих элементов в твердом растворе (данные табл. 2) и содержания легирующих

элементов в твердом растворе, полученного при анализе микрошлифов наплавленного металла на электронном микроскопе, снабженном рентгеноспектральной приставкой «Link». Как видно из приведенных данных, расчетные значения содер-



**Таблица 3.** Содержание микроструктурных составляющих в образцах наплавленного металла, полученных при сварке под опытными флюсами

№ образца	Объемная доля структурной составляющей, %					
	ПФ	ВФ	ИФ	ФУВ	ФНУВ	МАК-фаза
3/1	15...20	9...11	31...37	14...15	24...27	5,4
3/4	15...18	9...12	25...34	16...27	20...23	5,0
3/7	15...20	6...7	30...40	24...25	20...27	3,4
2/1	13...20	3...5	40...45	17...20	23...25	4,0
2/4	13...20	3...9	46...49	13...19	16...18	5,0
2/7	13...23	5...9	43...46	13...18	6...14	2,3
1/1	6...12	2...4	50...55	16...27	17...21	2,5
1/4	5...12	3...5	48...50	12...25	32...37	3,5
1/7	4...10	1...3	44...50	11...15	36...38	2,4

Примечание. ПФ — полигональный феррит; ВФ — феррит Видманштетта; ИФ — игольчатый феррит; ФУВ — феррит с упорядоченной, ФНУВ — неупорядоченной второй фазой.

жания легирующих элементов в феррите достаточно хорошо совпадают с результатами экспериментов. Следовательно, допустимо рассматривать расчетные значения как величины, которые позволяют с определенной степенью точности оценивать уровень легирования твердого раствора. Для проверки сделанного допущения выполнены дополнительные эксперименты по количественной оценке состава микроструктурных составляющих образцов наплавленного металла.

В табл. 3 приведены результаты определения содержания микроструктурных составляющих в наплавленном металле опытных швов. Данные, приведенные в таблице, сопоставляли с результатами расчета содержания легирующих элементов в твердом растворе.

Анализ как расчетных, так и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что если при сварке под флюсами кислого типа ( $\pi_0 = -307$  кДж/моль) твердый раствор легируется в основном марганцем и кремнием, то в случае использования флюсов повышенной основности ( $\pi_0 = -369$  кДж/моль), в твердом растворе присутствуют заметные количества алюминия и титана. Такие различия в легировании феррита несомненно должны сказаться на условиях формирования его структуры.

На рис. 3–5 приведены результаты сопоставления расчетных значений содержания легирующих элементов в твердом растворе с количеством определенных структурных составляющих металла швов.

Исследование влияния легирования твердого раствора на структуру металла швов не являлось целью настоящей статьи, поэтому здесь приведены только некоторые из полученных данных, которые должны показать возможность использования расчетно-экспериментального метода прогнозирования содержания легирующих элементов в твердом растворе для изучения подобных проблем. Так, из данных, приведенных на рис. 3–5, видно, что увеличение содержания в структуре металла швов ИФ связано с возрастанием содержания титана в твердом растворе, а увеличение содержания марганца и кремния вызывает изменение количества ПФ и ВФ соответственно.

Эти данные соответствуют результатам специальных исследований [8–10], поэтому можно сделать вывод, что предложенный расчетно-экспериментальный метод позволяет адекватно оценивать как уровень легирования твердого раствора, так и уровень кислородного потенциала сварочного флюса, при котором можно снизить интенсивность процессов растворения определенных легирующих элементов в феррите с целью получе-

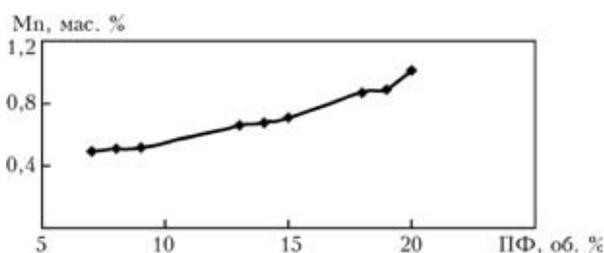


Рис. 3. Взаимосвязь между содержанием марганца в твердом растворе и содержанием полигонального феррита (ПФ) в структуре металла швов

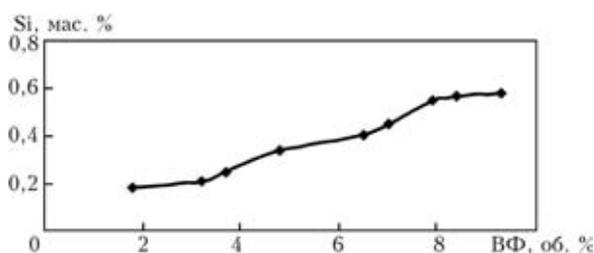


Рис. 4. Взаимосвязь между содержанием кремния в твердом растворе и содержанием феррита Видманштетта (ВФ) в структуре металла швов

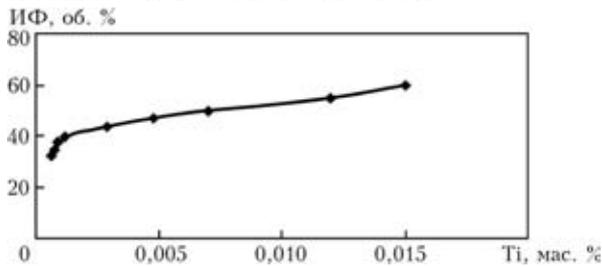


Рис. 5. Взаимосвязь между содержанием титана в твердом растворе и игольчатого феррита (ИФ) в структуре металла швов

ния заданной морфологии структурных составляющих металла швов.

Метод прогнозирования, позволяющий определить пороговое значение кислородного потенциала флюса, при котором начинается легирование твердого раствора, дает возможность установить оптимальный уровень раскисления сварочной ванны. Выше этого предела в металле швов образуется большое количество неметаллических включений и чем больше кислородный потенциал флюса, тем более высокая доля силикатов марганца и/или алюминия будет в составе этих включений. Такие случаи были рассмотрены в работе [5]. Ниже этого предела получают развитие процессы легирования феррита алюминием и титаном, и, как было показано в данном исследовании, чем ниже кислородный потенциал флюса, тем более высокий уровень этого легирования.

Для различных составов флюсов этот предел может быть различным в зависимости от уровня требований к сварочно-технологическим свойствам флюса, его санитарно-гигиеническим характеристикам, регламентированным свойствам металла сварных швов и сварных соединений. Оптимальный уровень раскисления может быть рассчитан на основе компьютерных методов моделирования в случае установления конкретных требований к количеству и составу неметаллических включений, уровню механических свойств металла швов и соответствующей доле ИФ в их структуре.

Results of application of the calculation-experimental method, allowing prediction of the ferritic matrix alloying level, are given. Results of comparison of the calculations made by using the suggested method with the experimental data are presented, showing high reliability of the predictions. A conclusion is made on the possibility of using the suggested method both for calculation of the solid solution alloying level and for evaluation of the optimal level of the oxidation potential of welding consumables.

## Выводы

1. На базе компьютерного моделирования предложен расчетно-экспериментальный метод, который позволяет прогнозировать уровень легирования ферритной матрицы.

2. Сопоставление результатов расчетов, выполненных по предложенной методике, с экспериментальными показали хорошую достоверность полученных прогнозов. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование предложенной методики как для расчета уровня легирования твердого раствора, так и для определения оптимального уровня окислительного потенциала сварочных материалов.

1. *Поволоцкий Д. Я.* Алюминий в конструкционной стали. — М.: Металлургия, 1970. — 270 с.
2. *Лякишев Н. П., Плинер Ю. Л., Лапко С. И.* Легирующие сплавы и стали с титаном. — М.: Металлургия, 1985. — 232 с.
3. *Hannerz N. E.* The influence of silicon on the mechanical properties and on the weldability of mild and high tensile structural steels. Literature survey and own experimental studies. — 55 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-1169-80).
4. *Ohkita S., Horii Y.* Recent development in controlling the microstructure and properties of low alloy steel weld metals // ISIJ Intern. — 1995. — **35**, № 10. — P. 1170-1182.
5. *Головкин В. В.* Моделирование состава неметаллических включений в металле сварных швов ВПНЛ сталей // Автомат. сварка. — 2001. — № 5. — С. 3-7.
6. *Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / Под ред. А. П. Зефинова.* — М.: Атомиздат, 1965. — 458 с.
7. *Походня И. К., Фрумин И. И.* О температуре сварочной ванны // Автомат. сварка. — 1955. — № 5. — С. 14-24.
8. *EN 1597-1.* Schweißzusätze-ruefung zur Einteilung — Teil 1: Prufstück zur Entnahme von Schweißan Stahl, Nickel und Nickel-legierungen.
9. *Evans G. M.* Effect of manganese on the microstructure and properties of all-weld metal deposits // Welding J. — 1980. — **59**, № 3. — S. 67-75.
10. *Evans G. M.* The effects of silicon on microstructure and properties of C-Mn all-weld metal deposits // Metal Construction. — 1986. — **18**, № 7. — P. 438-444.
11. *Davis M. L. E., Pargeter R. J., Bailey N.* Effects of titanium and boron additions to submerged arc welding fluxes // Ibid. — 1983. — **15**, № 6. — P. 338-344.

Поступила в редакцию 17.10.2005



## ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЯХ ВО ВРЕМЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Чл.-кор. НАН Украины **В. И. ПОХМУРСКИЙ**, **М. М. СТУДЕНТ**, **В. М. ДОВГУНЫК**,  
**И. И. СИДОРЯК**, кандидаты техн. наук, **Ю. В. ДЗЬОБА**, инж.  
 (Физико-мех. ин-т им. Г. В. Карпенко НАН Украины, г. Львов),  
**И. А. РЯБЦЕВ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

При электродуговом нанесении покрытий из порошковых проволок возникают остаточные напряжения растяжения, которые могут вызывать появление трещин в покрытиях и их разрушение, особенно при финишных операциях. Показано, что режимы нанесения покрытий существенно влияют как на кинетику формирования внутренних напряжений, так и на их остаточный уровень.

*Ключевые слова:* электродуговое напыление, покрытие, порошковая проволока, режим нанесения покрытия, внутреннее напряжение, когезия, разрезное кольцо

Электродуговые покрытия из порошковых проволок (ПП) системы легирования Fe–Cr–B–Al, отличающиеся износостойкостью в условиях граничного трения, широко применяют в промышленности для восстановления изношенных деталей машин типа вал и защиты от абразивного изнашивания при нормальных и повышенных температурах радиационных труб и труб экономайзеров тепловых электростанций. При электродуговом нанесении покрытий путем распыления расплава ПП в них возникают остаточные напряжения растяжения, которые могут стать причиной появления трещин и разрушений, особенно при финишных операциях.

Режимы нанесения покрытий существенно влияют как на кинетику формирования внутренних напряжений, так и на их остаточный уровень. Покрытия преимущественно разрушаются под действием напряжений первого рода, которые уравниваются в их объеме. Влияние режимов напыления на формирование напряжений и их остаточное значение является предметом нашего исследования.

**Методика эксперимента.** Внутренние напряжения в покрытиях оценивали по методике разрезных колец (рис. 1) [1–3], которая позволяет определить напряжения в процессе формирования и охлаждения покрытий до комнатной температуры по изменению расстояния между торцами разрезного кольца. В соответствии с данной методикой к торцам разрезного кольца 1 диаметром 60 мм, высотой 20 мм, толщиной 4 мм приваривали продлевающие стержни 2 с внутренними пазами, которые надежно фиксируют тензодатчик

3, защищенный экраном 4. Покрытия наносили на внешнюю поверхность разрезного кольца 1 с использованием ПП ФМИ-2. Скорость вращения кольца при формировании покрытия составляла 40 мин<sup>-1</sup> (рис. 2). В качестве материалов шихты ПП применяли феррохромбор ФХБ-2 (60 %) и алюминиевый порошок ПА-40 (40 %). Диаметр ПП составлял 1,8 мм, коэффициент заполнения шихтой — 20 %.

Окружные и радиальные напряжения в покрытии (рис. 3) рассчитывали по формулам [1]:

$$\sigma_{\text{окр}} = r_2^2 p (1 + r_1^2 / \rho^2) / (r_1^2 - r_2^2);$$

$$\sigma_r = r_2^2 p (1 - r_1^2 / \rho^2) / (r_1^2 - r_2^2),$$

где  $r_1, r_2$  — соответственно внешний и внутренний радиусы напыленного слоя;  $p$  — контактное дав-

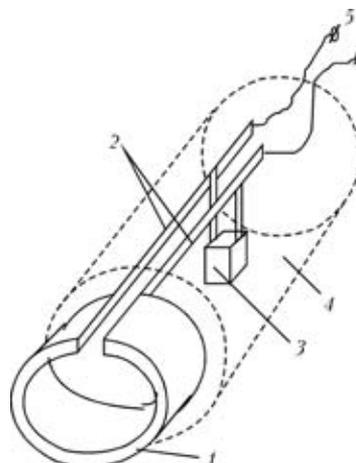


Рис. 1. Схема измерения внутренних напряжений в покрытии в процессе его формирования: 1 — разрезное кольцо (образец); 2 — продлевающие стержни; 3 — тензодатчик; 4 — защитный экран; 5 — выводы на прибор

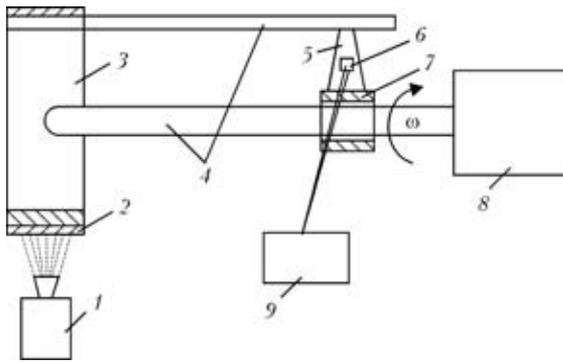


Рис. 2. Схема измерения напряжений в покрытии в процессе его формирования: 1 — электродуговой металлатор; 2 — покрытие; 3 — разрезное кольцо; 4 — продлевающие стержни; 5 — балка; 6 — тензодатчик; 7 — корпус; 8 — электродвигатель; 9 — регистрирующее устройство;  $\omega$  — окружная скорость

ление, создаваемое покрытием;  $\rho$  — расстояние от центра кольца до определенной точки.

Максимальные окружные напряжения, возникающие на внутренней поверхности напыленного слоя, которые непосредственно контактируют с поверхностью кольца (при  $\rho = r_2$ ), рассчитывали по формуле из работы [1]:

$$\sigma_{\text{окр}}^{\text{max}} = p(r_1^2 + r_2^2)/(r_1^2 - r_2^2).$$

Радиальные напряжения, возникающие в любой точке поверхности (рис. 4),  $\sigma_r = -p$ . Контактное давление  $p$ , возникающее под действием напыленного слоя, определяли из выражения

$$p = E\Delta_{km}/(12r_{\text{cp}}^4/t^3)(\lambda + \mu) - (r_{\text{cp}}^2/t)(\eta - \mu),$$

где  $E$  — модуль упругости материала кольца;  $\Delta_{km}$  — ширина реза между торцами кольца;  $t = r_1 - r_2$  — толщина кольца;  $r_{\text{cp}}$  — средний радиус напыленного слоя;

$$\lambda = \cos(\varphi_0/2)(3\pi - 1,5\varphi_0 + 2 \sin \varphi_0 - 0,25 \sin 2\varphi_0);$$

$$\mu = \sin(\varphi_0/2)(1 - \cos \varphi_0 + 0,5 \sin^2 \varphi_0);$$

$$\eta = \cos(\varphi_0/2)(-\pi + 0,5 \sin \varphi_0 + 0,25 \sin 2\varphi_0),$$

$\varphi_0$  — угол раскрытия кольца после разрезки.

С помощью усовершенствованной нами методики можно следить за уровнем внутренних напряжений в покрытии на всех этапах формирования последнего и оптимизировать технологические параметры электродуговой металлизации — давление сжатого воздуха, дистанцию напыления и оптимальную толщину покрытия.

**Формирование напряжений в покрытии во время нанесения.** Изменение значения максимальных окружных напряжений в процессе нанесения электродуговых покрытий (см. рис. 2) исследовали на стальных разрезных кольцах и вели непрерывную запись изменения ширины реза  $\Delta_{km}$ . Электрометаллизатор при этом находился в не-

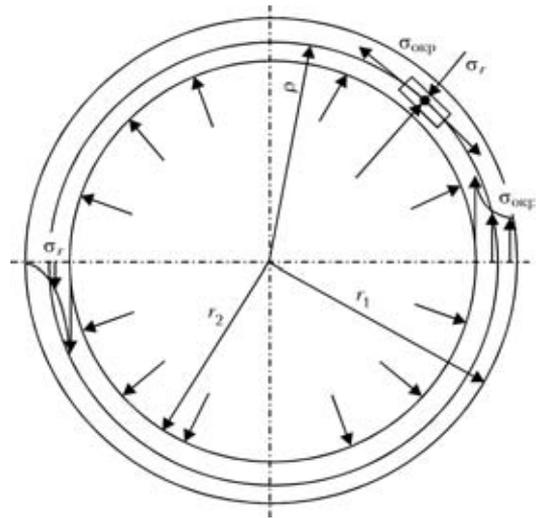


Рис. 3. Схема распределения напряжений в напыленном слое покрытия [1]

подвижном состоянии. Диаметр пятна напыления на расстоянии 100 мм составлял 35 мм и полностью перекрывал напыляемое кольцо шириной 20 мм, скорость перемещения пятна напыления по периметру кольца при скорости его вращения  $40 \text{ мин}^{-1}$  составляла 13 мм/с. Установлено, что во время напыления в покрытиях возникают внутренние напряжения растяжения, которые увеличиваются при напылении первого слоя (рис. 5). Нанесение последующих слоев приводит к уменьшению растягивающих напряжений, поскольку каждый следующий напыленный слой наносится на предыдущий с более высокой температурой, чем кольцо. Кроме того, напыленный материал имеет меньшую теплопроводность по сравнению со стальной подложкой. В результате каждый последующий напыленный слой охлаждается медленнее и в нем формируются меньшие растягивающие напряжения.

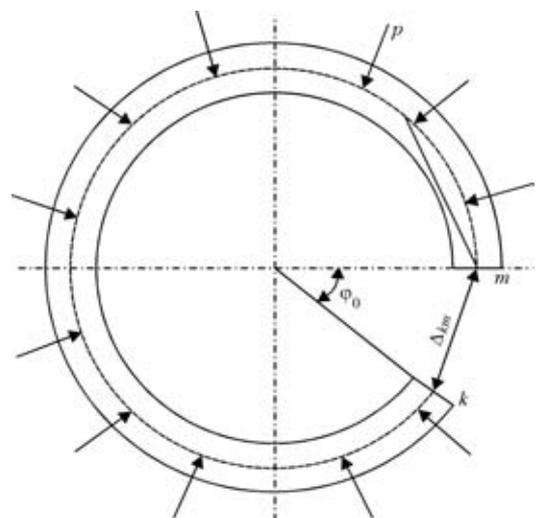


Рис. 4. Схема возникновения внутренних напряжений во время нанесения покрытия на внешнюю поверхность разрезного кольца [1] ( $m, k$  — торцевые плоскости разрезного кольца)

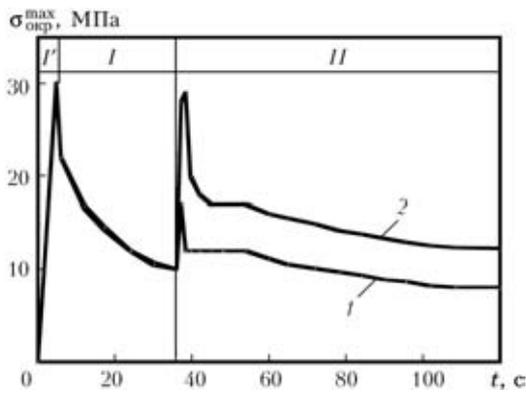


Рис. 5. Изменение максимальных окружных напряжений  $\sigma_{окр}^{max}$  в покрытии из ПП ФМИ-2 при напылении (I), охлаждении (II) спокойным (I) и сжатым (2) воздухом: I' — напыление первого слоя;  $U_d = 32$  В;  $I_{св} = 150$  А;  $p = 0,6$  МПа; дистанция напыления  $L = 100$  мм

Для установления характера изменения напряжений после напыления кольца с покрытиями охлаждали спокойным и сжатым ( $p = 0,6$  МПа) воздухом. На рис. 5 видно, что при охлаждении покрытия сжатым воздухом окружные напряжения растяжения в них увеличиваются скачкообразно вследствие быстрого охлаждения поверхностного слоя. При охлаждении на спокойном воздухе также имеет место скачок напряжений, но гораздо меньший.

При последующем охлаждении покрытия до комнатной температуры на спокойном воздухе фиксируется наличие лишь остаточных напряжений растяжения. При резком и быстром охлаждении сжатым воздухом уровень напряжений больше, чем при охлаждении на спокойном воздухе.

Очевидным является то, что при увеличении времени непрерывного напыления получаем покрытие большей толщины. При этом общая температура кольца также увеличивается. В случае длительного непрерывного напыления скачок окружных напряжений растяжения в покрытии во

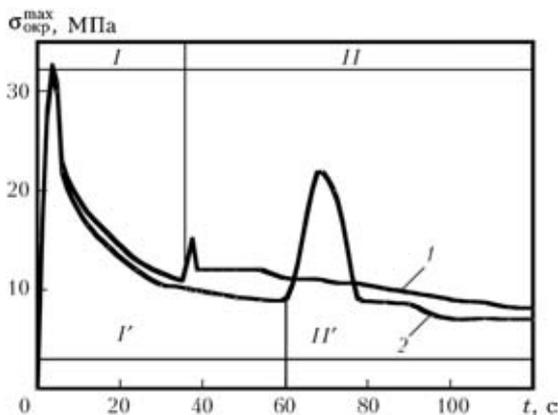


Рис. 6. Изменение максимальных окружных напряжений  $\sigma_{окр}^{max}$  в покрытии из ПП ФМИ-2 при напылении в течение 30 (1) и 60 с (2): I, I' — процесс напыления; II, II' — охлаждение на спокойном воздухе

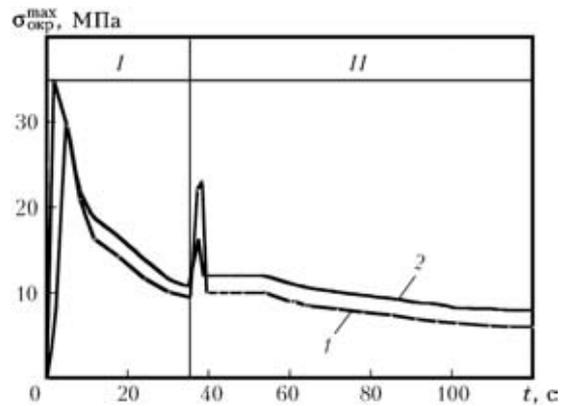


Рис. 7. Изменение максимальных окружных напряжений в покрытии из ПП ФМИ-2 при разной мощности: I — напыление; II — охлаждение на спокойном воздухе; 1 —  $I_{св} = 100$ ; 2 — 200 А; остальные параметры режима напыления см. на рис. 5

время охлаждения выше, а уровень остаточных напряжений ниже (рис. 6).

При увеличении мощности дуги за одно и то же время формируется покрытие, имеющее большую толщину. Температура кольца увеличивается, и скачок значения окружных напряжений растяжения, обусловленный охлаждением, намного выше, чем при дуге меньшей мощности (рис. 7). Остаточные напряжения, наоборот, с увеличением мощности дуги уменьшаются.

**Влияние режимов напыления на когезию и остаточные напряжения.** При исследовании покрытия формировали электродуговым металлизатором послойно путем перемещения его параллельно поверхности напыления со скоростью 4,5 м/с (см. рис. 2). Покрытия толщиной 1 мм формировались за 10 проходов.

Установлено, что при повышении давления распыляющего воздуха от 0,35 до 0,80 МПа максимальные окружные напряжения растяжения возрастают с 3,5 до 8,0 МПа. Вместе с тем, прочность покрытий на разрыв увеличивается с 50 до 100 МПа (рис. 8). При более высоком давлении

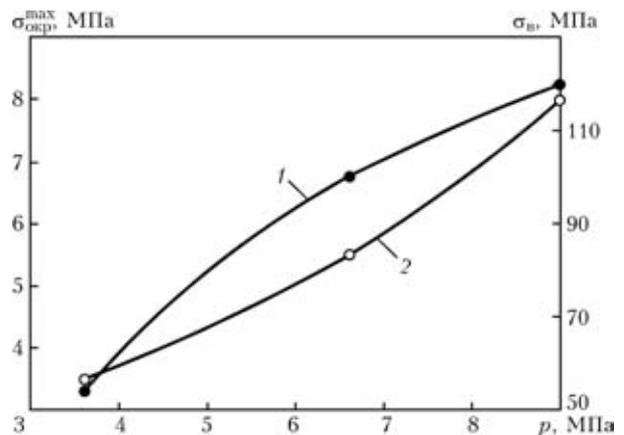


Рис. 8. Влияние давления сжатого воздуха на когезию (1) и остаточные напряжения (2):  $U_d = 32$  В;  $I_{св} = 150$  А;  $L = 100$  мм; толщина покрытия  $\delta = 1$  мм

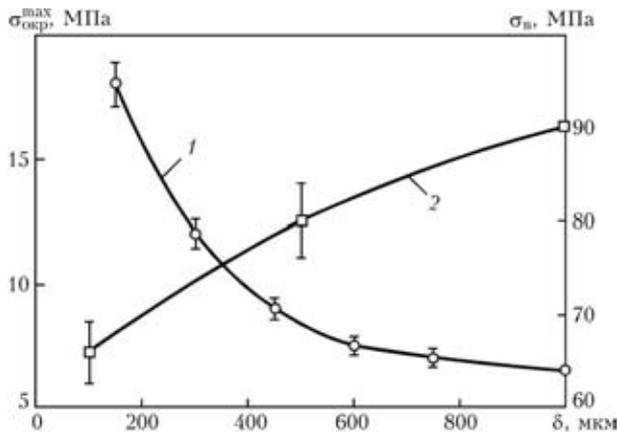


Рис. 9. Влияние толщины  $\delta$  покрытия на остаточные напряжения растяжения (1) и когезию (2):  $I_{св} = 150$  А; остальные параметры режима напыления см. на рис. 5

сжатого воздуха расплав ПП диспергируется интенсивнее и скорость полета расплавленных частиц возрастает, что приводит к увеличению когезионных характеристик покрытия, поскольку скорость остывания мелкодисперсных (приблизительно 50 мкм) капель выше. В то же время покрытия, сформированные из капель большего размера, имеют меньший уровень растягивающих напряжений и релаксация их происходит дольше.

Определено, что остаточные напряжения в покрытии также в значительной мере зависят от толщины  $\delta$  последнего. Так, при  $\delta = 200$  мкм  $\sigma_{окр}^{max} = 18$  МПа, а при  $\delta = 1000$  мкм  $\sigma_{окр}^{max} = 7$  МПа. Поскольку при формировании покрытия каждый последующий напыленный слой имеет более высокую температуру, чем предыдущий, теплопроводность напыленного материала намного меньше, чем подложки. Эти две причины предопределяют, что с увеличением толщины покрытия контактная температура возрастает в момент удара капли о поверхность. Покрытие охлаждается медленнее и полнее проходит релаксация напря-

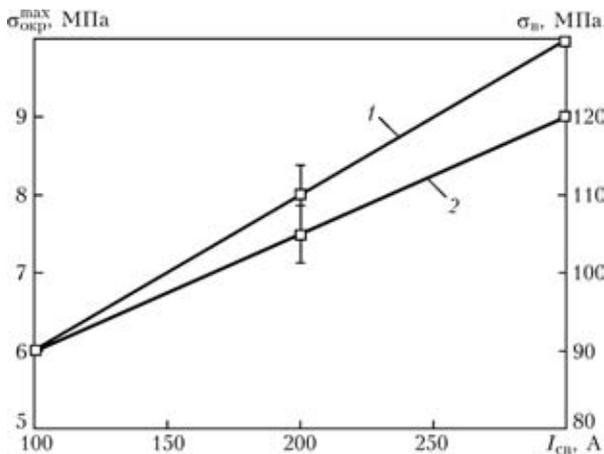


Рис. 10. Влияние сварочного тока  $I_{св}$  на когезию (1) и остаточные напряжения (2) в покрытии:  $U_d = 32$  В;  $p = 0,6$  МПа;  $L = 100$  мм;  $\delta = 1$  мм

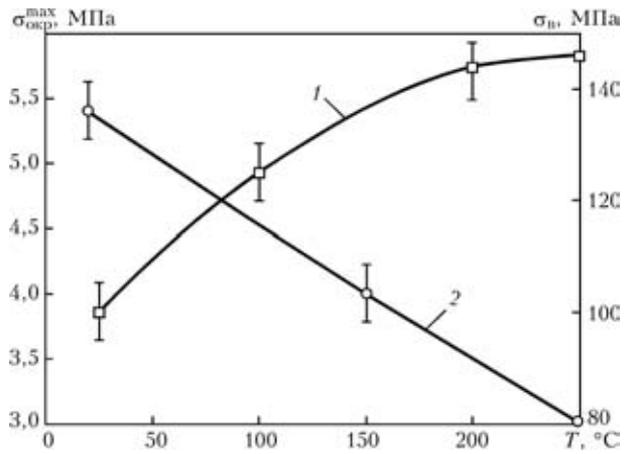


Рис. 11. Влияние температуры  $T$  нагрева подложки на когезию (1) и остаточные напряжения (2) в покрытии:  $I_{св} = 150$  А; остальные параметры режима см. на рис. 10;  $\delta = 1$  мм

жений. За счет этого повышается когезия каждого последующего слоя и, как следствие, увеличивается прочность на разрыв всего покрытия. При  $\delta = 200$  мкм прочность на разрыв составляет  $\sigma_B = 70$  МПа, а при  $\delta = 1000$  мкм  $\sigma_B = 90$  МПа (рис. 9).

При нанесении покрытий на тело вращения происходит циклический нагрев и охлаждение его поверхностных слоев. Частые циклы нагрева и охлаждения способствуют возникновению в покрытиях напряжений меньшего уровня.

Показано, что на остаточные напряжения в покрытиях оказывает влияние также производительность процесса напыления. При более высокой производительности напыления, но одинаковой толщине покрытий в них возникают более значительные остаточные напряжения (рис. 10).

Известно, что самым эффективным способом повышения когезии покрытий и уменьшения в нем уровня остаточных напряжений растяжения является подогрев детали непосредственно перед напылением. Нагрев разрезного кольца до  $250$  °С способствует снижению остаточных напряжений растяжения в покрытии на 50 % и возрастанию его прочности на разрыв от 100 до 144 МПа (рис. 11), поскольку капли металлического расплава на подогретой подложке кристаллизируются и остывают медленнее. В результате релаксация напряжений растяжения протекает полнее, чем в тех случаях, когда капли кристаллизируются на холодной подложке. В то же время нагрев подложки способствует повышению температуры при контакте, возникающем при ударе капли, и обеспечивает повышение адгезии покрытия.

**Влияние предыдущей и заключительной дробеструйной обработок на напряженное состояние в покрытии.** Поскольку технология нанесения электродуговых покрытий включает предварительную дробеструйную обработку поверхности, то после такой обработки определяли рас-

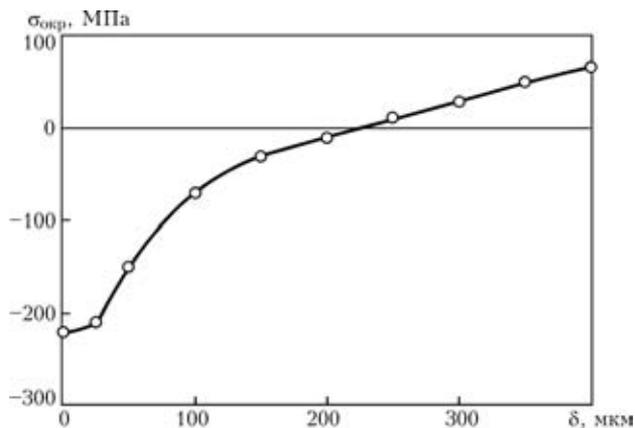


Рис. 12. Распределение напряжений в поверхностном слое в образце из стали Ст3 без покрытия после дробеструйной обработки

пределение напряжений в поверхностных слоях напыленного металла. На рис. 12 показано, что в этих слоях на глубину до 200 мкм формируются напряжения сжатия, максимальные значения которых достигают 200 МПа на поверхности покрытия.

Распределение напряжений по толщине покрытия после напыления представлено на рис. 13 (кривая 1). Как видно из рисунка, по всей его толщине напряжения растяжения одинаковы (приблизительно 12 МПа). На границе раздела покрытие–подложка имеет место резкий скачок напряжений сжатия (около 200 МПа), а затем происходит дальнейшее уменьшение их значений на глубине до 100 мкм с последующим переходом в напряжения растяжения.

Чтобы уменьшить напряжения растяжения в напыленном слое его подвергали дробеструйной обработке корундом (размер частиц 1...2 мм,  $p = 0,6$  МПа, время обработки 30 с). Выявлено, что дробеструйная обработка действует на напыленный слой так же, как на сплошной материал, т. е. после абразивной обработки корундом в покрытии формируются напряжения сжатия, максимальное значение которых составляет 180 МПа на поверхности покрытия (кривая 2 на рис. 13). При принятых режимах влияние такой дробеструйной обработки проявляется при толщине покрытия до 150 мкм, при этом значения напряжений растяжения обработанного и необработанного образцов совпадают. Кроме того, влияние такой обработки распространяется и на переходную зону покрытие–подложка. В покрытии со стороны подложки также формируются напряжения сжатия. Такое перераспределение напряжений приводит

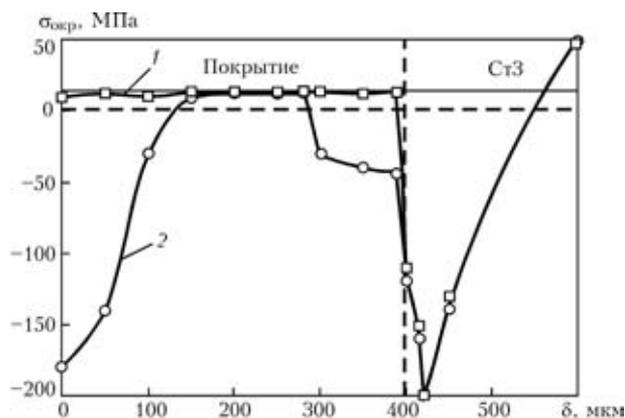


Рис. 13. Распределение напряжений по толщине покрытия из ПП ФМИ-2 без дробеструйной обработки (1) и после нее (2)

к существенному повышению когезии покрытия — прочность последнего на разрыв возрастает со 100 до 135 МПа.

На примере формирования электродуговых покрытий из ПП ФМИ-2 можно сделать вывод, что изучение закономерностей возникновения и перераспределения внутренних напряжений в покрытиях во время их нанесения является важным для понимания природы процессов, которые определяют последующую работоспособность напыленных покрытий. В частности, при охлаждении покрытий сжатым воздухом в них возникают растягивающие напряжения, большие, чем при охлаждении на спокойном воздухе. Повышение давления сжатого воздуха также способствует возрастанию максимальных окружных напряжений растяжения. Значительно уменьшить уровень растягивающих напряжений и повысить прочностные характеристики покрытий можно путем подогрева металлической подложки непосредственно перед напылением и дробеструйной обработки поверхности покрытия после напыления.

1. Скворцов Б. П., Сидоренко Ю. А. Расчет остаточных напряжений в газотермическом напыленном слое // Сб. науч. тр. Белорус. сельскохоз. акад. — Минск, 1984. — С. 28–35.
2. Студент М. М., Піх В. С. Залежність рівня залишкових напружень від складу покриття і режимів електродугової металізації // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 1993. — № 5. — С. 46–52.
3. Похмурський В. І., Студент М. М. Виникнення та перерозподіл внутрішніх напружень в покриттях в процесі їх нанесення // Мат. методи та фізико-механічні поля. — 1998. — № 2. — С. 105–108.

Electric-arc flux-cored wire deposition of coatings results in formation of residual tensile stresses, which may cause initiation of cracks in the coatings or their fracture, especially in finishing operations. It is shown that the coating deposition parameters have a substantial effect both on the kinetics of formation of internal stresses and on their residual level.

Поступила в редакцию 07.06.2005,  
в окончательном варианте 21.02.2006



# СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ СВАРКЕ

Академик **Б. Е. ПАТОН**, **И. И. ЗАРУБА**, д-р техн. наук, **В. В. ДЫМЕНКО**, канд. техн. наук, **А. Ф. ШАТАН**, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описан опыт применения при ручной дуговой сварке переменным током импульсных устройств стабилизации горения дуги, обеспечивающих стабильность процесса сварки, качество формирования сварных швов, экономию электротехнических материалов при изготовлении сварочных трансформаторов и электроэнергии при их эксплуатации.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, сварочный трансформатор, переменный ток, стабильность процесса сварки, экономия электроэнергии, электротехнические материалы

Широкое распространение ручной дуговой сварки покрытыми электродами стимулирует совершенствование материалов и оборудования, предназначенных для этого способа сварки. В части оборудования усовершенствованию подлежат прежде всего источники питания. В настоящее время распространение получили инверторные источники питания как перспективный вид сварочного оборудования. Однако сложность их электрической схемы и высокая стоимость плохо сочетаются с простотой устройства и сравнительной дешевизной держателя и электродов для ручной дуговой сварки. В связи с этим проблемы уменьшения массы и энергопотребления источников питания, создания их портативного варианта важны и актуальны для дуговой сварки. Одними из перспективных, на наш взгляд, направлений является применение импульсного устройства стабилизации горения дуги (УСГД) в сочетании с источниками питания переменного тока — сварочными трансформаторами. УСГД — это прибор, состоящий из последовательно включенных обмотки питания, конденсатора, тиристорного коммутатора и дугового промежутка (сварочной обмотки). Разряд конденсатора при каждом переходе сварочного тока через нуль способствует повторному зажиганию дуги. Для расширения сферы применения переменного сварочного тока существуют следующие возможности:

использование УСГД с серийными сварочными трансформаторами;

снижение за счет УСГД напряжения холостого хода  $U_{х.х}$  трансформаторов;

создание комбинированных трансформаторов с тиристорным управлением и УСГД;

разработка многопостовых сварочных систем переменного тока с УСГД на постах. Рассмотрим эти возможности подробнее.

1. Эффективность подключения УСГД к сварочному трансформатору оценивали [1] путем сравнительных испытаний стандартного сварочного трансформатора типа ТДМ-503 с УСГД и без него. При этом использовали УСГД типа СД-3. С целью обеспечения сварки электродами, предназначенными для постоянного тока, трансформатору типа ТДМ-503 без УСГД создавали наиболее благоприятные условия: несколько повышали напряжение сети, а режим сварки выбирали на первой ступени регулировки тока, когда индукция стали магнитопровода трансформатора не выше допустимой, поскольку первичная и вторичная обмотки трансформатора соединены последовательно (синусоидальная кривая напряжения на его выходе не искажена, как в случае параллельного соединения, т. е. скорость нарастания напряжения после перехода через нуль достаточно велика [2]). Обмотки этого трансформатора имеют малое омическое сопротивление сварочного контура  $R_k$  и его отношение к реактивному  $X_k$  сопротивлению незначительное:

$$\gamma = R_k/X_k \approx 0.$$

Подключение УСГД к сварочному трансформатору привело к улучшению практически всех показателей, приведенных в табл. 1. Это заметно при сварке электродами, предназначенными для постоянного тока: уменьшаются потери металла (коэффициент потерь  $K_n$ ), особенно при сварке электродами с тугоплавкими обмазками; наблюдается тенденция к увеличению коэффициента наплавки  $a_n$  и скорости  $v$  расплавления электрода; существенно увеличивается суммарный показатель Б сварочных свойств трансформатора, определяемый по ГОСТ 25616–83 [3]. Кроме того, применение УСГД позволяет выполнять сварку от-

Таблица 1. Результаты испытаний трансформатора ТДМ-503 с УСГД и без него

Марка электрода	$d_3$ , мм	$I_2$ , А	$U_2$ , В	ТДМ-503У2			
				$K_n$ , %	$a_n$ , г/(А·ч)	$v$ , мм/(А·ч)	Б, баллы
УОНИ-13/55	5	220	24	7,37	8,71	1,59	19
УОНИ-13/45	4	140	22	3,01	8,58	2,38	21
ОЗЛ-8	4	120	25	5,43	12,50	3,26	17
МР-3	4	210	23	10,40	7,73	2,30	20
АНО-4	4	195	24	12,40	8,72	2,67	22
	3	120	25	10,90	8,62	4,67	22

Окончание табл. 1

Марка электрода	ТДМ-503 + СД-3				$\alpha_1$ , %	$\alpha_2$ , %	$\alpha_3$ , %	$\alpha_4$ , %
	$K_{п0}$ , %	$a_{п0}$ , г/(А·ч)	$v_0$ , мм/(А·ч)	Б <sub>0</sub> , баллы				
УОНИ-13/55	5,50	8,90	1,67	22	25	2,2	5	16
УОНИ-13/45	1,88	8,80	2,54	24	38	2,6	7	14
ОЗЛ-8	5,08	12,90	3,95	20	6	3,2	21	18
МР-3	7,44	8,01	2,40	22	29	3,6	4	10
АНО-4	12,30	8,94	2,75	22	1	2,5	3	0
	9,63	8,81	4,93	23	12	2,2	6	4

Примечания. 1.  $d_3$  — диаметр электрода;  $I_2$ ,  $U_2$  — соответственно ток и напряжение вторичной цепи;  $\alpha_1 = [(K_{п0} - K_n)/K_n] \cdot 100$  %;  $\alpha_2 = [(a_{п0} - a_n)/a_n] \cdot 100$  %;  $\alpha_3 = [(v_0 - v)/v] \cdot 100$  %;  $\alpha_4 = [(B_0 - B)/B] \cdot 100$  %; остальные см. в тексте. 2. Опыты проводили при  $U_{x,x} = 83$  В.

ветственных изделий сварщику более низкой квалификации, облегчает его труд, улучшает качество формирования сварного шва, способствует экономии электроэнергии и увеличивает производительность процесса сварки, дает возможность применять более производительные режимы и электроды, увеличить долю времени горения дуги в общем времени работы сварщика. В то же время стоимость УСГД массой 0,4 кг составляет не более 5...7 % средней стоимости трансформатора. Учитывая, что годовой выпуск сварочных трансформаторов составляет много тысяч единиц и уже имеется их значительный парк, можно предположить, какую экономию средств даст применение УСГД.

2. Снижение напряжения холостого хода  $U_{x,x}$  сварочного трансформатора приводит к уменьшению его массогабаритных показателей при изготовлении и расхода электроэнергии при эксплуатации, а также к улучшению безопасности условий работы.

Нельзя, однако, не учитывать, что с  $U_{x,x}$  связаны показатели устойчивости горения дуги, возможность обеспечения таких параметров заданного режима работы, как напряжение дуги и сварочный ток. Начальное зажигание дуги при ручной сварке осуществляется путем закорачивания электрода на изделие; после каждого перехода сварочного тока через нуль для повторного зажигания дуги необходимо обеспечить достаточ-

ное напряжение повторного зажигания  $U_3$ . Чем больше  $U_3$  (для электродов при переменном токе — 40...50 В, а при постоянном — 60...90 В и выше), тем больше должно быть значение  $U_{x,x}$ .

С уменьшением напряжения холостого хода  $U_{x,x}$  напряжение зажигания  $U_3$  дуги при изменении полярности тока, как правило, увеличивается незначительно. Однако при случайных возмущениях по длине дуги, режиму сварки, тепловому состоянию столба дуги (вследствие переноса металла, образования козырька на электроде и пр.)  $U_3$  при низких значениях  $U_{x,x}$  становится больше, чем при высоких, особенно, если значение эффективного потенциала ионизации дугового газа велико. При этом  $U_3$  будет тем больше, чем дольше длится случайное возмущение. Несмотря на то, что средняя частота случайных возмущений намного ниже частоты промышленного переменного тока, эти возмущения могут стать причиной нарушения стабильности процесса сварки. Таким образом, увеличение  $U_{x,x}$  сварочных трансформаторов является средством преодоления случайных повышений значений  $U_3$ , т. е. по существу в источник питания закладывается излишек дорогостоящих активных материалов (электротехнические медь и сталь) на случай появления возмущения, которое может привести к нежелательному росту  $U_3$ . Такой путь повышения стабильности процесса сварки неэкономичен. Исследователи уже давно пытались найти более эффективные решения, из ко-



Таблица 2. Показатели расплавления электрода и его энергетические параметры

№ опыта	Марка электрода (диаметр, мм)	Источник питания	$U_{x,x}$ , В	$I_1$ , А	$U_1$ , В	$P_a$ , кВт·А	$I_2$ , А	$U_2$ , В	$K_p$ , %
1	УОНИ-13/55 (5)	Опытный	36,5	25,0	384	5,20	215	22,0	11,90
2			37,0	23,5	389	4,74	195	22,5	7,18
3			36,5	23,0	385	4,40	185	22,0	2,11
4		СТШ-500	60,0	34,0	384	5,14	200	23,0	3,70
5			60,0	38,5	380	5,60	215	22,5	2,37
6	МР-3 (4)	Опытный	36,5	24,0	384	5,00	195	24,0	11,80
7			37,0	23,0	388	4,44	180	23,0	9,96
8		СТШ-500	60,0	32,7	384	5,22	195	24,0	16,10
9			60,0	36,0	384	5,28	195	24,0	13,20

Окончание табл. 2

№ опыта	Марка электрода (диаметр, мм)	Источник питания	$K_{n1}$ , г/(А <sup>2</sup> ·ч)	$K_{n2}$ , г/(В <sup>1</sup> ·А <sup>1</sup> ·ч)	КПД, %	cos φ	$P_c$ , кВт·А <sub>1</sub>	Кривые на рисунке
1	УОНИ-13/55 (5)	Опытный	8,90	0,200	91,0	0,54	9,60	2
2			9,44	0,201	91,6	0,54	9,14	3
3			10,10	0,211	92,5	0,50	8,86	4
4		СТШ-500	9,95	0,152	89,5	0,39	13,10	1
5			10,00	0,147	86,4	0,38	14,63	1
6	МР-3 (4)	Опытный	7,37	0,156	93,6	0,54	9,22	—
7			7,49	0,156	93,2	0,50	8,92	—
8		СТШ-500	7,32	0,114	89,7	0,41	12,56	—
9			7,38	0,104	88,6	0,38	13,82	—

Примечания.  $I_1$ ,  $U_1$  — ток и напряжение первичной сети;  $P_a$  — активная мощность трансформатора;  $P_c = I_1 U_1$  — мощность, потребляемая из сети; cos φ — коэффициент мощности;  $K_{n1}$  — коэффициент наплавки, характеризующий металлургические свойства электрода;  $K_{n2}$  — коэффициент наплавки, характеризующий затраты энергии, потребляемой из сети для расплавления единицы массы электродного металла.

торых наилучшим является подключение параллельно дуге генератора импульсов, обеспечивающего необходимое значение  $U_3$  при погасании дуги.

В ИЭС им. Е. О. Патона создано новое поколение УСГД, простых, экономичных и надежных в работе. На основе УСГД стало возможным уменьшить значения  $U_{x,x}$  сварочного трансформатора. Проведены исследования [4] по определению допустимого предела понижения значений  $U_{x,x}$  трансформатора при ручной дуговой сварке покрытыми электродами различных марок, в том числе предназначенными для сварки на постоянном токе. Результаты исследований показали [4], что при ручной дуговой сварке на токе до 200 А значение  $U_{x,x}$  трансформатора не должно превышать 37 В, на токе до 300 А  $U_{x,x} < 45$  В, а на токе до 500 А  $U_{x,x} < 55$  В. Между тем,  $U_{x,x}$  сварочных трансформаторов, рассчитанных на все номинальные токи, обычно составляет 60...80 В.

Как известно, изменение рода тока (например, в случае электродов УОНИ-13/45) может отразиться на механических свойствах сварных соединений. Предполагалось, что показатели этих

свойств зависят в определенной мере от формы кривых тока и напряжения на дуге, которые изменяются в зависимости от  $U_{x,x}$ . Проводили опытную сварку стыковых соединений листовой стали СтЗсп с применением трансформатора с понижающимся  $U_{x,x}$ . При этом использовали специальный сварочный трансформатор с жесткой внешней характеристикой, обеспечивающий ступенчатое (через 3...5 В) изменение значений  $U_{x,x}$  от 30 до 80 В. Наклон внешней характеристики регулировали дросселем с подвижным шунтом, последовательно включенным в сварочную цепь. Наряду с опытным образцом трансформатора испытывали стандартный СТШ-500 ( $U_{x,x} = 60$  В), параллельно которому, как и в случае опытного трансформатора, подключали УСГД, рассчитанное на частоту 100 Гц. В опытах главным образом применяли электроды двух типов — УОНИ-13/45 (с основным покрытием) и МР-3 (с рутиловым покрытием). Стабильность процесса сварки оценивали исходя из количества перерывов в горении дуги за время расплавления всего электрода, а также по осциллограммам тока и напряжения на дуге. Ток подбирали в зависимости от

диаметра электрода (несколько меньше рекомендуемого),  $U_{x,x}$  последовательно снижали до появления хотя бы одного обрыва горения дуги и такое значение  $U_{x,x}$  считали критическим, т. е. недопустимым. Для указанных выше, а также других марок электродов диаметром 3, 4 и 5 мм допустимый предел понижения значений  $U_{x,x}$  составлял 36...37 В. При более низком значении  $U_{x,x}$  в горении дуги наблюдались перерывы, количество которых резко возрастало по мере уменьшения  $U_{x,x}$ . Результаты испытаний свидетельствуют о том [4], что механические свойства соединений, полученных при пониженном  $U_{x,x}$ , полностью отвечают требованиям ГОСТ 9467-75 и находятся на уровне типичных показателей для данной марки электрода. Таким образом, в плане механических свойств сварных соединений понижение значений  $U_{x,x}$  трансформатора до 36...37 В вполне допустимо.

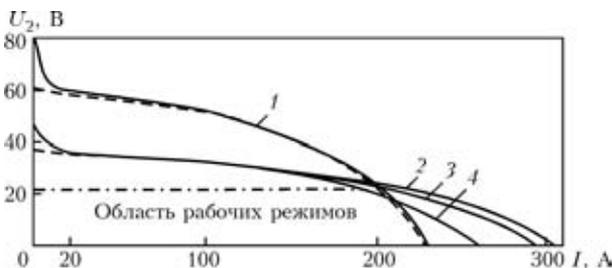
В табл. 2 приведены показатели расплавления электродов и их энергетические параметры. Как следует из табл. 2, значения коэффициента полезного действия (КПД),  $\cos \varphi$  и  $K_{H2}$ , соответствующие рабочим режимам в случае источника питания с низким  $U_{x,x}$ , больше, а потребляемая из сети мощность  $P_c$  меньше, чем у источника с высоким напряжением холостого хода ( $U_{x,x} = 60$  В). Сравним результаты опытов № 3 и 5, а также № 7 и 9 (табл. 2). В первом случае при практически одинаковом  $K_{H1}$  (10,1...10,0 г/(А<sub>2</sub>·ч)) трансформатор с пониженным напряжением холостого хода ( $U_{x,x} = 36,5$  В) из сети потребляет  $P_c = 8,86$  кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub>, а трансформатор с  $U_{x,x} = 60$  В —  $P_c = 14,63$  кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub>, т. е. на 40 % меньше второго. Кроме того, энергия, взятая из сети, в первом случае используется более рационально, чем в случае трансформатора с более высоким значением  $U_{x,x}$ . Так, для наплавки одной и той же массы электродного металла расход активной мощности в опыте № 3 (см. табл. 2) составляет 4,4 кВт, а в опыте № 5 — 5,6 кВт, т. е. на 21 % больше. Коэффициент наплавки  $K_{H2}$  показывает, что с понижением  $U_{x,x}$  масса наплавленного металла на 1 кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub> мощности, потребляемой из первичной

сети, увеличивается на 40 %. Аналогичные данные получены и в опытах № 7 и 9: масса наплавленного металла на 1 кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub> мощности, потребляемой из первичной сети, увеличивается также на 40 %.

В табл. 2 приведены показатели расплавления  $K_H$  и  $K_P$  при сварке электродами УОНИ-13/55 на разных токах. Заметна тенденция к увеличению коэффициента наплавки  $K_H$  и уменьшению коэффициента потерь  $K_P$ , значения которых при токе 185 А не превышают полученные для трансформатора с  $U_{x,x} = 60$  В. Увеличение коэффициента наплавки связано с уменьшением тока сварки и соответственно тока короткого замыкания  $I_{к.з.}$ . Трансформатор с низкими значениями  $U_{x,x}$  имеет более жесткие внешние характеристики в диапазоне рабочих режимов, чем с высоким  $U_{x,x}$ . При этом из трех его внешних характеристик (см. кривые 2-4 на рисунке) для приведенных выше режимов сварки (соответственно 215, 195 и 185 А); кривая 4 наиболее близкая по значению  $I_{к.з.}$  к трансформатору с  $U_{x,x} = 60$  В (кривая 1). Соответственно в этом случае близки также и значения коэффициента потерь металла  $K_P$ . Отсюда можно заключить, что трансформаторы с меньшими значениями  $U_{x,x}$  с УСГД можно использовать для сварки на пониженных режимах.

Таким образом, трансформатор с  $U_{x,x} = 37$  В, снабженный УСГД, работающим на частоте 100 Гц, обеспечивает сварку на токе около 200 А (как переменном, так и постоянном) покрытыми электродами; при этом имеет место экономия материальных и энергетических ресурсов.

На основании выполненных исследований в ИЭС им. Е. О. Патона разработан сварочный трансформатор дуговой комбинированный с УСГД типа ТДК-315 ( $U_{x,x} = 45$  В; номинальный ток  $I_{ном} = 315$  А). Встроенный в него УСГД генерирует за полупериод два импульса. При сравнении его технических характеристик с серийным трансформатором типа ТДМ-317 (табл. 3) видно, что в ТДК-315 ввиду увеличения коэффициента трансформации номинальный первичный ток уменьшается и для создания номинальной мощности дуги  $P_{2ном} = 10,27$  кВт он потребляет из сети мощность  $P_c = 17,6$  кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub>. Для создания такой же мощности дуги трансформатор ТДМ-317 ( $U_{x,x} = 65$  и 80 В) потребляет из сети 22,5 кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub>, т. е. расходует на 4,9 кВ<sub>1</sub>·А<sub>1</sub> (на 22 %) больше энергии, чем ТДК-315. Имея более высокие КПД и  $\cos \varphi$ , предлагаемый источник питания рациональнее использует потребляемую энергию. Каждая тысяча трансформаторов с пониженным  $U_{x,x}$  будет потреблять из сети на 4...5 тыс. кВ·А меньше, чем с  $U_{x,x} = 60$  В и более. В Украине в настоящее время работает много сотен тысяч сварочных трансформаторов и эффект очевиден.



Внешние характеристики трансформаторов в области рабочих режимов: 1 — СТШ-500 ( $U_{x,x} = 60$  В,  $I_2 = 200...215$  А); 2 — опытный трансформатор ( $U_{x,x} = 36$  В,  $I_2 = 215$  А); 3 — то же ( $I_2 = 195$  А); 4 — то же ( $I_2 = 185$  А); сплошные кривые —



Таблица 3. Сравнительные технические и энергетические характеристики типов ТДМ-317 и ТДК-315

Параметр	ТДМ-317	ТДК-315
Напряжение питания сети $U_1$ , В	380	380
Номинальный сварочный ток $I_{2ном}$ , А	315	315
Относительная продолжительность нагрузки ПН при цикле 5 мин, %	60	20; 60
Первичный ток при номинальном сварочном токе $I_{1ном}$ , А	58	42
Диапазон регулирования сварочного тока, А: $I_{2min}$ $I_{2max}$	60 370	100 345
Напряжение холостого хода сварочной обмотки $U_{х.х}$ , В	65; 80	45±4
Номинальное рабочее напряжение $U_{2ном}$ , В	32,6	32,6
Максимальное рабочее напряжение $U_{2max}$ , В	34,8	33,8
Номинальная мощность сварочной дуги, обеспечиваемая трансформаторами $P_{2ном} = I_{2ном}U_{2ном}$ , кВт	10,27	10,27
КПД при номинальном токе $\eta = P_2/P_1$ , %, не менее	83	78
Коэффициент мощности $\cos \varphi = P_1/P_{1ном}$ , не менее	0,55	0,75
Номинальная потребляемая мощность из сети $P_{с.ном} = I_{1ном}U_1$ , кВт·А, не более	22,5	17,6
Масса $Q$ , кг, не более	130	55; 85

ТДК-315 с ПН = 60 % имеет массу не более 85 кг (табл. 3), т. е. экономия электротехнических материалов по сравнению с аналогом ТДМ-317 составляет около 35 %. Кроме того, трансформатор ТДК-315 по своим сварочно-технологическим свойствам выше трансформатора дугового с механическим регулированием типа ТДМ-317, поскольку позволяет выполнять сварку электродами, предназначенными для постоянного тока. Затраты на УСГД окупятся только за счет уменьшения массы ТДК-315.

На основе трансформаторов с пониженным  $U_{х.х}$  и УСГД, рассчитанным на 100 Гц, созданы макеты переносных источников питания для ручной дуговой сварки. В качестве примера можно привести разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона источник питания «Разряд-90» массой 18 кг (табл. 4), который по удельной массе хотя и несколько уступает инверторному источнику питания, но превосходит его по простоте, надежности и дешевизне.

Идея импульсного поджига дуги используется и при разработке ряда оригинальных сварочных источников питания не только переменного, но и постоянного тока [5].

3. Создание тиристорно-управляемых трансформаторов с УСГД — еще один путь повышения экономической эффективности сварочного оборудования. В ИЭС им. Е. О. Патона разработан тиристорно-управляемый дуговой трансформатор ТДТ с УСГД. Он имеет основную сварочную обмотку ( $U_{х.х} = 45...55$  В в зависимости от номинального тока, который составляет 200...500 А) и последовательно включенную дополнительную обмотку и дроссель ( $U_{х.х} = 35...25$  В) для питания дежурной дуги. Дополнительная обмотка вместе с последовательно включенным дросселем шунтируется тиристорным ключом. При закрытых тиристорах дуга запитывается суммарным напряжением основной сварочной и дополнительной обмоток ( $U_{х.х} \leq 80$  В), а ток (25...50 А) такой дежурной дуги определяется в основном значением индук-

Таблица 4. Технические характеристики серийных трансформаторов типа «Разряд» и разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона

Источник питания	$U_1$ , В	$U_{х.х}$ , В	$U_{ном}$ , В	$I_{ном}$ , А	$I_{min}...I_{max}$ , А	ПН, %	$f$ , Гц	$m$	$Q$ , кг
ТДМ-401	380	63...80	36	400	80...460	60	—	2	145
ТДЭ-402	380	80	44	400	80...400	60	—	1	180
ТДМ-315	380	63...80	33	315	60...360	60	—	2	130
«Разряд-315»	380	45	33	315	60...360	60	200	1	90
«Разряд-90»	220	40	24	90	30...95	20	100	1	18

Примечание.  $I_{min}...I_{max}$  — диапазон регулирования сварочного тока;  $f$  — частота следования стабилизирующих импульсов;  $m$  — количество ступеней регулирования тока.

тивного сопротивления дросселя. При открытых тиристорах ток определяется тем номинальным значением, на которое рассчитана сварочная обмотка.

В табл. 5 представлены технические характеристики источников питания переменного тока, рассчитанные на номинальный ток 250 и 315 А и сравниваются разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона трансформаторы «Разряд-250» с ТДТ-251 ( $I_{ном} = 250$  А, ПН = 20 %), а также ТДТ-315 с изготовляемым серийно трансформатором ТДМ-317 ( $I_{ном} = 315$  А, ПН = 60 %). Трансформаторы «Разряд-250» и ТДМ-317 имеют напряжение холостого хода  $U_{x,x} \leq 60$  В, а ТДТ-251 и ТДТ-315 — соответственно  $U_{x,x} = 45$  и 50 В. Из таблицы видно, что трансформатор ТДТ-251, обеспечивая одинаковую с трансформатором «Разряд-250» номинальную мощность сварочной дуги  $P_{2ном} = 7,5$  кВт, потребляет для этого энергии из сети на 30 % меньше, кроме того, его масса на 10 % меньше. Трансформатор ТДТ-315 также потребляет энергии из сети на 30 % меньше, а масса

его на 30 % меньше, чем у ТДМ-317. При этом трансформаторы типа ТДТ имеют один расширенный диапазон регулирования сварочного тока.

Из табл. 6 видно, что трансформатор ТДТ-251, имеющий  $U_{x,x} = 45$  В, на  $1 A_1 \cdot V_1 \cdot ч$  энергии, взятой из сети, расплавит металла на 39 % (электроды АНО-6 диаметром 4 мм) и 27 % (электроды УОНИ-13/45 диаметром 5 мм) больше, чем трансформатор «Разряд-250» с  $U_{x,x} = 60$  В. Для наплавки 1 г металла трансформатор ТДТ-315 ( $U_{x,x} = 50$  В) из сети потребляет на 45 % энергии меньше, чем трансформатор ТДМ-317 ( $U_{x,x} = 80$  В).

Трансформаторы типа ТДТ не только не уступают по своим сварочно-технологическим свойствам лучшим отечественным и зарубежным аналогам, но и превосходят их, поскольку пригодны для сварки электродами с основным покрытием (УОНИ-13/45, ОЗЛ-8 и др.), аргодуговой сварки неплавящимся электродом нержавеющей сталей, алюминия и его сплавов.

4. Разработка многопостовых систем электроснабжения — важная задача повышения экономи-

Таблица 5. Технические характеристики сварочных трансформаторов

Параметр	«Разряд-250»	ТДТ-251	ТДМ-317	ТДТ-315
Напряжение питания сети $U_1$ , В	380	380	380	380
Номинальный сварочный ток $I_{2ном}$ , А	250	250	315	315
Относительная продолжительность нагрузки при цикле 5 мин, %	20	20	60	60
Первичный ток при номинальном сварочном токе $I_{1ном}$ А	43	31	65; 43	42
Диапазон регулирования сварочного тока, А:				
$I_{2min}$	90	25	60	25
$I_{2max}$	255	275	340	375
Напряжение холостого хода сварочной обмотки $U_{x,x}$ , В	60±4	45±4	65; 80	50±4
Ток холостого хода $I_{1x,x}$ , А, не более	4	4	6	4
Номинальное рабочее напряжение $U_{2ном}$ , В	30,0	30,0	32,6	32,6
Максимальное рабочее напряжение $U_{2max}$ , В	30,2	31,0	33,6	35,0
Номинальная мощность сварочной дуги $P_{2ном}$ , обеспечиваемая установкой, кВт	7,5	7,5	10,3	10,3
Максимальная мощность сварочной дуги $P_{2max}$ , обеспечиваемая установкой, кВт	7,7	8,53	11,424	13,125
КПД при номинальном токе $\eta$ , %, не менее	75	83	80	86
Коэффициент мощности $\cos \varphi$ , не менее	0,65	0,84	0,56	0,75
Номинальная потребляемая из сети мощность $P_{1ном}$ , $кВ \cdot A_1$ , не более	15,4	10,8	23,0	16,0
Максимальная мощность $P_{1max}$ потребляемая из сети, $кВ \cdot A$	15,8	12,23	25,5	20,35
Установленная максимальная потребляемая мощность $P_{y,max}$ , $кВ \cdot A$ , не более	17,4	13,5	28,1	22,4
Частота следования импульсов $f$ , Гц	100	100	—	100
Время отключения УСГД на холостом ходу трансформатора $\tau$ , с, не более	2	2	—	2
Габаритные размеры, см:				
длина	35	35	52	50
ширина	31	31	58	45
высота	47	47	80	50
Масса $Q$ , кг, не более	50	45	130	90
Примечание. ПН = $(\tau_{св}/\tau_{ц}) \cdot 100$ %; $U_{2ном} = 20 + 0,04I_{2ном}$ ; $U_{2max} = 20 + 0,04I_{2max}$ ; $P_{2ном} = I_{2ном}U_{2ном}$ ; $P_{2max} = I_{2max}U_{2max}$ ; $\eta = P_{2ном}/P_1$ ; $\cos \varphi = P_1/P_{1ном}$ ; $P_{1ном} = P_{2ном}/\eta \cos \varphi$ ; $P_{1max} = P_{2max}/\eta \cos \varphi$ ; $P_{y,max} = 1,1P_{1max}$				

Таблица 6. Коэффициенты расплавления  $K_n$ ,  $K_p$ ,  $a_n$  и суммарный показатель  $B$  сварочных свойств сравниваемых трансформаторов

Источник питания	Электрод (диаметр, мм)	$U_{х.х.}$ , В	$I_1$ , А	$U_1$ , В	$I_2$ , А	$U_2$ , В	$K_n$ , %	$a_n$ , г/(А $\cdot$ ч)	$K_p$ , г/(В $\cdot$ А $\cdot$ ч)	$B$ , баллы
«Разряд-250»	АНО-6 (4)	60	34	378	190	25	8,40	8,80	0,128	23
	УОНИ-13/45 (5)	60	35	378	188	24	3,70	3,37	0,134	24
ТДТ(УДС)-251	АНО-6 (4)	45	25	374	180	25	7,90	8,22	0,178	22
	УОНИ-13/45 (5)	45	26	372	200	26	3,10	8,91	0,183	20
ТДК-315	АНО-6 (4)	45	24	375	180	25	8,20	9,10	0,188	23
	УОНИ-13/45 (5)	45	24	378	188	23	2,60	9,50	0,197	24
ТДМ-317	АНО-6 (4)	82	45	372	210	24	9,07	7,90	0,100	24

ческой эффективности сварочного производства. При сосредоточении большого количества сварочных источников питания (выпрямителей, трансформаторов) на сравнительно ограниченных площадях предприятий создаются определенные трудности, приводящие к снижению производительности труда и удорожанию сварочных работ. В промышленности широкое применение нашли однопостовые сварочные трансформаторы, рассчитанные на ток 500 А (ТД-500У2, ТДМ-503У2 и др.), которые, как правило, используются для токов до 300...350 А включительно. В случае значительного сосредоточения их в цеховых помещениях имеет место нерациональное использование производственных площадей. Обычно эти источники в течение рабочего дня загружены не более чем на 50 %. Кроме того, работа трансформатора на холостом ходу приводит к большим потерям электроэнергии. Обычно в этих условиях трансформаторы подключаются к питающей сети силовыми кабелями длиной 20...30 м, которые укладываются на сварные конструкции и сборочные приспособления, что нежелательно с точки зрения техники безопасности. При этом трансформаторы подсоединяют через электроштыки к питающей сети 380 В группами и отключение или подключение хотя бы одного из постов ведет к простоям всех остальных.

При сварке на постоянном токе эти недостатки устраняются благодаря использованию многопостовых систем, получивших широкое распространение как при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, так и при механизированной сварке в углекислом газе и под флюсом, например с применением выпрямителя ВМГ-5000 на  $I_{ном} = 5000$  А. Переход от индивидуальных источников питания к многопостовым системам оказался целесообразным в плане общей экономии электроэнергии и производственных площадей, а также уменьшения затрат на амортизацию, обслуживание и ремонт.

К сожалению, преимущества многопостового питания переменного тока на практике пока еще не реализованы. Главной причиной этого является

отсутствие технического решения, обеспечивающего надежную и экономичную работу системы. Использование существующих технических решений для многопостовых систем, работающих на постоянном токе, не дает положительного результата, поскольку регулирование тока на постах с помощью балластного реостата не обеспечивает требуемой устойчивости процесса, надежности зажигания дуги и сопряжено с большими потерями энергии.

В основу технического решения многопостовой системы для сварки на переменном токе, предложенного в ИЭС им. Е. О. Патона [5], положено применение мощного сварочного трансформатора с жесткой характеристикой с подключением к нему сварочных постов, каждый из которых представляет собой компактный регулируемый дроссель, снабженный УСГД. Могут также использоваться УСГД, встроенные в сварочный трансформатор, но при этом должно быть предусмотрено их питание (около 50 В). Наконец, возможно устройство многопостовой системы по принципу выше описанных тиристорно-управляемых трансформаторов с УСГД, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона: общий для постов трансформатор с жесткой внешней характеристикой и индивидуальный на каждом посту тиристорный регулятор с трансформатором дежурной дуги.

Как известно, важным этапом внедрения нового технического решения является его экономическое обоснование. При этом необходимо сопоставление новых решений с существующими.

Для проверки предложенного технического решения в производственных условиях переделке подвергали серийные сварочные трансформаторы ТДФ-1001 и ТДФ-1601 таким образом, чтобы их внешняя статическая характеристика стала близкой к жесткой (максимально сближены между собой первичные и вторичные обмотки, убран шунт и др.). Для этих трансформаторов разработан также регулятор сварочного тока типа ОИ-125 УХЛЗ, который обслуживает четыре поста и состоит из четырех дросселей с плавно регулируемым (посредством магнитного шунта) индуктивным соп-

ротивлением. К каждому дросселю подключено УСГД.

В ИЭС им. Е. О. Патона изготовлены макеты трансформаторов ТДЭМ-1200У4 и ТДЭМ-3000У4 с жесткими внешними характеристиками, рассчитанные на ток 1200 и 3000 А. Сопоставим многопостовые системы питания переменного тока на 48 постов и на 4 поста, построенные на основе источников, приведенных в табл. 7.

Первая система (базовый вариант) формируется автономными сварочными трансформаторами типа ТДМ-503 (48 шт.), относительную массу которого примем за  $Q_{н1}/Q_б = 1$  (где  $Q_н$  — масса новой постовой системы;  $Q_б$  — базового варианта). Вторая система формируется трансформаторами ТДФ-1601 (2 шт.) и 12 регуляторами сварочного тока ОИ-125УХЛЗ, каждый из которых состоит из четырех дросселей (всего 48 сварочных постов). Относительная масса этого варианта  $Q_{н2}/Q_б = 0,6$ , т. е. на 40 % меньше, чем в базовом. Третья система формируется трансформаторами ТДЭМ-1201 (3 шт.) и 48 регуляторами сварочного тока (всего 48 сварочных постов). Относительная масса  $Q_{н3}/Q_б = 0,59$ , т. е. общая масса этой системы на 41 % меньше, чем в базовом варианте. Четвертая система формируется трансформатором ТДЭМ-3001 (1 шт.) и 48 регуляторами сварочного тока. Относительная масса  $Q_{н4}/Q_б = 0,58$ , т. е. общая масса этой системы на 42 % меньше, чем в базовом варианте. Пятая система формируется трансформатором ТДЭМ-501 (1 шт.) и четырьмя регуляторами сварочного тока.

Относительная масса  $Q_{н5}/Q_б = 0,66$ , т. е. общая масса этой системы на 34 % меньше, чем в базовом варианте. В третьем–пятом вариантах принцип регулировки режима сварки такой же, как и у тиристорно-регулируемого сварочного трансформатора (см. п. 3 настоящей работы) типа ТДГ — каждый пост состоит из двух дросселей и тиристорного регулятора. Таким образом, каждая из предлагаемых многопостовых систем на 48 постов расходует приблизительно на 40 %, а на четыре поста — на 34 % меньше дефицитных электротехнических материалов, чем в базовом варианте.

С точки зрения экономии затрат электроэнергии сравним сначала четырехпостовую систему ТДЭМ-501 с четырьмя трансформаторами ТДМ-503 (базовый вариант). В табл. 8 представлены четыре варианта режимов работы сварочных постов (см. п. 1–4) с одинаковым коэффициентом спроса  $\beta = 0,6$ . Этим режимам соответствуют определенные значения мощности  $P_с$ , потребляемой из сети, а также потери мощностей при сварке  $P'$  и на холостом ходу  $P'_{х.х.}$ . В п. 5 представлены все расходуемые мощности и потери мощности системами на четырех постах.

В табл. 9 показана доля общих потерь от всей энергии, потребляемой системой при использовании номинальной мощности четырех постов. Больше всего энергии теряется в базовом варианте (16,6 %). Четырехпостовая система на базе ТДЭМ-501 теряет только 9,8 % и берет из сети на 41 % меньше энергии, а относительные потери на 64 %

Таблица 7. Технические характеристики источников питания для многопостовых систем

Параметр	ТДМ-503	ТДФ-1601	ТДЭМ-1201	ТДЭМ-3001	ТДЭМ-501
Номинальный сварочный ток $I_{ном}$ , А	500	1600	1200	3000	500
Номинальное рабочее напряжение $U_{ном}$ , В	40	70	60	70	40
ПН, %	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0
Напряжение холостого хода $U_{х.х.}$ , В	65 (80)	75	65	75	55
КПД	0,86	0,88	0,92	0,92	0,90
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,65	0,90	0,92	0,92	0,90
Потери мощности на холостом ходу $P_{х.х.}$ , кВт	1,5	2,0	2,0	2,0	1,0
Номинальная потребляемая мощность $P_{ном}$ , кВт·А	21,47	141,4	85,0	248,0	24,7
Количество источников питания на 48 постах $N$ , шт.	48/48	2/48	3/48	1/48	1/4
Площадь, занимаемая многопостовой системой $S_с$ , м <sup>2</sup>	57,4 (1,2)	16 (0,33)	12 (0,25)	9 (0,19)	1,44 (0,36)
Масса одного источника питания $Q_п$ , кг	170	1000	800	2300	250
Масса одного дросселя $Q_д$ , кг, не более	—	60	50	50	50
Масса многопостовой системы, кг, не более	8160 (170)	4880 (102)	4800 (100)	4700 (98)	450 (112)
Относительная масса системы $Q_н/Q_б$	1,00	0,60	0,59	0,58	0,66
Относительная оптовая стоимость 48 постов (или четыре поста для ТДЭМ-500) $\Pi_н/\Pi_б$	1,00	0,59	0,60	0,40	0,70

Примечания. 1.  $\Pi$  — новая цена многопостовой системы;  $\Pi_б$  — то же базовый; 2. В скобках указаны площадь и масса, рассчитанные на один пост; номинальная мощность одного источника питания  $P_{ном} = (U_{ном} I_{ном} ПН) / (\eta \cos \varphi)$ .



Таблица 8. Режимы работы четырехпостовой системы

№ технологического варианта	Количество $n$ постов, шт.	Режим работы постов ( $\beta = 0,6$ )	Мощность	Мощность трансформатора, кВт	
				ТДМ-503	ТДЭМ-501
1	1	$I = 500 \text{ A}$ $U = 40 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	21,47 3,00 0,60	14,81 1,48 0
2	1	$I = 315 \text{ A}$ $U = 31,6 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	10,7 1,5 0,6	7,40 0,74 0
3	1	$I = 250 \text{ A}$ $U = 30 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	8,05 1,13 0,60	5,60 0,56 0
4	1	$I = 160 \text{ A}$ $U = 26,4 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	4,53 0,63 0,60	3,13 0,31 0
5	4	—	$P_{\text{ном}}$ $P_{\text{ном}} = P' + P'_{\text{х.х}}$ $P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} + P' + P'_{\text{х.х}}$ $P_3$	44,75 8,66 53,41 85,88	30,94 (7,735) 3,10 (0,775) 31,52 (7,850) 24,7

Таблица 9. Сравнительные затраты и потери энергии четырехпостовой системы

Источник питания	$\frac{P_6 - P_{\text{ном}}}{P_6} \cdot 100\%$	$\frac{P' + P'_{\text{х.х}}}{P} \cdot 100\%$	$\frac{P_{\text{о.лб}} - P_{\text{ном}}}{P_{\text{о.п.ном}}} \cdot 100\%$
ТДМ-503	—	16,6	—
ТДЭМ-501	41	9,8	64

Примечание.  $P_6$  — мощность базовая.

меньше, чем в системе, состоящей из четырех трансформаторов ТДМ-503.

В табл. 10 представлены четыре варианта режима работы сварочных постов: (п. 1–4) много-

постовых систем (48 постов) на основе трансформаторов различных типов: базовый вариант — ТДМ-503 (48 шт.), а также ТДФ-1601 (2 шт.), ТДЭМ-1201 (3 шт.) и ТДЭМ-3001 (1 шт.) с разными коэффициентами спроса  $\beta$ . Этим режимам соответствуют различные мощности как потребляемые из сети  $P_c$ , так и теряемые при сварке  $P'$  и на холостом ходу  $P'_{\text{х.х}}$ . В п. 5 представлены суммарные расходуемые и теряемые мощности 48 постами.

В табл. 11 приведена доля общих потерь системы от всей энергии, взятой ею из сети при пот-

Таблица 10. Режимы работы многопостовых систем (48 постов)

№ технологического варианта	Количество $n$ постов, шт.	Режим работы постов	Мощности	Мощность и потери мощности трансформатора, кВт			
				ТДМ-503	ТДФ-1601	ТДЭМ-1201	ТДЭМ-3001
1	8	$\beta = 0,45$ $I = 500 \text{ A}$ $U = 40 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	129 18,0 6,6	91 11,0 0	85 6,8 0	85 6,8 0
2	16	$\beta = 0,50$ $I = 250 \text{ A}$ $U = 30 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	107 15 12	76 9,1 0	71 5,7 0	71 5,7 0
3	16	$\beta = 0,75$ $I = 200 \text{ A}$ $U = 28 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	120 16,8 6	85 10,2 0	79 6,3 0	79 6,3 0
4	8	$\beta = 0,40$ $I = 150 \text{ A}$ $U = 26 \text{ В}$	$P_{\text{ном}}$ $P'$ $P'_{\text{х.х}}$	22 3,00 7,2	16 1,90 0	14 1,12 0	14 1,12 0
5	48	—	$P_{\text{ном}}$ $P_{\text{ном}} = P' + P'_{\text{х.х}}$ $P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} + P' + P'_{\text{х.х}}$ $P_3$	378 85 463 1031	268 (5,58) 32 (0,67) 300 (6,25) 283	249 (5,19) 20 (0,42) 269 (5,60) 255	249 (5,19) 20 (0,42) 269 (5,60) 248

Примечание. Потребляемая из сети мощность  $P_c = P_{\text{ном}} + P' + P_{\text{х.х}}$ , из которой:  $P_c = (UI\beta)/(\eta \cos \varphi)$  — расходуется на полезную номинальную нагрузку,  $P' = P_c (1 - \eta)$  — потери мощности при сварке,  $P'_{\text{х.х}} = P_{\text{х.х}} n (1 - \beta)$  — потери мощности на холостом ходу;  $P_{\text{о.п}}$  — общие потери;  $P_3 = P_{\text{ном}} N$  — заявленная мощность.

Таблица 11. Сравнительные затраты и потери энергии системой из 48 постов

Источник питания	$\frac{P_6 - P_{ном}}{P_6} \cdot 100\%$	$\frac{P' + P'_{x.x}}{P} \cdot 100\%$	$\frac{P_{о.п.ном} - P_{о.п.ном}}{P_{о.п.ном}} \cdot 100\%$
ГДМ-503	—	18,4	—
ГДЭМ-501	35	10,7	62
ГДФ-1601	42	7,4	76
ГДЭМ-3001	42	7,4	76

реблении номинальной мощности 48 постами. Больше всего (18,4 %) энергии теряется в базовом варианте. В многопостовых системах на базе ГДЭМ доля общих потерь составляет 7,4 %, они берут из сети на 42 % энергии меньше, а относительные потери одного поста в системе на 76 % меньше, чем у базового источника.

В табл. 8 (система из четырех постов) и 10 (система из 48 постов) представлены также мощность, потребляемая из сети,  $P_c$ , и общие потери  $P_{о.п.}$  мощности в расчете на один сварочный пост (см. показатели в скобках в табл. 7, 8 и 10). Сравнение данных этих таблиц показывает следующее: чем на большее количество постов рассчитана многопостовая система, тем больше ее энергетическая эффективность. Энергия, потребляемая одним постом четырехпостовой системы по сравнению с базовым вариантом, уменьшается на 41 %, а ее потери — на 64 % в случае многопостовой системы, состоящей из 48 постов, эти же показатели составляют соответственно 45 и 76 %. Как видно из табл. 7, площадь, занимаемая одним сварочным постом четырехпостовой системы (значения в скобках), уменьшается более чем в 3 раза, а в системе из 48 постов — от 3,6 до 6,3 раз.

Таким образом, использование многопостовых систем питания приводит к экономии электротехнических материалов при их изготовлении на 33...40 %, а электроэнергии при эксплуатации на 35...40 %. Они в 3...6 раз занимают меньше производственных площадей и в 2...3 раза уменьшаются затраты на амортизацию, обслуживание и ремонт оборудования.

Многопостовые системы целесообразно устанавливать на крупных предприятиях по производству металлоконструкций, в цехах которых расположено большое количество сварочных постов. Приведенные ориентировочные расчеты показали,

что разработка многопостовых систем окупится для заказчика в течение 1–2 лет.

Необходимо отметить, что при расчете экономического эффекта применения многопостовых систем следует учитывать и другие положительные факторы, например, возможность монтажа на каждом сварочном посту УСГД делает такой пост универсальным: можно осуществлять сварку электродами как на постоянном, так и переменном токе, а также неплавящимся электродом нержавеющей сталей, алюминия и его сплавов. Кроме того, УСГД облегчает труд сварщика, повышает качество сварки, увеличивает долю времени горения дуги в общем времени сварки.

### Выводы

1. Применение в сварочных трансформаторах УСГД, разработанных ИЭС им. Е. О. Патона, позволяет снизить напряжение холостого хода трансформатора, что экономит электроэнергию на 30...40 % и уменьшает расход электротехнических материалов на 30 %.

2. Система многопостового питания, представляющая собой мощный трансформатор с жесткой внешней характеристикой, питающий постовые устройства, состоящие из регулируемого дросселя и УСГД, экономит электроэнергию в 2...4 раза (в зависимости от количества сварочных постов) по сравнению с многопостовой системой постоянного тока, при этом требуется в 2...10 раз меньше производственных площадей для размещения системы и в 2...3 раза уменьшаются затраты на амортизацию, обслуживание и ремонт оборудования.

1. Заруба И. И., Дыменко В. В., Болотко В. И. Сварочные трансформаторы с устройствами стабилизации горения дуги // Автомат. сварка. — 1989. — № 10. — С. 46–51.
2. Пентегов И. В., Дыменко В. В., Рымар С. В. Влияние насыщения магнитной системы сварочного трансформатора на устойчивость горения дуги переменного тока // Там же. — 1995. — № 7. — С. 35–40.
3. ГОСТ 25616–83. Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств. — Введ. с 01.01.84 по 01.01.89.
4. Заруба И. И., Дыменко В. В., Болотко В. И. Применение стабилизаторов горения дуги с целью понижения напряжения холостого хода трансформаторов для ручной дуговой сварки // Автомат. сварка. — 1982. — № 10. — С. 27–31.
5. Заруба И. И., Дыменко В. В., Кухарский В. Я. Применение многопостовых источников переменного тока для дуговой сварки // Там же. — 1991. — № 2. — С. 59–63.

Experience of employing pulsed devices for arc stabilisation, ensuring a high stability of the process and quality of weld formation, and making it possible to save power in operation and electrotechnical materials in manufacture of welding transformers, is described.

Поступила в редакцию 17.01.2006



## ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ\*

**Л. В. ЧЕКОТИЛО, А. В. БУЛАТ**, кандидаты техн. наук,  
**Я. Б. ЛЕБЕДЕВИЧ, А. В. ЗВЯГИНЦЕВА**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),  
**Ю. Б. ДАНИЛОВ**, канд. техн. наук, **В. А. КАЧАНОВ**, канд. хим. наук, **А. И. КАБАШНЫЙ, С. М. ИВАНУНА,**  
**Т. Э. ШЕПЕЛЬ, Е. К. ГВОЗДИКОВА, Ю. В. КОЗИН**, инженеры  
(ОАО «Украинский науч.-исслед. и конструкторский ин-т хим. машиностроения», г. Харьков)

Изложены особенности применения ремонтной технологии крупногабаритного колонного оборудования нефтеперерабатывающих производств из двухслойной стали СтЗсп + 08Х13, длительно эксплуатируемого при температуре до 300...400 °С.

*Ключевые слова: колонны, двухслойные стали, трещины, твердость, коррозия, обследование колонн, дефекты, разделка дефектов, сварка, наплавка, испытания, продление срока эксплуатации*

Для изготовления корпусов колонн, емкостей и другого оборудования нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) широко применяются двухслойные стали марок СтЗсп, 09Г2С, 16ГС, 20К, 17ГС с плакирующим слоем из стали 08Х13 [1–7].

Корпусы колонн и отдельных емкостей НПЗ, в состав которых входит цилиндрическая часть, верхнее и нижнее днище, патрубки, элементы лазов, изготовленные из указанных двухслойных сталей, эксплуатируются в основном при температурах до 360...400 °С под небольшим давлением до 0,2...0,5 МПа или в условиях низкого вакуума 20...60 мм рт. ст.

Колонное оборудование НПЗ при переработке низкосернистых сортов нефти, изготовленное из указанных марок сталей, эксплуатировалось в Украине с 1960 г. без особых сложностей в отношении ремонтов. Ситуация изменилась при переходе нефти с повышенным и высоким содержанием сероводорода H<sub>2</sub>S. Наличие последнего в перерабатываемом продукте увеличивает степень и скорость деградации стали, причем деградации подвержены как углеродистые, так и нержавеющие высоколегированные стали [8–10].

Типичными дефектами, которые при определенных условиях могут образоваться в корпусах колонн и емкостей в процессе многолетней экс-

плуатации по переработке нефти, являются коррозионное сероводородное растрескивание сварных швов и коррозионностойкого слоя 08Х13, язвенно-точечная коррозия плакирующего слоя и повышение твердости плакирующего и основного слоев двухслойной стали [8, 9]. Общая коррозия плакирующего слоя незначительна. Так, в колонне К-2 из стали 16ГС+08Х13 толщиной 16 мм, эксплуатировавшейся при температуре 360 → 100 °С (соответственно низ и верх колонны) в течение 38 лет, толщина коррозионностойкого слоя 08Х13 уменьшилась на 0,2...0,5 мм (0,005...0,013 мм/год). Язвенно-точечная коррозия корпусов из указанных сталей проявляется преимущественно в виде мелкой сыпи диаметром до 0,5...1,0 мм и глубиной до 0,2...0,5 мм.

При несоблюдении установленной технологии сварки в корпусах колонного оборудования могут образовываться такие сварочные дефекты, как подрезы, несплавления, непровары, поры, наплывы, при использовании стабильноаустенитных сварочных материалов — кристаллизационные трещины в швах и ремонтных наплавках. В процессе длительной эксплуатации колонного оборудования в основном и плакирующем слоях стали происходят структурные изменения. Данные табл. 1 и металлографических исследований на примере стали 16ГС+08Х13, вырезанной из колонны К-2 по переработке нефти после 38-летней эксплуатации, свидетельствуют о значительной диффузии углерода из стали 16ГС в коррозионностойкий слой. При этом в зоне соединения слоев в стали 16ГС образуется прослойка, обедненная углеродом, а в приграничной области в стали 08Х13 концентрация углерода увеличивается. Зональное повышение углерода в стали 08Х13 приводит к коагуляции карбидов по границам зерен,

\* В работах принимали участие А. В. Яровицын, С. А. Супрун, В. А. Пестов (специалисты ИЭС им. Е. О. Патона), А. В. Земляной, В. Н. Беспалый, А. Ф. Яковлев, С. В. Киричков (АО «Укртатнафта»), Е. А. Давыдов, В. П. Дядин (ООО «Тест»); В. М. Долинский, Д. Г. Рязунов, В. Г. Новик (ООО «Энергосервис»).

Таблица 1. Химический состав металла в зоне соединения слоев двухслойной стали 16ГС+08Х13 после 38-летней эксплуатации колонны по переработке нефти при температурах 360 → 100 °С

Объект исследования	Химический состав, мас. %				
	Si	Cr	Mn	Fe	C
Обезуглерожённая зона в основном слое 16ГС	0,766	0,078	1,146	98,034	0,002
Науглерожённая зона в коррозионностойком слое 08Х13	0,485	11,928	0,468	86,364	0,755
Коррозионностойкий слой 08Х13	0,461	12,118	0,421	86,962	0,039

образованию мартенсита, повышению твердости плакирующего слоя. В отдельных местах корпуса этой колонны твердость плакирующего слоя повысилась до *НВ* 304...320. Аналогичная ситуация обнаружена также при исследовании образцов двухслойной стали СтЗсп+08Х13 толщиной 30 и 10 мм, вырезанных из колонны К-5 установки АВТ по первичной переработке нефти и К-5 по очистке нефти от серы после 38-летней эксплуатации. Зона соединения слоев в исходной стали 09Г2С+08Х13, произведенной с использованием метода электрошлаковой наплавки, практически в 2 раза шире, чем пакетным методом.

При переработке сероводородсодержащей нефти повышения содержания серы в металле корпусов колонн, сварных швах и наплавках не происходит. В результате содержание сульфидов марганца, склонных к разбуханию при контакте с водородом в ходе эксплуатации, не увеличивается.

Согласно принятым положениям для колонного оборудования, действующим в нефтеперерабатывающей отрасли [5–7], твердость плакирующего слоя 08Х13 рекомендуется ограничивать значением *НВ* 220. Такие требования по твердости обеспечиваются в исходной стали, которая подвергается термической обработке [1], и новом оборудовании, изготовленном из этой стали. В ходе эксплуатации происходит повышение твердости плакирующего слоя 08Х13 выше *НВ* 220 [6–9] (в исследованных случаях вплоть до *НВ* 400...600) вследствие образования мартенсита. Сталь 08Х13 в зависимости от содержания хрома и углерода и соотношения этих элементов является метастабильной по структуре (ферритной и ферритно-мартенситной) и соответственно по свойствам [11]. Повышение твердости обоих слоев двухслойных сталей и образование трещин может происходить также в результате насыщения их водородом в процессе эксплуатации [9, 10, 12–14].

Сравнительный анализ коррозионного состояния колонн К-2, К-5, К-6, К-12/1, К-12/2 и емкости колонного типа Е-23 установки АВТ АО «Укртатнафта» за последние 6 лет и снятых с эксплуатации колонн К-5 по очистке нефти от серы и К-2 по первичной переработке нефти после 38-летней эксплуатации показал, что отмеченные выше дефекты в корпусах не являются массовыми.

Образуются они преимущественно в сварных швах и околошовной зоне (ОШЗ) отдельных сварных швов и ремонтных наплавки. Так, в колонне К-2 установки АВТ за последние 2 года (плановые остановки и ремонты производятся через 2 года) при твердости плакирующего слоя 08Х13 до *НВ* 250 образовались трещины в ОШЗ сварных швов в пяти местах и трещина в шве одного патрубка, в колонне К-5 при твердости плакирующих наплавки на швах до *НВ* 380 — в восьми кольцевых, вертикальных и меридиональных швах (при площади внутренней поверхности указанных колонн около 507 и 700 м<sup>2</sup>). На участках длиной 15...650 мм длина трещин в колонне К-2 составляет 3...15 мм, глубина до 5 мм, шаг между трещинами 5...15 мм, в К-5 длина трещин 140...400 мм, глубина до 6 мм.

В колоннах К-6 при твердости отдельных участков плакирующего слоя и наплавки на швах до *НВ* 250...300, К-12/1 до *НВ* 177...391, К-12/2 — до *НВ* 180...363 и емкости Е-23 до *НВ* 167...366 трещины в сварных швах и плакирующем слое обнаружены не были. Повышение твердости плакирующего слоя свыше *НВ* 220 может вызвать образование трещин в корпусах колонн, но не является однозначно установленным критерием браковочного признака колонного оборудования НПЗ всех типов, как это указано в нормативных документах [5–7].

Металл основного (несущего) слоя корпусов колонн деградирует в меньшей степени, чем плакирующий слой 08Х13. Твердость основного слоя из сталей СтЗсп, 09Г2С, 16ГС повышается в процессе многолетней эксплуатации незначительно и, как показал анализ за последние шесть лет, за исключением редких случаев (2005 г., колонна К-12/1 в точках 30 и 31 — *НВ* 286 и 225), не превышает нормативного уровня *НВ* 190. Механические свойства несущего слоя, по которому производится оценка прочности корпусов колонн, находится на достаточно высоком уровне (табл. 2).

Работоспособность корпусов колонн зависит от множества факторов и в значительной мере от тщательности обследования коррозионного состояния аппаратов и квалифицированного выполнения ремонтных работ. Важным звеном продления срока эксплуатации колонного оборудова-



Таблица 2. Механические свойства образцов двухслойных сталей Ст3+08Х13 и 16ГС+08Х13, вырезанных из корпусов колонн после 38-летней эксплуатации

Марка стали	Тип и размеры сечения образцов	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$KCU^{+20^\circ C}$ , Дж/см <sup>2</sup>	
					основного (несущего) слоя	плакирующего слоя 08Х13
Сталь Ст3сп+08Х13 толщиной 30 мм, колонна К-5 установки АВТ						
Ст3сп (ГОСТ 380–60)	Цилиндрические (ГОСТ 1497–84) диаметром 5,8 мм	423,5	219,5	52,0	166,3	—
		423,7	189,2	51,0	243,8	
		425,7	215,4	56,0	257,5	
08Х13 (ЭИ496)	Плоские (ГОСТ 1497–84) толщиной 4,5 мм	1052,7	881,7	10,9	—	101,4
		1055,8	881,4	10,4	—	94,3
Требования ГОСТ 380–60 к листовой стали Ст3сп толщиной не менее 26...40 мм		380	240,0	25,0	50,0	—
		490				
Сталь 16ГС+08Х13 толщиной 16 мм, колонна К-2, снятая с эксплуатации						
16ГС	Плоские (ГОСТ 1497–84) без удаления плакирующего слоя; 16×18 мм	556,0	373,3	12,4	150,1	—
		572,0	417,5	15,0	144,2	
		555,9	369,5	11,8	158,9	
Требования ГОСТ 19282–73 к листовой стали 16ГС толщиной 10...20 мм		480,0	315,0	21,0	59,0	—

ния НПЗ является разработка технологий ремонта сварных соединений и плакирующего слоя способами сварки и наплавки.

Заварку дефектов в основном слое колонн производили электродами типа Э-42А марки УОНИИ-13/45 в условиях и по режимам, предусмотренным нормативными документами отрасли [3–7]. Учитывая, что к коррозионностойкому слою 08Х13 в указанных колоннах не предъявляются требования против межкристаллитной коррозии и колонны эксплуатируются при температурах не выше 360 °С, для ремонта слоя 08Х13 и плакирования низкоуглеродистых швов выбрана композиция металла типа Х25Н13 — электроды типа Э-10Х25Н13Г2 марки АНВ-70Б [14] и сварочная проволока марки Св-07Х25Н13. Наплавку проволокой производили полуавтоматом в аргоне с добавкой кислорода. Электроды АНВ-70Б, разработанные Институтом электросварки с использованием отечественных сырьевых материалов для покрытия, изготавливаются ГП «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона». При сварке электродами АНВ-70Б обеспечивается стабильное горение дуги, легкое повторное зажигание дуги, хорошая отделимость шлаковой корки, равномерное формирование сварных швов и наплавки во всех пространственных положениях. Химический состав и механические свойства наплавленного металла электродами АНВ-70Б соответствуют требованиям ГОСТ 10052–75, содержание ферритной фазы в наплавленном металле находится в пределах 6...10 %.

При разработке ремонтной технологии сваривали жесткие образцы из сталей 16ГС+08Х13 и Ст3сп+08Х13 толщиной 10,16 и 30 мм с уровнем твердости плакирующего слоя  $HV$  250...380, вырезанные из колонн после 38-летней эксплуатации

в виде «лодочек» (рис. 1), стыковые (рис. 2) и пробы по О. И. Стеклову диаметром 130 мм с кольцевым швом диаметром 40 мм (табл. 3). Для сравнения производили сварку и наплавку образцов из стали 09Г2С+08Х13 толщиной 10 и 20 мм в состоянии поставки (без эксплуатации). Жесткость образцов обеспечивали путем приварки их по контуру к толстым плитам. Наплавку плакирующего слоя производили электродами АНВ-70Б и проволокой Св-07Х25Н13 в нижнем и пространственных положениях применительно к ремонту корпусов колонн. Наплавкой образцов типа «лодочек» имитировали случаи ремонта плакирующего слоя колонн, сваркой стыков — ремонт возможных трещин в сварных швах и плакирующем слое (с переходом в углеродистый шов или основной слой). Наплавку плакирующего слоя электродами АНВ-70Б производили в два слоя, проволокой Св-07Х25Н13 — в три с соблюдением

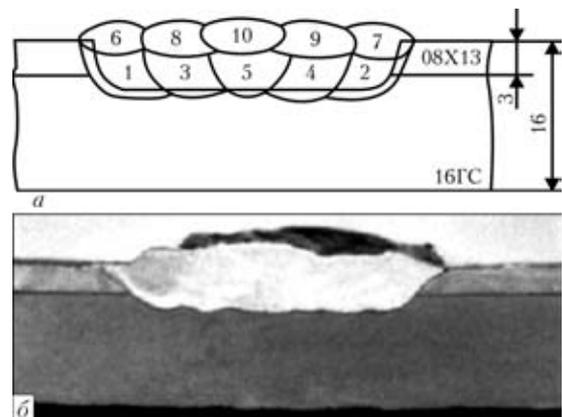


Рис. 1. Плакирующий наплавленный слой 08Х13 на стали 16ГС+08Х13: а — форма разделки дефекта и последовательность наплавки электродами АНВ-70Б переходного (1-5) и плакирующего (6-10) слоев; б — макроструктура металла наплавки, выполненной в вертикальном положении

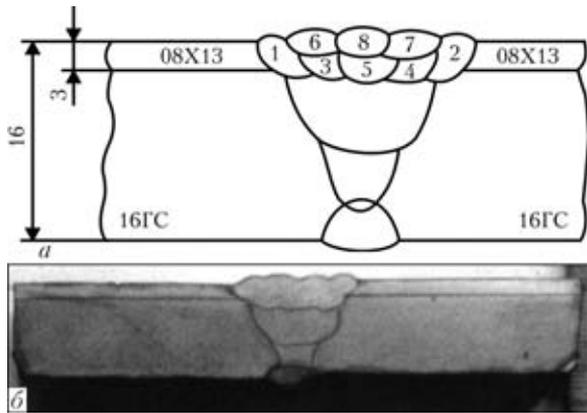


Рис. 2. Сварной шов с трещиной со стороны плакирующего слоя из стали 16ГC+08X13: а — форма разделки шва в зоне трещин и последовательность наплавки валиков переходного (1-5) и плакирующего (6-8) слоев электродами АНВ-70Б; б — макроструктура металла отремонтированного шва в поперечном сечении

общепринятых правил сварки двухслойных сталей (рис. 1, 2). Разбавление наплавленного металла углеродистым не должно быть более 30 %. При этом обеспечивается стабильная аустенитно-фер-

ритная структура металла переходной зоны и высокая гарантия отсутствия кристаллизационных трещин. Твердость наплавленного металла электродами АНВ-70Б (рис. 3) и проволокой Св-07Х25Н13 при соблюдении указанной технологии находится в пределах 1500...2000 МПа (*НВ* 150...200), что ниже твердости коррозионностойкого слоя 08Х13 эксплуатирующихся колонн. Несмотря на высокую жесткость сварных образцов из стали 16ГC+08Х13 и Ст3сп+08Х13 после многолетней эксплуатации с повышенным уровнем твердости *НВ* 250...380, трещины в наплавленном металле электродами АНВ-70Б и проволокой Св-07Х25Н13 без подогрева обнаружены не были.

Учитывая, что твердость плакирующего слоя ремонтируемых колонн выше нормированного значения *НВ* 220, наличие мартенсита в слое 08Х13, повышенную жесткость рядов узлов колонн, была проверена необходимость подогрева и термической обработки свариваемых кромок наплаваемой зоны (табл. 3 и 4) в ходе ремонта.

При наличии в плакирующем слое мартенсита (в рассматриваемых случаях содержание его в слое 08Х13 достигало 40 %) наплавку предпочтительно вести с подогревом до 300...350 °С. В

Таблица 3. Свойства сварных соединений из двухслойных сталей 16ГC+08Х13 толщиной 16 мм, 09Г2C+08Х13 толщиной 20 и 10 мм и Ст3сп+08Х13 толщиной 10 мм

Способ наплавки коррозионностойкого слоя на низкоуглеродистых швах	Марка и диаметр электродов, проволока для наплавки	Марка свариваемой стали, условия сварки	Слой стали	Твердость <i>НВ</i>			
				Сталь до сварки	ОШЗ, сталь 08Х13 (3...4 мм от линии сплавления)	Металл	
						низкоуглеродистого шва	плакирующей наплавки на шве
Ручная дуговая покрытыми электродами (РДПЭ)	Электроды марки АНВ-70Б диаметром 3 мм	16ГC+08Х13 после эксплуатации по переделу нефти	Основной 16ГC	131	—	179	—
			Плакирующий 08Х13	311	302	—	197
	То же	Сварка с подогревом стыка до 350 °С	16ГC	143	—	153	—
			08Х13	302	321	—	197
Ручная полуавтоматическая дуговая	Проволока марки Св-07Х25Н13 диаметром 1,2 мм	16ГC+08Х13 после эксплуатации по переделу нефти	16ГC	121	—	170	—
			08Х13	307	307	—	192
РДПЭ	Электроды марки АНВ-70Б диаметром 3 мм	09Г2C+08Х13 до эксплуатации толщиной 20 мм	09Г2C	179	—	179	—
			08Х13	179	197	—	197
		09Г2C+08Х13 до эксплуатации толщиной 10 мм	09Г2C	156	—	187	—
			08Х13	170	179	—	187
Ст3сп+08Х13 после эксплуатации	Ст3сп	08Х13	167	—	182	—	
			270	—	—	180	

<sup>1</sup> Основной слой заварен электродами марки УОНИИ-13/45. Трещины в металле ЗТВ по слою 08Х13 отсутствуют.



**Таблица 4. Влияние режимов восстановительной термообработки на твердость плакирующего слоя 08X13 двухслойной стали 16ГС + 08X13 после 38-летней эксплуатации**

Режим восстановительной термообработки <sup>1</sup>		Твердость стали 08X13 <i>HV</i>
<i>T</i> , °C	Длительность выдержки, ч	
Без термообработки		285, 277
250	1,0	277, 277
300	1,0	277, 277
350	1,0	285, 285
400	1,0	268, 265
580	1,0	277, 269
640	0,5	255, 255
640	1,0	197, 197
700	1,0	197, 197
730	1,0	187, 179
850	1,0	179, 179

<sup>1</sup> Охлаждение образцов после термообработки производили на воздухе.

этом случае ширина переходной зоны (углеродистая сталь 16ГС, СтЗсп, 09Г2С — слой 08X13) не увеличивается, структурные изменения не происходят, а вероятность образования трещин в слое 08X13 снижается.

Термическая обработка для рассматриваемых сталей, если в этом появится необходимость (например, чрезмерно высокая твердость плакирующего слоя или в случае образования при наплавке трещины в слое 08X13) должна производиться при температурах 640...700 °C не менее 1 ч. При этом твердость ремонтируемых соединений, зон снижается до нормированного уровня (ниже *HV* 220) табл. 3 и 4.

В табл. 5 для примера приведены механические свойства сварного соединения из стали

**Таблица 5. Кратковременные механические свойства сварных соединений из двухслойной стали 16ГС + 08X13 толщиной 16 мм, вырезанной из колонны К-2**

№ образца	Присадочные материалы для сварки		Механические свойства					
	Основного слоя 16ГС (твердость стали 16ГС)	Переходного и плакирующего слоев	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	Место разрыва образца	<i>KCU</i> , Дж/см <sup>2</sup>	
							углеродистого шва	стали 16ГС
A34	УОНИИ-13/45 (корень шва) + УОНИИ 13/55 ( <i>HV</i> 131)	Электроды АНВ-70Б	432,3 425,4	524,5 546,7	13,0 12,0	По основному слою 16ГС	220,7 232,5 225,6	150,1 144,2 158,9
A33	УОНИИ-13/45 (корень шва) + УОНИИ-13/55 ( <i>HV</i> 121)	Проволока Св-07Х25Н13	420,5 404,4	520,8 520,7	16,3 17,5	То же	229,5 252,2 225,6	149,2 150,4 154,8
Сталь 16ГС	Требования ГОСТ 19282-73 к листу стали 16ГС толщиной 10...20 мм (не менее)	—	315,0	480,0	21,0	—	—	59,0

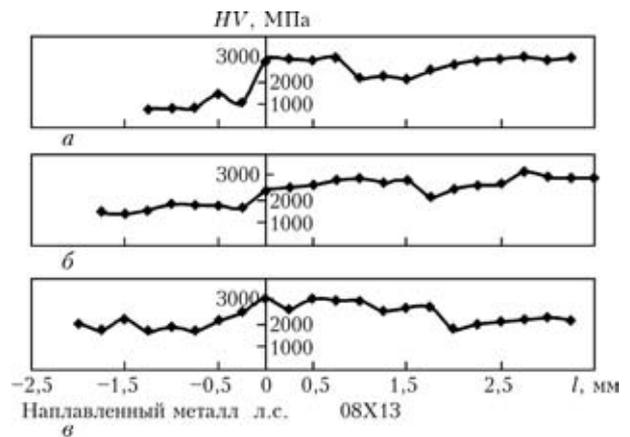


Рис. 3. Распределение микротвердости в ремонтной наплавке, выполненной электродами АНВ-70Б для стали 16ГС+08X13 (а); с предварительным и сопутствующим подогревом ремонтной зоны до 350 °C (б); с термообработкой ремонтной зоны до наплавки по режиму: 640 °C — 1 ч, воздух (в)

16ГС+08X13 после 38-летней эксплуатации, выполненного по разработанной технологии. Наплавку плакирующего слоя шва производили электродами АНВ-70Б. Разработанная технология рекомендована предприятию АО «Укртатнафта» для ремонта корпусов колонн из сталей СтЗсп+08X13, 16ГС+08X13.

По рекомендованной технологии в 2005 г. на АО «Укртатнафта» с использованием электродов АНВ-70Б отремонтированы корпуса колонн К-2, К-6 и частично К-5 из стали СтЗсп+08X13 толщиной 16, 20, 24 и 30 мм с повышенной твердостью коррозионностойкого слоя 08X13 до *HV* 250, 250...300 и 160...380 соответственно. Перед ремонтом корпуса колонн были освидетельствованы на наличие дефектов (трещин в швах и ОШЗ, сварочных дефектов, поврежденных коррозией зон и др.). Основные дефекты, обнаруженные в

корпусе колонны К-2, трещины в околошовной зоне сварных швов и одна трещина в шве плакированного патрубка, в К-5 — трещины в сварных швах, в К-6 — сварочные дефекты (поры и подрезы). Вышлифовку дефектов в плакирующем слое, пораженном трещинами, в швах производили абразивным способом; удаление трещин контролировали визуально-оптическим и капиллярным методами. Учитывая степень и характер коррозионного повреждения, ремонт корпусов производили без удаления из колонн внутреннего оборудования (тарелок и др.). Наплавку коррозионностойкого слоя из условий доступности к ремонтируемым зонам производили только электродами. В колоннах К-2, К-6 и К-5 ремонт плакирующего слоя произведен электродами АНВ-70Б.

При контроле визуально-оптическим методом трещины в наплавках, выполненных электродами АНВ-70Б, и ОШЗ наплавки в слое 08Х13 обнаружены не были, поэтому весь объем ремонтных наплавки в колоннах К-2, К-5 и К-6 был выполнен без подогрева ремонтируемых зон. На данном этапе ремонта корпусов колонн не было необходимости применения термической обработки ремонтируемых мест перед сваркой и наплавкой. После ремонта корпусы колонн подвергали визуально-оптическому контролю и пневматическим испытаниям. Дефекты в корпусах колонн не были обнаружены, кроме колонны К-5. В металле ЗТВ одного из меридиональных швов переходника между цилиндрическими обечайками колонны диаметром 8000 и 5500 мм, сваренного из лепестков стали СтЗсп+08Х13 толщиной 30 мм, образовалась трещина длиной до 550 мм. Вероятной причиной ее образования является высокий уровень сварочных напряжений в промежутке шириной 3...5 мм между отремонтированным швом и швом по приварке кронштейна для удержания внутренних устройств колонны (тарелок и др.). Дефектное место было отремонтировано, колонну подвергли повторному контролю на наличие дефектов и пневматическим испытаниям. Дефекты в корпусе обнаружены не были.

С учетом результатов коррозионного освидетельствования колонн до ремонта, степени и характера коррозионного повреждения корпусов, относительно невысокого уровня твердости плакирующего слоя обследованных зон (до НВ 250...380) и результатов контроля качества отремонтированных соединений [16,17] срок эксплуатации колонн продлен на 2 года. Предусматривается очередное плановое освидетельствование коррозионного состояния аппаратов.

Peculiarities of application of the technology for repair of durable oil refinery column equipment made from two-layer steel St.3sp (killed) + 0.8Kh13, which is operated at a temperature of 300...400 °C, are considered.

## Выводы

1. Разработана базовая технология ремонта корпусов колонн нефтеперерабатывающих производств из двухслойных сталей СтЗсп+08Х13, 16ГС+08Х13 с повышенной твердостью коррозионностойкого слоя, эксплуатируемых при температурах до 300...400 °С.

2. Выполнен ремонт корпусов колонн нефтеперерабатывающего производства из стали СтЗсп+08Х13 с повышенной твердостью коррозионностойкого слоя, эксплуатируемого при температурах до 360 °С.

1. Голованенко С. А., Меандров Л. В. Производство биметаллов. — М.: Металлургия, 1966. — 278 с.
2. Коррозия. Справочник / Под ред. Л. Л. Шрайера; пер. с англ. — М.: Металлургия, 1981. — 631 с.
3. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. — М.: Металлургия, 1986. — 360 с.
4. ГСТУ 3-17-191-2000. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. — Введ. 16.02.2000.
5. ГСТУ 3-020-2001. Зварювання плавленням металевих матеріалів в хімічному та нафтовому машинобудуванні.
6. ОТУ 3-01. Сосуды и аппараты. Общие технические условия на ремонт корпусов. — Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудования, 2001.
7. РУА-93. Руководящие указания по эксплуатации и ремонту сосудов и аппаратов, работающих под давлением до 0,7 МПа и вакуумом. — Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудования, 1994.
8. ИТН-93. Инструкция по техническому надзору, методика ревизии оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. — Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудования, 1993.
9. Василенко І. І., Шульте О. Ю., Радкевич О. І. Вплив хімічного складу і технології виробництва сталей на їх чутливість до водневого тріщиноутворення та сірководневого корозійного розтріскування. Огляд зарубіжних досліджень // Фізико-хім. механіка матеріалів. — 1990. — 6, № 4. — С. 8-22.
10. Pressouyre G. L., Blondeau R., Cadiou L. HSLA steels with improved hydrogen sulfide cracking resistance // Proc. conf. Amer. Soc. Metals. — Philadelphia, 1984. — P. 827-834, 843.
11. Гуляев А. П. Металловедение. — М.: Металлургия, 1977. — 648 с.
12. Арчаков Ю. И. Водородная коррозия стали. — М.: Металлургия, 1985. — 104 с.
13. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій / В. Т. Похмурський, Р. К. Мелехов, Г. М. Круцан, В. Г. Здановський. — К.: Наук. думка, 1995. — 360 с.
14. Влияние неметаллических включений на водородное расщепление низколегированных сталей / Ю. И. Рубенчик, Р. П. Соколов, Ж. Н. Малышев и др. // Фізико-хім. механіка матеріалів. — 1988. — 24, № 3. — С. 47-51.
15. ТУ У 28.7-5416923-074:2005. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки марок АНВ-17у, АНВ-70Б, АНВ-70Р, АНВ-71.
16. ДСТУ 4046-2001. Техническое диагностирование. Общие технические требования. — Введ. 27.07.2001.
17. ДНАОП 1.3.00-8.02-93. Проведение работ по оценке остаточной работоспособности технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. — Киев, 1993.

Поступила в редакцию 12.05.2006



## ВНЕШНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССАХ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ (ОБЗОР)

Р. Н. РЫЖОВ, канд. техн. наук, В. Д. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Приведена классификация управляющих магнитных полей, применяемых при реализации электромагнитных воздействий. Систематизированы и обобщены опубликованные данные относительно эффективности применения различных электромагнитных воздействий в процессах дуговой сварки и наплавки. Установлена взаимосвязь спектра решаемых технологических задач с векторными, амплитудными и частотными характеристиками управляющих магнитных полей. Определены наиболее перспективные пути совершенствования данных технологий.

*Ключевые слова:* дуговая сварка и наплавка, электромагнитные воздействия, управляющие магнитные поля, кристаллизация, формирование и параметры качества швов

К настоящему времени опубликовано значительное количество работ, рассматривающих особенности применения различных внешних электромагнитных воздействий (ЭМВ) в процессах дуговой сварки и наплавки. В основном их используют в тех случаях, когда для обеспечения заданного уровня качества швов традиционных технических и технологических приемов недостаточно. Анализ публикаций показал, что спектр решаемых с помощью ЭМВ задач достаточно широк, однако при этом отсутствуют обобщающие сведения, позволяющие в каждом конкретном случае получить максимальную эффективность от применения данных воздействий. В настоящей работе предпринята попытка систематизации и обобщения данных о применении различных ЭМВ и определения на этой основе перспективных путей их совершенствования.

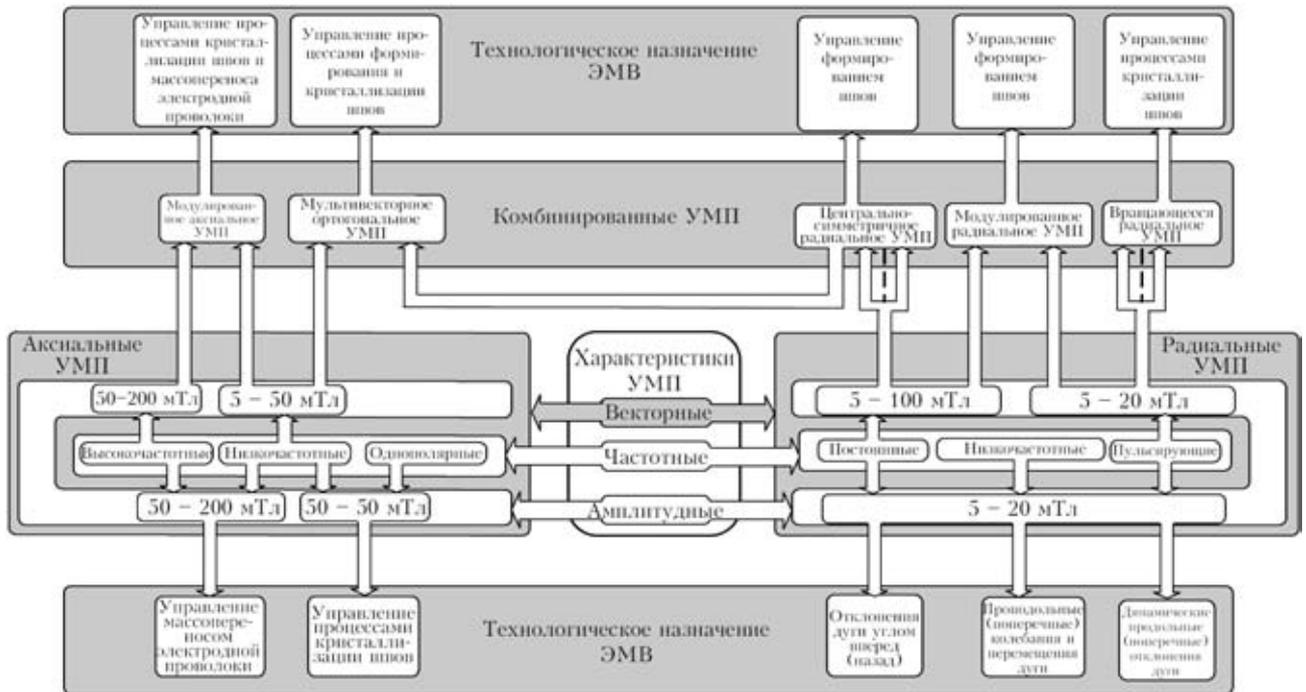
Анализ опубликованных работ в данном направлении позволил выделить основные признаки, которые качественно отличают применяемые ЭМВ. Основным из них является направление вектора управляющего магнитного поля (УМП) по отношению к объекту воздействия. По этому признаку УМП разделяют на аксиальные (продольные) и радиальные (поперечные). У первых вектор индукции параллелен, у вторых — перпендикулярен оси электрода. Дополнительными, не менее важными отличительными признаками указанных двух групп УМП, являются их частотные и амплитудные характеристики (рисунок).

При анализе аксиальных УМП установлено, что независимо от формы импульсов (синусоидальных или прямоугольных) условно их можно разделить на однополярные, низко- (1...25 Гц) и высокочастотные (от 200 Гц и выше). При этом низкочастотные в большей степени характеризуются

диапазоном индукций 5...50 мТл, а высокочастотные — 50...200 мТл. В группе радиальных УМП по частотным характеристикам выделяются пульсирующие, низкочастотные и постоянные. Для всех характерен диапазон индукций 5...20 мТл. УМП первой группы (с аксиальными векторными характеристиками) чаще применяют в случаях, когда объектом воздействия является сварочная ванна и массоперенос электродного металла, второй (радиальными) — дуга как источник нагрева.

Характерно, что в публикациях последних лет чаще рассматриваются особенности использования комбинированных ЭМВ. В отличие от традиционных двухполюсных устройств при их реализации используют многополюсные электромагнитные системы (ЭМС), в состав которых входит  $n$ -е количество электромагнитов с автономными системами питания. В зависимости от сочетания полярностей токов намагничивания в их катушках в зоне сварки генерируются различные по отношению к объекту воздействия УМП. Так, при чередующихся полярностях токов намагничивания, одновременно проходящих через полюса ЭМС, в зоне сварки формируются центрально-симметричные радиальные УМП (рисунок). Последовательное подключение противоположных относительно оси электрода пар полюсов с различными полярностями токов намагничивания позволяет получать вращающиеся радиальные магнитные поля. Одновременное генерирование УМП разной частоты формирует модулированные аксиальные и радиальные магнитные поля. Мультивекторные ортогональные магнитные поля получают путем поочередного генерирования в зоне сварки аксиальных низкочастотных и радиальных центрально-симметричных УМП.

Анализ показал, что технологическое применение аксиальных, радиальных либо комбинированных УМП определяется выбором объекта воздействия. При этом дуга, сварочная ванна или капли металла на торце электрода могут быть са-



Классификация управляющих магнитных полей

мостоятельным объектом ЭМВ, либо, что наиболее характерно, объектами одновременного воздействия. В последнем случае эффективность ЭМВ определяется степенью проявления положительного действия факторов, ответственных за технологический результат в выбранном объекте воздействия, и наоборот, подавления их отрицательного проявления в остальных. Рассмотрим механизмы воздействия и технологические возможности наиболее распространенных способов сварки и наплавки с ЭМВ.

При генерировании в зоне сварки (наплавки) низкочастотных (10...30 Гц) аксиальных УМП в головной, более перегретой, части ванны формируются потоки расплава, перемещение которых в направлении ее хвостовой части происходит поочередно вдоль каждого из боковых фронтов кристаллизации с частотой изменения полярности магнитного поля. Происходящие при этом периодические изменения градиента температур вблизи межфазной поверхности фронта кристаллизации приводят к соответствующим изменениям ширины зоны концентрационного переохлаждения, чем авторы работ [1–3] объясняют достигаемый при данных ЭМВ эффект измельчения первичной структуры швов.

Существуют и другие точки зрения относительно механизма влияния данных ЭМВ на процессы кристаллизации. Так, в работах [4, 5] в дополнение к приведенному выше механизму высказано предположение о существовании эффекта механического отделения фрагментов сформированных кристаллитов с образованием дополнительных центров кристаллизации. Авторы работы

[6] измельчение структуры швов объясняют разветвлением выступающих частей твердой фазы в период импульсного роста. При сварке технически чистых металлов с малой шириной двухфазной зоны измельчение структуры связывают с изменениями условий образования вторичных границ [4]. Однако опубликованных данных, достаточных для подтверждения существования указанных эффектов, не обнаружено.

Эффективность влияния данных ЭМВ на процессы кристаллизации зависит от физико-химических свойств свариваемых материалов. Так, при сварке сплавов с широким температурным интервалом кристаллизации в случае оптимальных параметров УМП эффект измельчения структуры наблюдали во всем сечении швов [3, 7], а с узким — только вблизи их продольной оси. Это объясняется малой шириной двухфазной зоны и неразвитостью осей дендритов второго порядка [5]. Эффект измельчения структуры фиксировали и в околошовной зоне, что связано с повышением скорости охлаждения металла ЗТВ [7]. Схемы кристаллизации характеризуются большим изгибом кристаллитов по мере их прорастания от линии сплавления к центру швов. Это обеспечивает более благоприятную ориентацию стыка фронтов кристаллизации по отношению к растягивающим усилиям [8].

Измельчение структуры швов сопровождается увеличением суммарной протяженности и снижением степени ориентированности границ зерен и незначительным количеством межкристаллитных выделений [9, 10]. При этом отсутствие блочности и сглаженность рельефа элементов микрострук-



туры швов свидетельствует о незначительном уровне внутризернистой неоднородности. Этот эффект объясняется повышением и выравниванием мгновенных скоростей кристаллизации возле линии сплавления и оси швов [11]. Снижение химической микронеоднородности, равномерное распределение легирующих элементов во всем сечении швов в большей мере характерно для сварки легированных сталей и сплавов.

Положительными изменениями в процессах кристаллизации объясняется и замедление скорости общей коррозии швов, повышение их стойкости против межкристаллитной коррозии [12], улучшение механических свойств [13, 14]. Повышение пластических свойств швов и сокращение температурного интервала хрупкости, происходящее в результате повышения температуры его нижней границы [15], служит причиной улучшения сопротивляемости швов образованию горячих трещин при сварке изделий из алюминиевых [9, 3], магниевых [7], средне- и высоколегированных сталей и сплавов [16].

Периодические перемещения расплава из головной в хвостовую часть ванны способствуют увеличению площади ее поверхности, выравниванию температуры в ее периферийных и центральных областях, снижению перепада концентрации примесей и газов в расплаве, стабилизации плоского фронта кристаллизации [3]. Понижение перегрева жидкой фазы перед фронтом кристаллизации содействует уменьшению термодиффузионного потока водорода в направлении линии сплавления. Указанные факторы способствуют уменьшению растворимости газов в расплаве и создают благоприятные условия для отрыва и легкого всплытия на поверхность ванны пор. Благодаря применению ЭМВ зафиксировано снижение почти в 5 раз пористости швов при сварке TIG титановых и алюминиевых сплавов [13, 17] и в 2,5 раза при мокрой подводной сварке конструкционных сталей [18].

Спецификой поведения дуги в аксиальном УМП является ее вращение вокруг вертикальной оси с принятием формы, близкой к конусной. Это способствует стабилизации ее пространственного положения и позволяет регулировать ее силовое воздействие на расплав ванны практически без изменения мощности [19]. В процессе наблюдений за горением дуги было сделано предположение, что активное пятно на изделии состоит из отдельных более или менее равномерно расположенных катодных пятен. Это содействует интенсификации процесса катодного распыления оксидных пленок и снижению общего содержания оксидных включений в шве, что особенно важно при сварке алюминиевых сплавов.

Положительное влияние аксиального УМП на дугу как источник нагрева успешно используют

для улучшения процесса формирования швов. ЭМВ на их основе применяют для обеспечения одновременного плавления обеих кромок соединений и стабилизации пространственного положения дуги при сварке TIG на форсированных режимах и сварке под флюсом корневых швов трубных соединений [20]. С их помощью достигали уменьшения количества проходов без образования подрезов при сварке TIG погруженной дугой.

Применение относительно больших индукций аксиального УМП (50...200 мТл) приводит к увеличению глубины проплавления швов, что объясняют уменьшением циклотронного радиуса дуги [21, 22]. Однако при управлении гидродинамикой ванны с помощью ЭМВ повышению индукции должно сопутствовать увеличение частоты УМП. Учитывая инерционность данных воздействий, указанный диапазон индукций магнитного поля не может обеспечить интенсивные перемещения расплава ванны и, как следствие, управление процессами кристаллизации швов. Такие ЭМВ в основном применяют для улучшения процессов формирования швов и массопереноса электродного металла.

Нереверсивные перемещения расплава ванны достигаются генерированием в зоне сварки однополярных аксиальных УМП. Возникающие при этом центробежные силы приводят к выплескиванию расплава с одной и образованию подреза с другой стороны швов. Измельчение первичной структуры металла швов наблюдается с одной относительно продольной оси стороны швов. При этом вследствие асимметрии теплового поля фиксировали смещение линии срачивания кристаллитов [9]. Поэтому при сварке в нижнем положении ЭМВ на основе таких УМП неэффективны, однако их успешно применяют при сварке горизонтальных швов на вертикальной плоскости [23].

При сварке MIG/MAG с использованием аксиальных УМП центробежные силы, действующие в объеме капель, вращающихся с большими скоростями на торце электрода, изменяют их форму со сферической на эллиптическую [8, 24, 25]. При этом происходит уменьшение толщины жидкой теплоизолирующей прослойки на торце электрода, в результате чего увеличивается на 25...30 % скорость расплавления электродной проволоки при практически неизменной тепловой мощности дуги [24]. Однако при индукциях УМП, превышающих пороговый уровень (12...15 мТл), частота отрыва капель с торца электрода уменьшается в 2...3 раза, стабильный мелкокапельный перенос электродного металла заменяется крупнокапельным. Возрастание центробежных сил в объеме капель приводит к повышенному разбрызгиванию и нарушению стабильности процесса сварки [8].

Данные обстоятельства обуславливают целесообразность применения аксиальных УМП при сварке MIG/MAG для создания соединений малых толщин, когда ЭМВ на их основе улучшают процессы кристаллизации и формирования швов и не повышают уровень разбрызгивания. Следует отметить, что большинство опубликованных работ, посвященных применению ЭМВ при сварке плавящимся электродом, ориентированы на процесс сварки под флюсом [12, 19, 26, 27]. Их авторы фиксировали эффект повышения коэффициента перехода в шов легирующих элементов, что объясняется улучшением взаимодействия электродного металла со стенками шлакового пузыря.

ЭМВ с использованием высокочастотных аксиальных УМП основаны на индуцировании либо в объеме ванны, либо в каплях электродной проволоки вихревых токов. При их взаимодействии с радиальной составляющей УМП создается объемная аксиальная сила, действующая в направлении от электромагнита. Ее значение пропорционально произведению  $M(\partial M/\partial Z)$ , где  $M$  — взаимная индуктивность объекта управления и электромагнита в вертикальном направлении. Такие ЭМВ используют как для управления массопереносом электродной проволоки при дуговой пайке [28, 29], так и для увеличения плотности тока в хвостовой части ванны для повышения эффективности управления формированием швов при сварке на весу. При их реализации практически не изменяется температура поверхности капель и изделия, что исключает их перегрев, происходящий, например, при импульсной дуговой сварке [29]. Особенно важным это может быть при сварке высоколегированных сталей и сплавов, когда имеет место выгорание легкоплавких элементов электродной проволоки. Кроме того, при сварке практически исключаются затраты на разбрызгивание и обеспечивается точность дозировки в процессе нанесения покрытия при наплавке. При этом существует возможность управления не только процессом отрыва капель с торца электрода, но и формированием траектории их перемещения в заданном направлении. Этот эффект используют для улучшения процессов формирования потолочных швов.

Общий недостаток ЭМВ с использованием аксиальных высокочастотных УМП и низкочастотных с повышенной индукцией — трудность их практической реализации. Максимальный эффект от их применения достигается при больших токах намагничивания через катушки электромагнитов. Это обуславливает необходимость их принудительного охлаждения и изготовления из намоточных материалов со значительными поперечными сечениями, что ухудшает массогабаритные показатели специализированных горелок и их манипуляционные возможности. Заметим, что при ис-

пользовании высокочастотных УМП эффективные ЭМВ возможны только при низкой индуктивности катушек электромагнитов, что требует оптимизации их конструктивных параметров в зависимости от конкретных условий сварки.

При ЭМВ с использованием некомпбинированных радиальных УМП (см. рисунок) гидродинамикой расплава ванны управляют путем отклонений колебаний или перемещений дуги с частотой магнитного поля в направлении, нормальном его силовым линиям, на расстояние, пропорциональное амплитудному значению его индукции [30, 31]. При таких манипуляциях дугой, деформирующей поверхность ванны с силой, прямо пропорциональной квадрату сварочного тока, формируются потоки расплава в направлении, перпендикулярном магнитному потоку УМП.

При отклонении дуги постоянным УМП в направлении фронта кристаллизации наблюдается увеличение, а в направлении фронта плавления — уменьшение глубины боковых подрезов [32]. Отклонение дуги «углом вперед» приводит к увеличению радиуса фронта плавления ванны, что способствует уменьшению скорости перемещения центральной струи расплава в направлении ее хвостовой части, чем и объясняется указанный выше эффект. При этом горизонтальная составляющая давления дуги удерживает расплав у переднего фронта ванны, что способствует увеличению толщины жидкой прослойки под дугой, а это, в свою очередь, повышает способность ванны поглощать случайные отклонения давления дуги и теплового потока. В результате резко снижается количество прожогов [33], факел дуги, отклоненной к холодному металлу перед фронтом плавления, защищает поверхность соединения от загрязнений и оксидов [32, 33].

Более эффективными являются ЭМВ, основанные на применении знакопеременных радиальных УМП для продольных и поперечных колебаний дуги. В первом случае периодические изменения скорости потока расплава в направлении фронта кристаллизации позволяют устранять дендритную и образовывать равноосную структуру швов [30]. Однако указанные положительные изменения происходят не во всем сечении швов, а лишь в их центральных областях, что свидетельствует об ограниченности технологических возможностей таких ЭМВ.

Поперечные колебания дуги (до 9...12 мм) способствуют стабилизации процесса ее горения, устранению наплывов на усилении швов, обеспечивают более равномерное формирование его обратного валика [30, 34]. При этом увеличивается в 1,5...2,5 раза коэффициент формы швов при соответствующем возрастании на 20...25 % его ширины и уменьшении на 10...50 % глубины проплавления [35]. Данный эффект усиливается при



увеличении частоты колебаний, что объясняется уменьшением давления дуги на расплав сварочной ванны. Такие изменения параметров формирования швов способствуют измельчению зерна вблизи зоны сплавления и уменьшению усадочной и газовой пористости, что повышает механические свойства сварных соединений. Характерное уменьшение степени разбавления присадочного металла основным, сопровождающееся снижением почти в 2 раза твердости швов, и улучшенное заполнение разделки обуславливают целесообразность применения таких ЭМВ при многопроходной сварке и сварке двухслойных сталей. Кроме того, при наплавке обеспечение одинаковой глубины проплавления позволяет увеличивать на 100...300 А значение тока, чем достигается повышение как скорости плавления электродной проволоки, так и производительности данного процесса.

При широкослойной наплавке ЭМВ с радиальными УМП применяют для возвратно-поступательных перемещений дуги по торцу электродной ленты. Это позволяет стабилизировать дуговой процесс, уменьшить время существования капель на торце электрода и их средний диаметр. При этом дуга не блуждает, а перемещается, оплавляя электродную ленту по всей ширине, что способствует улучшению процесса формирования наплавленного слоя и снижению деформирования изделия [36, 37].

Отдельно следует выделить ЭМВ, основанные на использовании комбинированных УМП (см. рисунок). Их суть заключается в одновременном или поочередном генерировании в зоне сварки магнитных полей с разными характеристиками. Так, комбинированные постоянные и знакопеременные поперечные УМП применяют для управления формированием швов при сварке на повышенных скоростях тонкостенных кабельных оболочек [32]. При этом постоянным УМП отклоняют дугу к фронту плавления, чем достигают уменьшения глубины подрезов, а знакопеременным осуществляют продольные колебания дуги для периодического «сбрасывания» избыточного объема расплава с фронта плавления к фронту кристаллизации, что способствует повышению стабильности процесса формирования швов.

При суперпозиции в зоне сварки с помощью квадрупольной электромагнитной системы радиальных УМП достигали такого результирующего распределения индукции, при котором она была равна нулю на продольной оси дуги и приобретала максимальные значения в области фронтов плавления и кристаллизации сварочной ванны [38–40]. При определенных амплитудных и векторных характеристиках УМП такие ЭМВ позволяли без снижения стабильности горения дуги достигать

компенсации гравитационных сил, ухудшающих процесс формирования швов при сварке на весу.

Основными критериями оценки эффективности процессов дуговой сварки и наплавки с ЭМВ являются уровень комплексного улучшения показателей качества швов, их универсальность (возможность быть примененными в разных видах, способах и условиях сварки) и возможность быть реализованными с помощью устройств, характеристики которых соответствуют уровню развития современных сварочных технологий и оборудования.

Максимальная эффективность ЭМВ достигается при соответствии параметров УМП заданным условиям сварки или наплавки. Опубликованные работы по оптимизации ЭМВ носят фрагментарный характер и выполнены на основании эмпирических зависимостей, ограничивающих область их применения исследованными условиями сварки [15, 41]. Для прогнозирования оптимальных параметров УМП с учетом специфики теплофизических свойств свариваемых материалов и режимов сварки необходима формулировка научно обоснованных критериев оптимизации и создание на этой основе детерминированных математических моделей. На сегодня такие работы успешно осуществлены только для ЭМВ, основанных на использовании низкочастотных аксиальных УМП [12, 43]. Однако оптимизация параметров УМП не расширяет технологические возможности ЭМВ. Исходя из этого, перспективным направлением работ является усовершенствование существующих и разработка новых технологий сварки и наплавки на основе использования УМП с параметрами, которые еще не применялись или применялись ограниченно. Для определения того, какими должны быть эти параметры, проанализируем факторы, ограничивающие технологические возможности известных способов сварки и наплавки с ЭМВ.

При реализации ЭМВ, основанных на использовании аксиальных низкочастотных УМП, наличие даже незначительной поперечной составляющей магнитного поля в зоне горения дуги и плавления электродной проволоки приводит к возникновению негативных побочных эффектов. Под ее воздействием дуга как источник нагрева рассредоточивается, что приводит к уменьшению на 20...30 % глубины проплавления, что в большинстве случаев недопустимо [2, 13, 22]. При сварке плавящимся электродом ее взаимодействие со сварочным током в объеме капель приводит к отклонению их траектории перемещения, что может быть причиной повышенного уровня разбрызгивания металла электродной проволоки [8].

Полностью исключить влияние УМП на дугу и процесс переноса электродной проволоки практически невозможно, его можно только умень-

шить. Отсутствие поперечной составляющей индукции УМП на продольной оси достигается применением цилиндрических электромагнитов, расположенных на корпусе горелок коаксиально электроду [44]. Однако неточности при изготовлении составляющих горелок и электромагнитов, отклонения от вертикального положения как дуги, так и деформированной электродной проволоки, значительно ослабляют эффективность таких мер. Уменьшения индукции в дуговом промежутке можно достичь путем расположения электромагнита с обратной стороны шва. Однако, как и в предыдущем случае, это не исключает возможности возникновения указанных отрицательных эффектов. К тому же, последнее решение не всегда является технологичным из-за необходимости как доступа к обратной стороне швов по всей их длине, так и совместного перемещения горелки и электромагнита. В условиях, когда невозможно ограничить воздействие УМП только расплавом ванны, работы по повышению эффективности рассматриваемых ЭМВ целесообразно вести в таких направлениях: определение положительных моментов в существовании УМП в области торца электрода — поверхность ванны и использование их в технологиях сварки и наплавки с ЭМВ; определение мер, позволяющих минимизировать или компенсировать характерные негативные эффекты.

Так, при осуществлении наплавочных работ, желательнее уменьшать глубину и площадь проплавления основного металла. В данном случае рассредоточение дуги как источника нагрева при ЭМВ успешно используют для уменьшения практически в 2 раза глубины проплавления [27, 45]. При сварке плавящимся электродом уменьшение глубины проплавления используют для увеличения сварочного тока, чем достигают повышение скорости плавления электродной проволоки и соответственно производительности процесса сварки.

Компенсации уменьшения глубины проплавления при сварке с ЭМВ достигают путем создания условий, при которых продолжительность горения дуги в обычном состоянии превышает время ее существования в конусной форме. Для этого в зоне сварки генерируют пульсирующие УМП, создаваемые путем пропускания через обмотку электромагнита дискретных импульсов тока повышенной скважности [26].

Следует отметить, что данный метод позволяет снизить, но никак не исключить эффект уменьшения глубины проплавления. При этом для сохранения интенсивности ЭМВ увеличению скважности должно соответствовать увеличение параметров УМП. Однако при неизменной индукции пропорциональное увеличение продолжительности интервалов реверсирования приводит к ухудшению параметров формирования швов (на их по-

верхностях образуются грубые наплывы, линии сплавления имеют нестабильную форму) [2, 22]. В то же время при неизменном интервале реверсирования для генерирования больших индукций УМП необходимо увеличивать массогабаритные характеристики электромагнитов. К тому же при увеличении скважности импульсов УМП уменьшается степень жесткости режима ЭМВ, что, в свою очередь, несколько снижает эффективность влияния на процессы кристаллизации. Указанные недостатки свидетельствуют о низкой эффективности данного способа. Несмотря на это, его успешно применяли в процессе создания заполняющих швов при многопроходной сварке [12].

Положительные результаты относительно применения высокочастотных УМП для управления процессом массопереноса электродной проволоки достигнуты при дуговой дозированной пайке и микронаплавке материалов с высокой электропроводностью [28, 29]. Для успешного применения таких ЭМВ при сварке конструкционных сталей, в том числе высоколегированных, необходимо проведение комплекса исследований, направленных на определение оптимальных диапазонов параметров высокочастотных УМП. Вместе с тем остаются неопределенными механизм и уровень положительного влияния высокочастотных УМП на показатели качества сварных швов. Известно, что ультразвуковые колебания сварочной ванны положительно влияют на процессы кристаллизации швов. Однако в отличие от этого вида внешних импульсных воздействий ЭМВ реализуются без физического контакта с расплавом сварочной ванны, что является существенным преимуществом. Поэтому задача определения возможности достижения аналогичных эффектов и при использовании высокочастотных УМП является актуальной.

Резерв повышения эффективности ЭМВ, основанных на колебаниях и отклонениях дуги поперечным УМП, состоит в обеспечении положительных изменений процессов кристаллизации во всем сечении швов. Этого достигают путем периодических изменений в процессе сварки направлений данных импульсных воздействий, а именно — реализацией колебательно-вращательного перемещения дуги [31]. При этом регулированием длительности периодов ее колебаний в заданном направлении возможно управление процессами формирования швов, сопровождающееся как изменениями их ширины, так и глубины проплавления. Это является признаком достижения определенного уровня технологической гибкости данных ЭМВ. Реализация такого процесса возможна только при использовании многополюсных электромагнитных систем.

При реализации известных технологий широкополосной наплавки с ЭМВ, основанных на ис-



пользовании двухполюсных электромагнитных систем [35], существует неравномерность распределения индукции УМП в дуговом промежутке и по ширине рабочей зоны. Это приводит как к разности скоростей перемещения анодной и катодной областей дуги, в результате чего существенно снижается стабильность процесса ее горения, так и к образованию формы зоны проплавления в виде дуги. Совершенствование данных ЭМВ заключается в устранении указанных негативных эффектов. Достичь этого можно генерированием импульсов УМП сложной формы; регулированием распределения индукции по ширине рабочей зоны, или изменением характера движения дуги с непрерывного на пошаговый с регулируемыми длительностями периодов останова дуги. Следует отметить, что первый путь чрезмерно сложен, а два других наиболее целесообразно реализовывать с помощью многополюсных электромагнитных систем.

Таким образом, применение некомбинированных УМП одновременно с улучшением одной группы показателей качества швов может приводить к некоторому ухудшению других. Технологические ограничения всех наиболее распространенных способов сварки с ЭМВ обусловлены присутствием для каждого из них отрицательными побочными эффектами, существование которых связано с разным влиянием УМП на дугу и расплав сварочной ванны. Частичным их компенсированием или минимизацией невозможно достичь существенного повышения эффективности технологий сварки и наплавки с ЭМВ.

Наиболее существенное повышение эффективности ЭМВ достигается при использовании комбинированных УМП. Рассмотренные выше технологии сварки на этой основе направлены на улучшение параметров формирования швов и не решают вопросов комплексного улучшения качества сварных соединений. Однако даже при таких ограничениях их технологические возможности не являются исчерпанными.

Так, при сварке неплавящимся электродом комбинированием радиальных УМП с помощью квадрупольной или других электромагнитных систем можно достичь не только компенсации гравитационных сил на расплав ванны. Изменение направления магнитного потока на противоположное приводит к перемещениям расплава в сторону дна ванны. При этом в результате уменьшения толщины жидкой прослойки под дугой достигают увеличения глубины проплавления швов [46].

Следует отметить, что суперпозиция аксиальных реверсивных с постоянными или знакопеременными поперечными УМП может приводить к ухудшению стабильности горения дуги и параметров формирования швов. В данных условиях перспективным является комбинирование путем

поочередного, т.е. разделенного во времени генерирования в зоне сварки УМП с разными векторными характеристиками. Так, при поочередном генерировании в зоне сварки реверсивного аксиального и поперечного УМП создают разделенные во времени потоки расплава как в горизонтальной плоскости вдоль боковых поверхностей, так и в вертикальной вдоль верхней или нижней поверхностей ванны [47, 48].

При таких ЭМВ, эффективно влияющих на процессы кристаллизации, возможно управление также глубиной проплавления швов путем увеличения или уменьшения толщины жидкой прослойки под дугой. Направление изменения этих параметров в сторону увеличения или уменьшения зависит от полярности поперечного УМП. Учитывая, что при использовании аксиальных УМП возможна регулировка ширины швов, применение таких ЭМВ позволит наиболее эффективно управлять процессами их формирования. Кроме того, при достаточной продолжительности действия поперечных УМП потоки расплава, двигаясь в вертикальной плоскости из центральной области ванны в сторону ее хвостовой части, достигают фронта кристаллизации, периодически создавая там значительные градиенты температуры, что положительно влияет на процессы кристаллизации швов. Следовательно, при верном выборе параметров комбинированных ЭМВ периодическое действие поперечных УМП не будет ухудшать степень позитивного влияния аксиальных УМП на процессы кристаллизации швов. Такой способ комбинирования УМП использован для усовершенствования рассмотренных выше ЭМВ на основе применения пульсирующих аксиальных УМП [26]. В данном случае поперечное магнитное поле генерировали не после окончания интервалов действия аксиального, а после каждого их импульса на протяжении времени, когда дуга горит в обычных условиях. Это позволило сократить продолжительность интервалов реверсирования путем уменьшения скважности импульсов. При этом ЭМВ стали более интенсивными и универсальными [48].

Для достижения комплексного улучшения показателей качества швов эффективным также является поочередное комбинирование аксиального реверсивного и радиального УМП, вызывающего продольные и поперечные колебания или отклонения дуги [48]. Механизм расширения технологических возможностей в данном случае аналогичен приведенному выше способу. При этом всесторонне следует выяснить вопрос: комбинирование каких УМП является более результативным.

Максимального повышения эффективности ЭМВ при сварке MIG/MAG можно достичь при комбинировании аксиальных реверсивного низкого и высокочастотного или пульсирующего УМП.

При этом возможно одновременное управление процессами кристаллизации и переноса металла электродной проволоки. В данном случае индуцированные в хвостовой части ванны вихревые токи будут содействовать улучшению динамических характеристик перемещений потоков расплава вдоль боковых фронтов кристаллизации. При этом следует ожидать повышения эффективности влияния ЭМВ на процессы кристаллизации. Наличие же незначительной поперечной составляющей индукции УМП в области плавления электродной проволоки будет не ухудшать процесс ее переноса, а увеличивать силу отрыва капель. Это содействует росту частоты их отрыва и, как следствие, повышению интенсивности плавления электродной проволоки.

## Выводы

1. Максимальная эффективность ЭМВ в каждом конкретном случае достигается правильным выбором параметров управляющих магнитных полей. При этом аксиальные УМП чаще применяют для управления кристаллизацией, а радиальные — процессами формирования швов.

2. Возникновение негативных побочных эффектов при сварке и наплавке с применением традиционных ЭМВ связано с различным воздействием внешнего магнитного поля на дугу как источник нагрева и капли на торце электродной проволоки с одной стороны, и расплав ванны с другой. Их устранение достигается путем оптимизации параметров УМП.

3. Наиболее перспективным направлением повышения эффективности ЭМВ, обеспечивающим комплексное улучшение процессов формирования и кристаллизации швов, является применение комбинированных УМП. Необходимо проведение дальнейших исследований для всестороннего выяснения степени влияния таких ЭМВ на показатели качества швов при сварке различных классов материалов.

1. A new approach for fluid flow model in gas tungsten arc weld pool using longitudinal electromagnetic control / J. Luo, Q. Luo, Y. H. Lin, J. Xue // *Welding J.* — 2003. — № 8. — P. 202–206.
2. Особенности формирования швов при дуговой сварке титана с электромагнитным перемешиванием / Г. М. Шеленков, В. П. Черныш, С. М. Гуревич и др. // *Свароч. пр-во.* — 1977. — № 3. — С. 24–25.
3. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У., Йулдашев А. Т. Влияние электромагнитного воздействия на свойства и структуру сварных соединений сплава 01420 // *Автомат. сварка.* — 1977. — № 5. — С. 21–24.
4. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У. Некоторые особенности формирования вторичных границ в сварных швах при электромагнитном воздействии // Там же. — 1980. — № 2. — С. 12–14.
5. Абралов М. А., Абдурахманов Р. У. О механизме измельчения первичной структуры металла сварного шва при электромагнитном воздействии // Там же. — 1982. — № 2. — С. 18–21.

6. Якушин Б. Ф., Мисюрлов А. И. Повышение технологической прочности швов при сварке среднелегированной стали с электромагнитным воздействием // *Свароч. пр-во.* — 1979. — № 12. — С. 7–9.
7. Влияние внешнего магнитного поля на кристаллизацию и технологическую прочность при аргодуговой сварке магниевых сплавов / А. М. Болдырев, Э. Б. Дорофеев, Е. Г. Антонов и др. // Там же. — 1974. — № 9. — С. 14–16.
8. Сварка плавящимся электродом в защитных газах с электромагнитным перемешиванием / В. П. Игумнов, С. Н. Мальцев, Ю. Д. Коньков и др. // *Автомат. сварка.* — 1983. — № 3. — С. 41–42, 59.
9. Структура и свойства металла шва при сварке в продольном магнитном переменном поле низкой частоты / Е. В. Бардокин, В. И. Ливенец, В. А. Окишор и др. // *Свароч. пр-во.* — 1975. — № 11. — С. 12–14.
10. Влияние внешних электромагнитных воздействий на микроструктуру и химический состав швов при подводной мокрой сварке / Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // *Автомат. сварка.* — 2005. — № 10. — С. 41–42.
11. Черныш В. П., Пахаренко В. А., Кузнецов В. Д. Влияние режима электромагнитного перемешивания на химическую микрооднородность швов // Там же. — 1980. — № 1. — С. 76–77.
12. Автоматическая сварка изделий из стали X17H13M3T большой толщины с электромагнитным перемешиванием сварочной ванны / А. Н. Брискман, В. С. Гладышко, В. Д. Кузнецов и др. // *Хим. и нефт. машиностроение.* — 1973. — № 9. — С. 25–26.
13. Чаюн А. Г., Сыроватка В. В., Матяш В. И. Дуговая сварка алюминиевого сплава 01420 с применением электромагнитного перемешивания // *Автомат. сварка.* — 1981. — № 6. — С. 19–21.
14. Применение внешних электромагнитных воздействий для улучшения механических свойств при подводной мокрой сварке / Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // Там же. — 2004. — № 11. — С. 53–54.
15. Рыжов Р. Н., Скачков И. О., Черныш В. П. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию горячих трещин при ручной дуговой сварке неплавящимся электродом // Там же. — 1997. — № 4. — С. 25–29.
16. Czernysz W., Ryzhov R., Tyrec E. Influence of electromagnetic effect in welding on the increase in resistance to hot cracking // *Welding International.* — 2004. — 18. — P. 257–262.
17. Влияние внешнего магнитного поля на плотность металла шва при сварке сплава OT4-1 / А. М. Болдырев, В. А. Биржев, Р. В. Муравьев и др. // *Сварка и контроль-2001: Тез. докл.* — Воронеж: ВГАСУ, 2001. — С. 164–169.
18. Влияние внешнего электромагнитного воздействия на содержание водорода в металле швов при мокрой подводной сварке / С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко, Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь // *Автомат. сварка.* — 2003. — № 6. — С. 55–56.
19. Завьялов В. Е., Звороно Я. П., Петраков А. Б. Использование продольного магнитного поля при наплавке под флюсом // *Свароч. пр-во.* — 1990. — № 2. — С. 3–5.
20. Черныш В. П., Матяш В. И. Предупреждение нарушений формирования швов при повышенной скорости сварки и переменном зазоре между кромками // *Автомат. сварка.* — 1990. — № 9. — С. 9–11.
21. Болдырев А. М., Биржев В. А., Померанцев А. С. О возможности управления процессами при дуговой сварке и наплавке в аксиальном магнитном поле // *Сварка и контроль-2004: Тез. докл.* — Пермь, ПГТУ, 2004. — Т. 2. — С. 273–278.
22. Шаферовский В. А. Влияние аксиального магнитного поля на проплавленную способность дуги при сварке толстолистовой стали с программированием режима // *Автомат. сварка.* — 1996. — № 8. — С. 20–24.
23. Basic concept and viability of electromagnetically controlled molten pool welding process / Y. Manabe, S. Zenitani, Y. Hiromoto et al. — (*Intern. Inst. of Welding; Doc. XI, XII.*)



24. Болдырев А. М., Биржесв В. А., Черных А. В. Особенности плавления электродного металла при сварке во внешнем продольном магнитном поле // Свароч. пр-во. — 1991. — № 5. — С. 28–30.
25. Болдырев А. М., Биржесв В. А., Черных А. В. Плавление электродной проволоки при сварке в аксиальном переменном магнитном поле промышленной частоты 50 Гц // Сварка и контроль-2001: Тез. докл. — Воронеж: ВГАСУ, 2001. — С. 118–121.
26. Сохранение глубины провара в условиях электромагнитного перемешивания сварочной ванны / И.В. Малинкин, В. Ю. Поповский, В. В. Сыроватка, В. П. Черныш // Автомат. сварка. — 1971. — № 8. — С. 46–48.
27. Болдырев А. М., Биржесв В. А., Черных А. В. Управление глубиной проплавления при дуговой сварке и наплавке с помощью продольного переменного магнитного поля // Свароч. пр-во. — 1993. — № 6. — С. 30–31.
28. Тарасов Н. М., Капустин С. С. Применение высокочастотного электромагнитного поля для дозированного переноса капель электродного металла // Автомат. сварка. — 1982. — № 8. — С. 10–12.
29. Тарасов Н. М. Энергетический расчет процесса отрыва капли электродного металла при воздействии импульса внешнего магнитного поля // Там же. — 1984. — № 6. — С. 21–25.
30. Аргонодуговая сварка нержавеющей труб с использованием магнитных полей / В. Е. Завьялов, В. Я. Иванцов, В. Я. Скорняков и др. // Свароч. пр-во. — 1979. — № 12. — С. 19–20.
31. Рыжов Р. Н., Семенов В. С., Титов А. А. Особенности формирования и кристаллизации швов при TIG-сварке с отклонениями дуги магнитным полем // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 17–20.
32. Дуговая сварка кабельных оболочек в поперечном магнитном поле / И. М. Ковалев, А. С. Рыбаков, А. С. Исаков и др. // Свароч. пр-во. — 1977. — № 11. — С. 37–38.
33. Ковалев И. М., Кричевский Е. М., Львов В. Н. Аргонодуговая сварка труб из стали 1X18N10T неплавящимся электродом с формированием шва в поперечном магнитном поле // Там же. — 1975. — № 5. — С. 15–17.
34. Kang Y. H., Na S. A. Characteristics of welding and arc signal in narrow groove gas metal arc welding using electromagnetic arc oscillation // Welding J. — 2003. — № 3. — P. 93–99.
35. Размышляев А. Д., Маевский В. Р. Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом // Свароч. пр-во. — 1996. — № 2. — С. 17–19.
36. Корниенко А. Н. Магнитное управление процессом наплавки ленточным электродом под флюсом // Там же. — 1964. — № 4. — С. 12–14.
37. Eihhorn F., Dilthey U., Huwer W. Unterpulver — Auftragschweißen mit 60...90 und 120 mm breiten Gr-Nn-Stahlbandelektroden // Industrie — Anzeiger. — 1972. — № 98. — S. 2369–2372.
38. Акулов А. И., Рыбачук А. М., Чернышев Г. Г. Особенности формирования швов при сварке в поперечном магнитном поле // Свароч. пр-во. — 1979. — № 7. — С. 11–14.
39. Рыбачук А. М., Чернышев Г. Г. Влияние величины заглобления электрода на форму шва при сварке в четырехполосном магнитном поле // Там же. — 1982. — № 2. — С. 25–26.
40. Бродягина И. В., Чернышов Г. Г. Дуговая сварка алюминиевых сплавов с использованием магнитных полей // Там же. — 1998. — № 9. — С. 48–51.
41. Пахаренко В. А. Расчет оптимальных параметров магнитного поля при аргонодуговой сварке с перемешиванием ванны // Автомат. сварка. — 1982. — № 7. — С. 39–41.
42. Рыжов Р. Н., Кузнецов В. Д. Выбор оптимальных параметров внешнего электромагнитного воздействия при дуговых способах сварки // Там же. — 2005. — № 6. — С. 27–31.
43. Рыжов Р. Н., Кузнецов В. Д., Прилипко Е. А. Методика расчета параметров управляющего электромагнитного воздействия при дуговой сварке конструкционных сталей // Вестн. НТУУ «КПИ». — 2005. — № 45. — С. 166–167.
44. Черныш В. П., Кухарь С. Н. Оборудование для сварки с электромагнитным перемешиванием. — Киев: Вища шк., 1984. — 56 с.
45. Размышляев А. Д. Влияние магнитного поля на размеры зоны проплавления при наплавке под флюсом // Автомат. сварка. — 1996. — № 8. — С. 25–27, 30.
46. Рыжов Р. Н., Кузнецов В. Д., Малышев А. В. Применение шестиполосной электромагнитной системы для управления параметрами формирования швов при сварке неплавящимся электродом // Там же. — 2004. — № 2. — С. 45–49.
47. Рыжов Р. Н. Применение комбинированных электромагнитных воздействий для улучшения качества швов при сварке неплавящимся электродом // Там же. — 2005. — № 7. — С. 159–161.
48. Рижов Р. М. Принципи об'ємного керування гідродинамікою розчину зварювальної ванни // Наук. вісті НТУУ «КПІ». — 2005. — № 4. — С. 83–87.

Classification of control magnetic fields used for implementation of electromagnetic effects is given. Published data on the efficiency of application of different electromagnetic effects in arc welding and surfacing processes are systematised and generalised. It is established that the spectrum of addressed technological problems is related to vector, amplitude and frequency characteristics of the control magnetic fields. The most promising ways of improving these technologies are identified.

Поступила в редакцию 23.03.2006



УДК 621.791:658.562

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

**В. А. СЕРГИЕНКО**, инж. (ООО «Завод автогенного оборудования «ДОНМЕТ», г. Краматорск),  
**В. И. ЮМАТОВА**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изложены некоторые конструктивно-технологические и нормативные аспекты обеспечения безопасной эксплуатации оборудования для газопламенной обработки металлов, учитывающие, в частности, необходимость предупреждения внутреннего горения пламени в резаках и горелках.

*Ключевые слова:* газопламенная обработка, оборудование, инжекция, хлопок, проскок пламени, внутреннее горение, обратный удар, огнепреградительный клапан

Обязательным и одним из главных требований нормативных документов системы стандартов по безопасности труда при эксплуатации газопламенного оборудования является обеспечение устойчивого горения пламени без хлопков и обратных ударов [1, 2]. К сожалению, требования в указанных нормативных документах не носят количественной оценки и не учитывают такой фактор, как внутреннее горение пламени в резаках и горелках.

Исследования, проведенные в испытательной лаборатории завода «ДОНМЕТ», показали, что безопасность газопламенного оборудования при его эксплуатации обеспечивается при отсутствии таких фаз горения, как хлопок пламени, внутреннее горение и обратный удар.

Хлопок пламени возникает мгновенно и заканчивается затуханием пламени либо переходом его во внутреннее горение или обратным ударом. Разрушения оборудования при этом не происходит.

Внутреннее горение представляет собой стабильное горение горючей смеси внутри наконечника горелки. При внутреннем горении в течение 5...10 с с момента проскока пламени существует вероятность разрушения (прогара) наконечника горелки в области смесительной камеры (рис. 1).

Обратный удар — это проникновение ударной волны через ствол горелки в газоподводящие рукава и в газовые баллоны. Последствием об-

ратного удара (рис. 2) могут быть разрывы или прогорание газоподводящих рукавов, выход из строя редуктора и даже взрыв баллонов.

Возникновению любой из этих фаз обязательно предшествует проскок пламени, который является моментом перехода фронта пламени с наружи во внутрь мундштука. После проскока пламени происходит взрывное горение горючей смеси внутри наконечника горелки, которое сопровождается разлетом продуктов сгорания как в атмосферу, так и в газовый, и кислородный подающие каналы

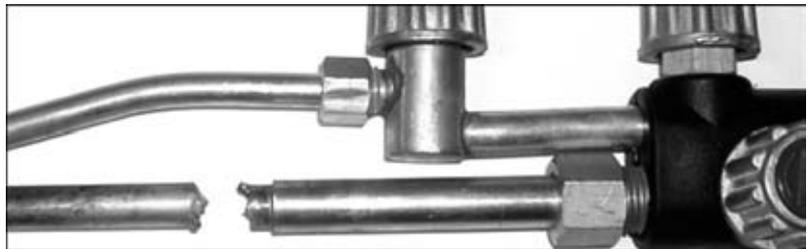


Рис. 1. Прогорание трубки наконечника в результате внутреннего горения

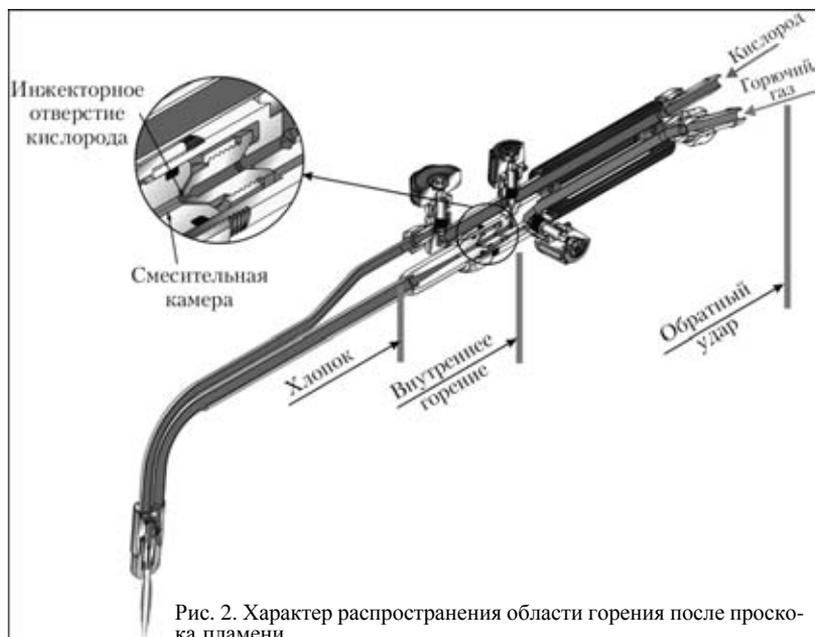


Рис. 2. Характер распространения области горения после проскока пламени

© В. А. Сергиенко, В. И. Юматова, 2006

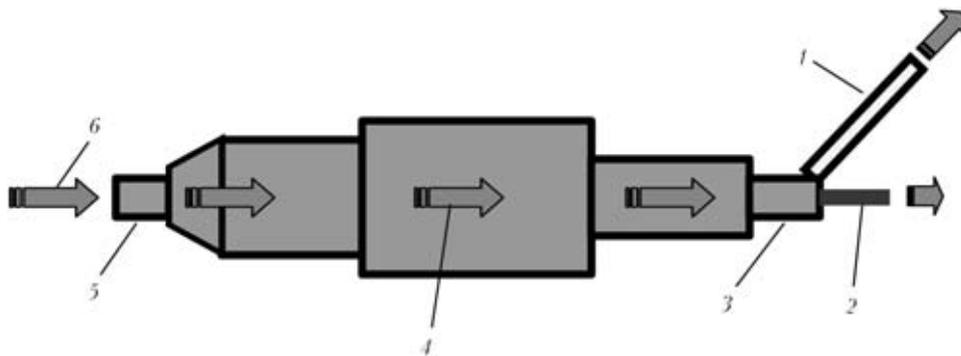


Рис. 3. Схема движения газов в каналах горелки после проскока пламени: 1 — канал горячего газа; 2 — инжекторный; 3 — смешительный; 4 — в трубке наконечника; 5 — в мундштуке; 6 — движение фронта пламени

горелки, вследствие чего кратковременно прекращается образование горючей смеси. Если к моменту образования новой горючей смеси остатки старой не успели выгореть, то вновь образовавшаяся смесь воспламеняется и горит внутри горелки с характерным свистом, что является признаком внутреннего горения. После проскока пламени развитие процесса горения условно можно разделить на указанные ниже фазы.

Фаза горения — проскок пламени в наконечник горелки происходит мгновенно с последующим взрывом горючей смеси.

Фаза расширения продуктов сгорания начинается одновременно с процессом горения и проявляется в истечении продуктов горения через три канала: канал мундштука в атмосферу 1 (не прекращается в течение всего процесса горения); центральное отверстие инжектора в канал подачи кислорода (идет противоток) 2; через боковые отверстия инжектора в канал подачи горячего газа (идет противоток) 3 (рис. 3). Изотермическое расширение газов с их истечением по указанным каналам продолжается до тех пор, пока давление продуктов горения в наконечнике горелки превышает давление в любом из газоподающих каналов.

Фаза возобновления образования горючей смеси характеризуется тем, что давление продуктов сгорания в наконечнике горелки после их расширения уменьшается и восстанавливается направление движения газов в каналах горелки. Инжектирующей струей кислорода в смешительную камеру всасывается смесь продуктов сгорания с кислородом, к которой подмешивается горючий газ, и только после этого горючий газ поступает в чистом виде; затем образуется горючая смесь и происходит заполнение полости наконечника горелки, сопровождающееся вытеснением остатков продуктов сгорания. Горение вновь образующейся смеси может начаться еще и до полного вытеснения продуктов сгорания при наличии в смеси их остатков.

Исследования параметров, влияющих на переход от проскока пламени ко внутреннему горению или обратному удару, и разработка на их основе конструктивных и технологических рекоменда-

ций, снижающих вероятность появления внутреннего горения или обратного удара после проскока пламени, должны стать основным направлением при производстве газопламенного оборудования для обеспечения его безопасной эксплуатации.

По результатам исследований, проведенных в испытательной лаборатории завода «ДОНМЕТ», уточнены требования, предъявляемые к конструкции резака.

Причины возникновения и способы предотвращения хлопков общеизвестны — это скорость истечения горючей смеси из мундштука, чистота внутренней поверхности мундштука и его температура, а также конструктивные особенности узла смешения газов.

Возникновение обратных ударов происходит вследствие наличия в рукавах или баллонах горючей смеси (горючий газ + кислород). Выявлены следующие причины попадания горючей смеси в рукава и баллоны:

баллон после заправки горючим газом заправили кислородом или после кислорода — горючим газом;

рукава, используемые ранее для подачи горячего газа или жидкого топлива, применили для подачи кислорода;

имеет место противоток кислорода в газовый канал, а затем в рукав и пр.

Первые две причины являются следствием грубого нарушения правил эксплуатации оборудования для газопламенной обработки металлов, их можно предотвратить с помощью организационно-технических мер.

Во избежание противотока кислорода в газовый канал необходимо применять обратные клапаны. Однако их конструкция не позволяет задерживать обратный удар пламени.

Для гашения пламени при обратном ударе с целью недопустить его попадания в баллоны применяются огнепреградительные клапаны, в состав которых, помимо обратного клапана, входит металлокерамическая пламегасящая вставка.

К сожалению, в нормативных документах по безопасности труда [1, 2] не содержится требований к обязательному применению огнепрегради-



тельных клапанов, они отсутствуют и в межгосударственных стандартах.

Основным способом обеспечения безопасной эксплуатации горелок и резаков являются конструктивные особенности их каналов, по которым газ и кислород движутся до и после смешивания. Учитывая физические особенности процесса горения с помощью конструктивных мер можно управлять последствиями проскока пламени для предотвращения перехода хлопка пламени в устойчивое внутреннее горение.

Специалистами завода «ДОНМЕТ» разработана методика количественной оценки безопасности горелок и резаков, которая позволяет оценить технические решения, обеспечивающие стойкость к проскоку пламени и внутреннему горению во всем диапазоне рабочих давлений горючего газа и кислорода в соответствии с требованиями ГОСТ 5191–79.

## Выводы

1. Оборудование для газопламенной обработки металлов (резаки и горелки) с целью его безопасной эксплуатации должно иметь конструктивную защиту, благодаря которой предотвращается вероятность появления внутреннего горения или обратных ударов после проскока пламени.

2. Нормативными документами не предусмотрены количественная оценка степени безопасности горелок и резаков, а также обязательный учет всех факторов, обеспечивающих безопасность труда при эксплуатации газопламенного оборудования. Так, применение огнепреградительных клапанов носит рекомендательный характер. Требуется корректировка действующих нормативных документов.

1. *ГОСТ 12.2.008–75. ССБТ. Оборудование и аппаратура для газопламенной обработки металлов и термического напыления.* — Введ. 01.01.82.
2. *ГОСТ 5191–79. Резаки инжекторные для ручной кислородной резки.* — Введ. 01.01.77.

Some design and technological aspects of ensuring safe operation of the equipment for flame metal treatment are described.

Поступила в редакцию 03.08.2006

## ПРОИЗВОДСТВО СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРАНАХ СНГ В 2005 г.\*

Оценивая состояние производства сварочных материалов в 2005 г., следует отметить положительные тенденции, обусловленные в первую очередь общим увеличением объемов производства конкурентоспособных сварочных материалов, созданием и внедрением новых сварочных материалов и технологического оборудования, расширением прогрессивных технологических процессов и др.

Рост объемов производства сварочных материалов в значительной мере определяется выпуском промышленной и строительной продукции, стали и проката прежде всего в России и Украине. Так, металлурги России произвели в 2005 г. 64,87 млн т стали, 54,4 млн т проката. Увеличение по сравнению с 2004 г. незначительное: стали на 1, проката на 1,5 %. Украина выпустила 38,6 млн т проката (объем производства стали составил 99,8 % по сравнению с 2004 г., а проката — 100,5 %).

Общий объем производства покрытых сварочных электродов в 2005 г. в странах СНГ составил 305,9 тыс. т из них 79 % приходится на предприятия Российской Федерации, 17 % Украины и

4 % остальные страны СНГ. Это свидетельствует об общем увеличении объема производства на 5 %, в том числе в Российской Федерации на 7 %, а в Украине на 3 %. Объем производства электродов по виду покрытия составил: с рутильменитовым покрытием — 174,6 тыс. т, с основным — 108,1 тыс. т. Выпуск электродов специального назначения для сварки высоколегированных сталей и цветных металлов составил 23,8 тыс. т, т. е. увеличился на 48 %.

В Российской Федерации объем производства электродов в 2005 г. составил 240,4 тыс. т, в том числе с рутильменитовым покрытием 120,1 тыс. т с основным — 97,5 тыс. т, специальных электродов — 22,8 тыс. т. В Украине соответственно выпущено 53 тыс. т, из них с рутильменитовым покрытием 42,0 тыс. т, с основным — 10,3 тыс. т, специальных электродов — 1,0 тыс. т.

Наметилась положительная тенденция увеличения производства электродов малого и среднего диаметра (2...4 мм). Их выпуск суммарно составил 270,1 тыс. т, т. е. увеличение по сравнению с 2004 г. составило 4,6 %. Электродов диаметром 5,0 и 6,0 мм изготовлено соответственно 36,3 тыс. т и 25 тыс. т.

\* Подготовлено по материалам работы расширенного заседания Совета Ассоциации «Электрод» предприятий стран СНГ (3–6 мая 2006 г., г. Бор, Нижегородская обл.).



Общий объем выпуска легированной сварочной проволоки диаметром до 2,0 мм для механизированной сварки в защитных газах составил 45,2 тыс. т, из них диаметром 0,8...1,4 мм — 25,36 тыс. т. В Российской Федерации изготовлено 33,4 тыс. т, из них диаметром 0,8...1,4 мм — 18,2 тыс. т, а в Украине — 11,8 тыс. т из них диаметром 0,8...1,4 мм — 7,2 тыс. т.

По сравнению с 2004 г. общий объем выпуска проволоки в СНГ уменьшился на 8 %. При этом в Российской Федерации объем производства вырос на 2 %, а в Украине на 35 % уменьшился. Особенно следует подчеркнуть тенденцию роста производства и потребления омедненной проволоки, которая по заказам поставляется в нужном количестве на шпулях и катушках с рядной намоткой массой от 5 до 15 кг и более. Основными поставщиками такой проволоки являются предприятия-члены Ассоциации: ОАО «Межгосметиз-Мценск», ОАО «ММК — Метиз», ОАО «ЧСПЗ», ОАО «ОСПЗ», ЗАО «Северсталь-Метиз». В 2005 г. омедненной проволоки изготовлено 12,6 тыс. т, т. е. увеличение по сравнению с прошлым годом составило 217 %.

Сварочной и наплавочной порошковых проволок в 2005 г. изготовлено 4401,8 т, из них сва-

рочной — 1996,3 т, наплавочной — 2965,2 т в том числе 200 т порошковой наплавочной ленты. По сравнению с 2004 г. объемы выпуска остались практически на одном уровне. Объем производства порошковой проволоки в Российской Федерации составил 2965,2 т, сварочной — 1380,2 т, а наплавочной — 1585 т. Украине произведено 1436,6 т порошковой проволоки, в том числе сварочной — 616,1 т, наплавочной — 620,5 т и ленты — 200 т.

Сварочных флюсов произведено в 2005 г. 37779,8 т, в том числе в Российской Федерации 12472,8 т, в Украине — 25307 т. Объем производства сварочного флюса по сравнению с 2004 г. в России увеличился на 18 %, а в Украине на 4 % снизился.

В 2005 г. общий объем производства сварочных материалов составил 393280 т, в том числе для механизированной сварки 87465 т. На долю выпуска сварочных материалов для механизированной сварки приходится 22 % общего выпуска.

Данные подтверждают общий рост производства сварочных материалов, в том числе и для механизированных процессов сварки.

П. В. Игнатченко, Исп. директор, А. И. Бугай,  
Президент Ассоциации «Электрод»

## НОВОСТИ

### В мире цифровой плазменной сварки

Новая установка PlasmaModule 10 открывает мир цифровой плазменной сварки как для ручного, так и механического или автоматического применения при жестких требованиях качества. К ее преимуществам можно отнести полное отсутствие

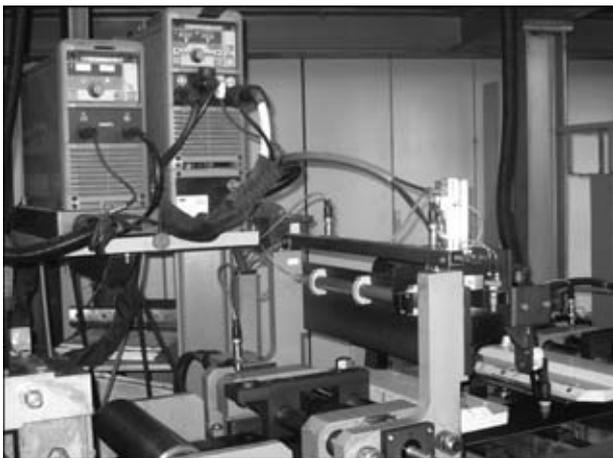


Рис. 1. Сварочная установка PlasmaModule 10 особенно удобна при сварке легированных и нелегированных сталей, где качество шва имеет решающее значение

разбрызгивания при сварке, повышенную скорость сварки, уменьшение деформации деталей по сравнению с процессом ТИГ (сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа), небольшие зоны термического влияния, относительно большую длину дуги и отсутствие длительного процесса подготовки шва. Плазменная сварка является заманчивой альтернативой для сварки листов и других деталей с толщиной до 8 мм. Она также удобна при выполнении ремонтных работ и при пайке практически во всех областях обработки и применения стали, особенно при работе со сплавами.

Установки плазменной сварки от Fronius имеют модульную конструкцию (рис. 1). Цифровая установка PlasmaModule 10 включает источник питания ТИГ, блок охлаждения и плазменную горелку, что составляет полную установку для плазменной сварки. Рекомендованными источниками питания являются MagicWave 2200 или TransTig 2200 (или более мощные версии этих моделей). Сейчас пользователи могут использовать установки сварки для ТИГ от Fronius в качестве установок для плазменной сварки и при необходимости пе-



Рис. 2. Новая установка PlasmaModule 10 в сочетании с системами сварки ТИГ от Fronius создает заманчивую альтернативу лазерной сварке

реоснащать их обратно в стандартные установки ТИГ.

К другим положительным качествам цифровой установки PlasmaModule 10 по сравнению с аналоговыми плазменными установками относятся электронная система регулировки газа и полностью цифровой процесс управления, что обеспечивает 100%-ю воспроизводимость результатов. Системой также может управлять извне внешний интерфейс робота.

Износ вольфрамового электрода снижен до минимума, поскольку расположен в сопле и не погружается в сварочную ванну. Ток высокой плотности проникает в изделие до глубины, которая обычно достигается только при использовании лазерного пучка. Пользователь может применять присадочный металл точно таким же образом, как и при сварке ТИГ. Установки для плазменной сварки от Fronius идеально подходят для выполнения соединений трубных фланцев. Механиз-

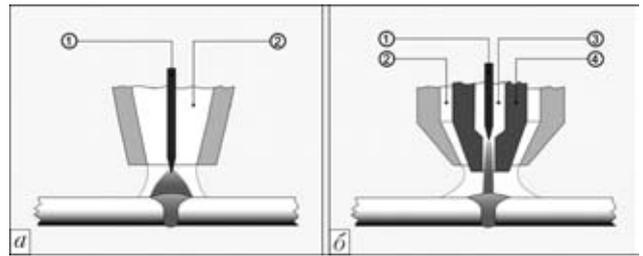


Рис. 3. При сравнении со сваркой ТИГ (а) плазменная сварка (б) открывает новые возможности применения и дает многочисленные преимущества: 1 — вольфрамовый электрод; 2, 3 — защитный и плазменный газ; 4 — сопло для плазмы

ированные или автоматизированные установки можно собирать из стандартных модульных комплектов и в отличие от традиционной сварки ТИГ плазменную сварку можно также использовать как процесс с парогазовым каналом (рис. 2).

Процесс плазменной сварки подобен сварке ТИГ, но основным его отличием является использование охлаждающего сопла для сужения плазменной дуги (рис. 3). Плазма образует газ с носителями положительного заряда (ионами) и носителями отрицательного заряда (электронами), и именно эти ионы и электроны являются отличительной чертой плазмы. Для образования плазмы необходима высокая температура, а в установке PlasmaModule 10 температура достигает 25000°C. Как известно, плазма это «четвертое агрегатное состояние вещества», наряду с твердым, жидким и газообразным.

В 2005 г. товарооборот компании Fronius, штат которой составляет 1600 чел., достиг приблизительно 200 млн евро. В сфере металлообработки семейная компания считается международным лидером в области технологий дуговой сварки. Fronius предлагает своим покупателям сварочные установки с ручным или полностью автоматическим управлением для высококачественной и рентабельной обработки. Техническая поддержка пользователей осуществляется 10 дочерними компаниями и 82 партнерами по продажам и обслуживанию во всем мире. Кроме сварочной технологии, компания также занимается электро-микой на солнечных батареях и системами зарядки аккумуляторных батарей.

УДК 621.79(088.8)

## ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА\*

**Плазменная горелка**, содержащая катод и электрод, имеющие соединительные концы, приспособленные для коаксиального телескопического соединения друг с другом на центральной продольной оси горелки, и входящие во взаимное

зацепление фиксаторы на соединительных концах катода и электрода, причем по меньшей мере один из фиксаторов выполнен с возможностью упругого перемещения главным образом в радиальном направлении относительно центральной продольной оси горелки между не изогнутым состоянием и изогнутым состоянием. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2267386. Д. А. Робертс, К. Д. Хорнер-Ричардсон, Д. А. Смолл (Терминал Динамикс Корпорейшн, США) [1].

\* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетене РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2006 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



**Способ электродуговой сварки плавящимся электродом угловых швов тавровых соединений**, отличающийся тем, что электрод направляют на стенку выше полки на 0,3...0,5 толщины стенки при угле наклона 30...40°, а его ось и продольная ось поперечного сечения стенки пересекаются в точке, расположенной на прилегающей поверхности полки. Патент РФ 2267387. А. К. Олейник [1].

**Способ сварки конструктивного элемента с магистральным трубопроводом**, находящимся под давлением, отличающийся тем, что конструктивный элемент на зачищенный участок трубопровода устанавливают с зазором более 0,5 мм, а на внутренней поверхности торцов свариваемых конструктивного элемента и технологических колец обратным скосом на глубину 1,0...1,5 мм под углом 30...45° образуют полость, которую при сварке частично заполняют расплавленным металлом. Патент РФ 2267388. В. С. Бут, В. Н. Коломеев, М. Н. Дрогоморицкий и др. (Дочерняя компания «Укртрансгаз») [1].

**Технология изготовления смеси компонентов электродного покрытия для производства сварочных электродов**, включающая грубое дробление и перемешивание компонентов электродного покрытия, отличающаяся тем, что компоненты смешивают с водой в соотношении 1:1 и дополнительно проводят одновременное измельчение и перемешивание компонентов в автономной гидроквантовой резонансной установке, создающей резонансные явления при движении потока смеси компонентов с водой с повторением циклов измельчения и перемешивания до получения однородной смеси с диаметром частиц до 10 мкм, затем полученную смесь подают на сушку. Патент РФ 2267389. М. М. Манианов [1].

**Способ диффузионно-реактивного соединения металлов и сплавов**, при котором собранные детали нагревают до температуры, превышающей температуру образования эвтектики между основным металлом и металлом-депрессантом, отличающийся тем, что для повышения качества соединения путем уменьшения толщины жидкой прослойки в шве и расширения технологических возможностей способа вследствие обеспечения выполнения различных типов соединений детали собирают с фиксированным минимальным по ширине соединяемым зазором, а металл-депрессант размещают непосредственно около этого зазора. Патент РФ 2268120. В. С. Несмих, К. А. Ющенко, Т. Н. Кушнарева (МО «Интерм») [2].

**Способ автоматической электродуговой наплавки изделий типа тел вращения**, отличающийся тем, что наплавку осуществляют в нижнем положении расположенным в зените электродом непрерывной дугой при размещении оси электрода и оси поворота детали в вертикальной плоскости, по меньшей мере, в два захода с последовательным формированием, по меньшей мере, двух валиков и размещением продольных участков последующего валика между продольными участками ранее наплавленного валика, при этом образование продольных участков производят путем перемещения электрода вдоль оси неподвижного изделия, а дугообразных участков — путем поворота изделия при неподвижном электроде. Патент РФ 2268121. П. Б. Перегудин, С. Б. Перегудин, Б. П. Перегудин (ООО «Директ») [2].

**Способ дуговой наплавки неплавящимся электродом**, при котором в сварочную ванну подают присадочную проволоку и производят растяжение сварочной ванны, отличающийся тем, что сварочную горелку и присадочную проволоку устанавливают под острым углом к нормали к наплавляемой поверхности, присадочную проволоку подают в зону анодного пятна сварочной дуги за горелкой по направлению сварки, создают сварочную ванну и растягивают ее в направлении

присадочной проволоки. Патент РФ 2268122. М. А. Масленников, А. В. Туров, И. В. Столяров (ОАО «Пермский моторный завод») [2].

**Маска сварщика**, включающая пространственный корпус, образованный лицевой, боковыми, верхней и нижней стенками, лицевая стенка выполнена прямоугольной, верхняя и нижняя стенки имеют форму равнобедренной трапеции, каждая боковая стенка выполнена трапециевидной, большая сторона которой выполнена по ломаной линии, а меньшая сторона образует боковую сторону лицевой стенки, стенки выполнены из одной заготовки и соединены между собой по углам маски, образующим пространственный корпус. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2268123. М. К. Омаров, А. Л. Чистов [2].

**Способ получения биметаллов, в состав которых входит алюминий**, отличающийся тем, что заготовки из алюминия или его сплавов предварительно нагревают до температуры, равной (0,68...0,76) температуры плавления алюминия, пакет деформируют осадкой с высотным обжатием (10...30) % при скорости деформации (0,005...0,75) с<sup>-1</sup> и длительности контакта слоев не менее 5 с при условии расплавления легкоплавкого покрытия прослойки в зоне контакта. Патент РФ 2268124. Н. Д. Лукашкин, А. Н. Лукашкин (Московский государственный вечерний металлургический институт) [2].

**Установка для изготовления трубчатых переходников цирконий-сталь**, отличающаяся тем, что она снабжена дополнительными роликовым раскатником, предназначенным для поверхностного горячего деформирования внутренней поверхности циркониевой части переходника, высокочастотным нагревателем для отжига и силовым штоком-подъемником с приводом, которые установлены на одной оси. Патент РФ 2268125. А. Н. Семенов, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев (ФГУП «НИКИ энерготехники им. Н. А. Доллежалея») [2].

**Припой, по существу не содержащий свинец**, содержащий 91,39 % олова, 4,1 % серебра, 4,0 % индия, 0,5 % меди и 0,01 % фосфора. Патент РФ 2268126. К. Х. Чу, В. Ч. Пан (Сингапур Асахи Кемикал энд Солдер Индастриз Пи-Ти-И Лтд., Сингапур) [2].

**Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла**, отличающееся тем, что оно содержит дополнительно глицерин при следующем содержании компонентов, г на 1 л воды: 200...220 сульфитно-спиртовой барды; 120...150 глицерина. Патент РФ 2268127. В. Т. Федько, Е. А. Зернин, П. Д. Соколов и др. (Томский политехнический университет) [2].

**Электрод для сварки высокопрочных сталей перлитного и аустенитного класса**, состоящий из металлического стержня и покрытия, отличающийся тем, что металлический стержень выполнен из стали марки 10X19H23Г2М5ФАТ (ЭП-868), а покрытие электрода дополнительно содержит кварцевый песок при следующем соотношении компонентов, мас. %: 34,0...49,0 мрамора; 28,0...45,0 плавикового шпата; 3,0...5,0 кварцевого песка; 3,0...8,0 ферротитана; 2,0...5,0 ферросилиция; 2,0...8,0 марганца металлического; 2,0...6,0 феррованадия; 23,0...28,0 жидкого стекла натриевого (к массе сухой смеси). Патент РФ 2268128. В. А. Малышевский, А. Б. Баранов, В. П. Леонов и др. (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей») [2].

**Электрод для сварки высокопрочных хладостойких низколегированных сталей**, отличающийся тем, что покрытие содержит дополнительно железный порошок, комплексную лигатуру, рутиловый концентрат и никелевый порошок при



содержании компонентов в покрытии в следующем соотношении, мас. %: 35,2...48,6 мрамора; 17,0...24,0 плавикового шпата; 4,0...10,0 кварцевого песка; 6,0...12,0 рутилового концентрата; 10,0...15,0 железного порошка; 0,4...0,8 никелевого порошка; 8,0...12,0 комплексной лигатуры; 23,0...28,0 жидкого стекла натриевого (к массе сухой смеси). Патент РФ 2268129. В. А. Малышевский, А.В. Баранов, В. П. Леонов и др. (То же) [2].

**Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией сварочного тока**, отличающийся тем, что частоту дополнительных импульсов выбирают большей 50 Гц, а длительность от 0,5 до 2 мс, причем длительность основных импульсов и пауз регулируют автоматически в функции отклонения среднего напряжения дугового промежутка от заданного изменением длины дуги. Патент РФ 2268809. А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, В. Л. Князьков (Томский политехнический университет) [3].

**Сварочный выпрямитель**, отличающийся тем, что вторичная обмотка первого трансформатора выполнена из двух полуобмоток, соединенных согласно последовательно, и общая точка соединения которых подключена к одному выводу дросселя, начало одной вторичной полуобмотки первого трансформатора соединено последовательно с началом и концом одной пары вторичных обмоток второго трансформатора. Патент РФ 2268810. М. А. Мельников, В. В. Коваленко (Ставропольский государственный аграрный университет) [3].

**Способ контактно-стыковой сварки трубы с заглушкой**, отличающийся тем, что часть заглушки располагают в электроде свободно с возможностью ее радиального перемещения в процессе сварки, а требуемую соосность трубы и заглушки получают при вдавливании ее внутрь трубы. Патент РФ 2268811. А. А. Кислицкий (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») [3].

**Установка для герметизации трубчатых элементов**, отличающаяся тем, что соединение цанговых захватов со штоками своих приводов выполнено шарнирно, а цанговый захват заглушки имеет диаметр отверстия, превышающий диаметр части заглушки, размещаемой в этом отверстии, не менее чем на величину несоосности центральных отверстий цанговых захватов. Патент РФ 2268812. А. А. Кислицкий, А. М. Лузин (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») [3].

**Устройство для сборки и сварки панелей с сотовым наполнителем** из металлической гофрированной ленты с отбортовками и листовых обшивок, включающее две головки с роликовыми электродами, токопроводящую гребенку с профилем, соответствующим конфигурации сотового наполнителя, каретку с тормозами для крепления обшивок, приводы перемещения гребенки и каретки, отличающееся тем, что гребенка выполнена в виде закрепленных консольно в корпусе с зазором одна относительно другой верхней и нижней частей, включающих набранные в ряды пакеты пластин из токопроводящего металла, а подключение к источнику питания роликовых электродов выполнено по двухсторонней схеме сварки, причем величина зазора между частями гребенки установлена с возможностью перемещения листовой проставки сотовой панели при ее подаче в зону сварки. Патент РФ 2268813. М. А. Уржунцев, В. А. Холманский, А. С. Липатов и др. (ОАО «НПО «Поволжский авиационный технологический институт») [3].

**Способ обработки изделия**, включающий приведение в относительное движение изделия и мощного луча в пересекающем направлении с тем, чтобы подвергнуть воздействию мощного луча ряд положений на изделии, и в каждом поло-

жении приведение мощного луча в движение во множестве направлений по отношению к изделию заранее заданным образом, за счет чего в каждом положении материал изделия плавят и перемещают под действием мощного луча таким образом, чтобы сформировать углубление или отверстие. Патент РФ 2268814. Б. Г. И. Данс (Дзе Велдинг Инститьют, Великобритания) [3].

**Способ сварки трением трубчатых деталей**, отличающийся тем, что проточку выполняют во втулке, имеющейся на одной из деталей, при этом диаметр проточки выбирают равным (0,8...0,95) внутреннего диаметра сварного соединения, а длину проточки и толщину стенки втулки выбирают равной (1,6...4,0) и (0,25...0,50) толщины стенки сварного соединения соответственно. Патент РФ 2268815. Л. А. Лагинян (ФГУП СКБ «Геотехника») [3].

**Способ контактной сварки с одновременной простановкой двух сварных точек**, преимущественно коаксиально расположенных деталей, отличающийся тем, что сжатие выполняют с образованием линии контакта вдоль образующей деталей, а нагрев осуществляют сначала с образованием зоны с повышенной пластичностью по линии контакта вдоль образующей деталей, в которой образуют участки соединения диффузионного характера, а при дальнейшем нагреве образуют участки литого ядра в средней части сварных точек. Патент РФ 2269400. А. А. Кислицкий, А. М. Куркин, А. Б. Александров, А. В. Струков (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») [4].

**Способ лазерной сварки металлов**, отличающийся тем, что дополнительно перед плавлением испаряют тугоплавкие и оксидные пленки с поверхности металла, а после плавления металл подвергают термообработке при температурах ниже температуры плавления, причем испарение, плавление и термообработку осуществляют импульсом сложной формы, имеющим крутой передний фронт, достигающий максимального значения, соответствующего плотности мощности, необходимой для испарения пленок, и плавно ниспадающий задний фронт, содержащий два платообразных участка, верхний из которых имеет плотность мощности, обеспечивающую плавление материала, а нижний соответствует плотности мощности, необходимой для поддержания заданной температуры термообработки. Патент РФ 2269401. В. Н. Мышковец, А. В. Максименко, С. В. Шалупаев и др. (Гомельский госуниверситет) [4].

**Способ изготовления крупногабаритной плиты-охладителя с продольным водоохлаждающим каналом**, отличающийся тем, что стенку устанавливаемой в водоохлаждающий канал трубы предварительно гофрируют спиралевидно расположенным гофром и после заполнения зазора расплавленным припоем до начала его кристаллизации раздают внутреннюю полость гофрированной трубы пробойником. Патент РФ 2269402. Н. Н. Хованов, В. М. Ефимов, В. В. Петров, А. П. Черный [4].

**Способ зажигания дуги с контролируемым прилипанием электрода при ручной дуговой сварке**, отличающийся тем, что для создания контролируемого прилипания в момент касания электродом детали формируют кратковременный начальный режим горячего пуска с повышенным током для нагрева электрода, режим ограничения тока короткого замыкания осуществляют током, достаточным для поддержания электрода в нагретом состоянии, а возбуждение дуги в момент отрыва электрода от детали осуществляют повторным режимом горячего пуска с повышенным током. Патент РФ 2270080. В. С. Милютин, А. А. Морозов (ЗАО «Уралтермосвар») [5].



**Способ контактной точечной сварки металлов с высокой электропроводностью**, при котором между свариваемыми поверхностями деталей размещают металлическую прослойку, отличающийся тем, что в качестве прослойки используют порошкообразный самофлюсующийся хромоникелевый сплав с высоким электропротивлением марки ПГ-СР с общим содержанием Ni и Cr 70...80 %, остальное — С, Si, Mn, В, Fe, при этом указанный порошкообразный сплав наносят толщиной не более 0,3 мм на поверхность свариваемой детали. Патент РФ 2270081. В. С. Федянин (ОАО «Ульяновский автомобильный завод») [5].

**Автоматическая линия для изготовления сеток**, отличающаяся тем, что устройство подачи продольных проволок включает направляющие устройства, устройство контроля натяжения продольной проволоки, правильный механизм, устройство пошаговой подачи продольной проволоки. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2270082. А. Б. Белов, Ю. Г. Дузенко, К. Д. Журавлев и др. [5].

**Способ сварки трением с перемешиванием** с комбинированным жидкостно-газовым охлаждением места сварки, отличающийся тем, что охлаждающую жидкость из перемещающегося вместе с инструментом охлаждающего кольца распыливают ограниченно по месту в тыльной зоне и смежных с инструментом боковых зонах места сварки, дополнительно осуществляют газовое охлаждение с использованием перемещающегося вместе с инструментом газового сопла, при этом обдувают охлаждающим газом спереди инструмент и поступающую из охлаждающего кольца охлаждающую жидкость. Патент РФ 2270083. Г. Шегльманн, Ф. Пальм, К. Ретхер (Заде Дойчланд ГмбХ, Германия) [5].

**Способ сварки рельсовых стыков**, отличающийся тем, что предварительно осуществляют механическую обработку кромок рельсов или кромки одного из рельсов, включающую выполнение поперечного разреза по вертикальной плоскости от головки до начала подошвы рельса, выполнение горизонтального разреза по торцевой поверхности рельса перпендикулярно ранее произведенному разрезу и снятие на торцевой поверхности подошвы фаски с притуплением у основания подошвы рельса, а образование жидкой ванны в корне шва осуществляют расплавлением кромок основного металла рельсов. Патент РФ 2270739. Г. Г. Воробьев (ФГУП ВНИИЖТ) [6].

**Универсальный сварочный генератор**, содержащий статор с первой трехфазной обмоткой, выполненной с возможностью соединения в «звезду» или в «треугольник» и связанной с нагрузкой через первый трехфазный силовой выпрямитель, вторую трехфазную обмотку, второй трехфазный силовой выпрямитель, обмотку возбуждения, ротор, трансформатор тока и переключатель. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2270740. А. П. Гришко [6].

**Способ сварки взрывом**, отличающийся тем, что вдоль боковой поверхности неподвижного листа на линии, совпадающей с направлением волны детонации, рядами, по крайней мере в одной обойме из изоляционного материала, на заданном расстоянии друг от друга устанавливают стержневые датчики, выполненные высотой, увеличивающейся в направлении, перпендикулярном направлению волны детонации, с возможностью контактирования их концов с метаемым листом при инициировании заряда ВВ, фиксируют импульсы,

возникающие при контактировании метаемого листа с концами датчиков для определения угла соударения свариваемых листов, скорости перемещения точки контакта метаемого листа с неподвижным листом и скорости полета метаемого листа. Патент РФ 2270741. О. Б. Дреннов, О. А. Бурцева, В. Ф. Герасименко и др. (Минатом РФ, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ») [6].

**Способ получения композиционного сталеалюминиевого переходника**, включающий последовательную сварку взрывом стального плакируемого листа с двумя плакирующими листами из алюминия, отличающийся тем, что плакируемый стальной лист предварительно хромируют до получения по всей поверхности слоя толщиной 0,03...0,07 мм, а при приварке первого плакирующего листа заряд помещают в закрытый контейнер, разделенный в направлении фронта детонации на отдельные прямоугольные секции шириной не более двух высот заряда. Патент РФ 2270742. В. И. Кузьмин, В. И. Лысак, А. Н. Кривенцов, О. В. Строков (Волгоградский ГТУ) [6].

**Припой для соединения монокристаллов алмаза с металлами**, содержащий серебро, медь, олово, титан, отличающийся тем, что он дополнительно содержит карбид титана и карбид кремния при следующем соотношении компонентов, мас. %: 14,4..18,4 меди; 14,4..18,4 олова; 14,4..18,4 титана; 4,5...15,6 карбида титана; 0,3..0,7 карбида кремния; 38,0...43,0 серебра при соотношении серебра, меди, олова и титана 3,1:1,2:1,2:1,2. Патент РФ 2270743. М. И. Самойлович, А. В. Ивахин, В. Н. Пастушенко, В. С. Крапошин [6].

**Способ дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде защитных газов**, отличающийся тем, что устанавливают базовое напряжение на дуге, равное оптимальному напряжению в среде газа или смеси с минимальным потенциалом ионизации, а разницу между максимальным и минимальным значением напряжения на дуге в периоды предыдущего и последующего импульсов подачи газов или смесей устанавливают в пределах 1...7 В. Патент РФ 2271266. Э. П. Радько, О. М. Новиков, А. С. Носков и др. (ОАО «Дукс») [7].

**Способ электрошлаковой наплавки торцов цилиндрических изделий** в вертикальном положении, включающий наведение шлаковой ванны в объеме, ограниченном наплавляемой поверхностью и секционным кристаллизатором, который содержит токоподводящую и формовочную секции, поддержание температуры поверхности кристаллизатора выше температуры резкого повышения вязкости используемого шлака, вращение шлаковой ванны, поддержание нижнего уровня шлаковой ванны на расстоянии не более толщины наплавляемого слоя от нижнего края токоподводящей секции и заданной величины сварочного тока. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2271267. И. В. Зорин, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак, С. Н. Цурихин (Волгоградский ГТУ) [7].

**Устройство для сварки секционных отводов трубопроводов**, отличающееся тем, что оно снабжено трубчатой балкой, жестко связанной одним концом с поворотным шпинделем, а другим — с корпусом узла для закрепления отвода, а подвижный по высоте верхний корпус опорного узла с закрепленной на нем площадкой смонтирован в опорах нижнего корпуса с возможностью взаимодействия с закрепленной на трубчатой балке опорной, площадкой при остановке вращения шпинделя. Патент РФ 2271268. Н. Д. Засульский [7].



## По зарубежным журналам\*

*JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2005. — Vol. 74, № 2 (яп. яз.)*

### Technical Information — Special Issue

**Horita Z.** Формирование мелкозернистой структуры при ротационной ковке с высокими обжатиями, с. 4–7.

**Tsuji N.** Формирование мелкозернистой структуры в конструкционных металлических материалах под действием деформационного упрочнения, с. 8–12.

**Torizuka Sh.** Критерий оценки сверхмелкозернистой стали после наклепа с высокой Z-деформацией, с. 13–17.

**Tsukamoto S.** Способы сварки сверхмелкозернистой стали и свойства полученных сварных соединений, с. 18–24.

**Sato Y. S., Kokawa H.** Сварка трением с перемешиванием мелкозернистых алюминиевых сплавов, полученных ротационной ковкой с высокими обжатиями и совместной сваркопраткой, с. 25–28.

**Tanaka M.** Курс лекций. Поведение дуги при сварке А-ТИГ, с. 29–35.

**Punshon C. S.** Курс лекций для практикующих инженеров. Применение ЭЛС при пониженном давлении в энергетике (на англ. яз.), с. 36–39.

*PRAKTIKER (Германия) 2005. — № 10 (нем. яз.)*

**Оптимизация** лазерных процессов. Сварка, резка, с. 282–283.

**Иновационные** цены лазерной техники, с. 283.

**Danzer W.** Лазерная сварка. Ч. 1. Контроль защитного действия газов при сварке стали, с. 284–287.

**Herrmann J.** Проблемы с азотом и воздухом при лазерной сварке, с. 288–289.

**Tatter U.** Ремонтная сварка старых стальных конструкций, ч.1, с. 290–292.

**Frank C.** Ручная сварка Nd:YAG-лазером. Ч. 3. Сервис в аварийных случаях, инструмент и формы, с. 293–295.

**Zinke M., Schroder J.** Сварка плавящимся электродом в защитном газе высоколегированных материалов и импульсной подачей проволоки, с. 304–306.

**Grieger J., Michel G.** Мобильная система для ручной лазерной сварки, с. 308–309.

*PRAKTIKER (Германия) 2005. — № 11 (нем. яз.)*

**Упрочнение** автомобильных передач струей стальной крошки, с. 314.

**Рост** оборота благодаря интернету — положительное влияние web-страниц на малые и средние предприятия, с. 315–316.

**Killing R.** Сварка плавящимся электродом в активном газе «очень короткой струйной дугой», с. 318–321.

**A. von Busse et al.** Система контроля качества online при лазерной сварке термопластов, с. 322–324.

**Keimig B.** Роботизированная сварка МИГ автоматически отделяющихся систем защиты из алюминия, с. 326–328.

**Korth D., Robenack K.-D.** Техника безопасности при термической резке, с. 330–333.

**Sheikhi S., J. F. dos Santos.** Возможности роботизированной сварки с перемешиванием (FSW), с. 334–335.

**Vollrath K.** Компетентность и оказание услуг при изготовлении деталей из листов, с. 338–342.

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



## PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2005. — № 7 (пол. яз.)

**Gorka J.** Влияние ремонтной сварки на свойства соединения стали с термомеханической обработкой, с. 3–7.

**Pasternak J. et al.** Процедура испытаний ударной вязкости сварных соединений, с. 8–10.

**Lomozik M. L., Kubiszyn I.** Многослойная сварка стали и цифровой анализ тепловых циклов в районах влияния тепла, с. 15–18.

**Pakos R.** Влияние температуры предварительного нагрева на твердость соединения, с. 19–22.

**Kolbusz R., Wojciechowski W.** Избранные проблемы, касающиеся сварки спеченных металлокерамических деталей, с. 23–24.

## PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2005. — № 8 (пол. яз.)

**Czuchryj R. et al.** Методика испытания разрушения сварных соединений, с. 3–5.

**Pakos R.** Оценка пригодности источников тока для метода сварки МАГ с крутопонижающейся статической характеристикой, с. 6–8.

**Zimmerman J.** Распределение температур в процессе нагрева трением керамики с алюминием, с. 17–20.

**Blezien M.** Ограничения применения и развития лазерной сварки (дискуссионная статья), с. 21–23.

## PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2005. — № 9-10 (пол. яз.)

**Zsubryt M.** Деятельность Польского сварочного центра совершенствования в повышении конкурентоспособности сварочной отрасли, с. 23–25.

**Zeman W.** Рынок сварки в начале 2000-х годов, с. 26–29.

**Zimmerman J.** Термомеханические эффекты в процессе сварки трением с перемешиванием керамики и алюминия, с. 32–34.

**Pakos R.** Место и роль конструктора при выборе качества сварных соединений, с. 35–37.

## PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2005. — № 11 (пол. яз.)

**Lata T.** Оценка пригодности волновой трансформации для диагностики внутренних дефектов в листах, с. 3–7.

**Pocica A., Nowak A.** Сварные стальные конструкции, с. 8–10.

**Lagoda T.** Оценка усталостной прочности соединений, свариваемых при сгибе со скручиванием, с. 15–20.

## SCHWEISS-&amp; PRUEFTECHNIK (Австрия) 2005. — № 10 (нем. яз.)

**Bruckner J.** Процесс соединения алюминия со сталью, с. 147–149.

**Угловое** шлифовальное устройство машины для шлифовки сварных швов, с. 156–157.

**Самозащитная** порошковая проволока нового поколения, с. 157–158.

## SCHWEISS-&amp; PRUEFTECHNIK (Австрия) 2005. — № 11 (нем. яз.)

**Goecke S.-F.** Экономичный способ соединения чувствительных к теплу материалов, с. 165–168.

**Роботизированная** роликовая сварка, с. 169.

## SCHWEISS-&amp; PRUEFTECHNIK (Австрия) 2006. — № 1 (нем. яз.)

**Schabereiter H.** Ручная дуговая сварка в век автоматизации, с. 3–8.

**Программное** обеспечение для нового поколения цифровой радиографии, с. 12.

**Schmidt G.** Сотрудничество с Индонезией в области сварки, с. 14–15.

## SOLDADURA y TECNOLOGIAS de UNION (Испания) 2005. — Año XVI, № 91, Enero/Febrero (исп. яз.)

**Taibo J., Garcia J. M.** Проблемы сварочного производства, с. 20–26.

**Gil-Negrete A.** Первый этап аттестации процесса высокотемпературной пайки, с. 28–30.

## SOLDADURA y TECNOLOGIAS de UNION (Испания) 2005. — Año XVI, № 93, Mayo/Junio (исп. яз.)

**Guilemeny J. M. et al.** Анализ стойкости к коррозии в морской среде покрытия из нержавеющей стали UNS S3 1600, нанесенного способом высокоскоростного газотермического напыления, с. 16–19.

**Caballero J.** Основы термитной сварки и некоторые характеристики процесса, с. 20–26.

**Azpiroz X.** Механические свойства соединений алюминиевого сплава А2017, выполненных методами сварки плавлением, в твердом состоянии, лазерной и сварки трением с перемешиванием — преимущества и недостатки, с. 28–32.



*SOLDADURA TECNOLOGIAS DE UNION (Испания) 2005. — Año XVI,  
№ 94, Julio/Agosto (исп. яз.)*

**Pietras A. et al.** Контактная сварка трением с перемешиванием алюминия с медью, с. 14–21.

**Agamburu A. et al.** Проверка разных моделей прогнозирования деформаций при сварке панелей судов из углеродистых, нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов, с. 22–33.

**Schmidt Ch. V.** Размерный контроль сварных конструкций, с. 65–67.

*SOUDEGE et TECHNIQUES CONNEXES (Франция) 2005. — Vol. 59,  
№ 3/4 (фран. яз.)*

**Производительность** ускоряет темп на мировом рынке судостроения, с. 6–7.

**Трамваи** фирмы АЛЬСТОМ продолжают привлекать внимание крупных городов, с. 8.

**Начало** производства военного самолета AIRBUS, с. 9–10.

**Участие** Института сварки в подготовке яхт к участию во всемирной регате, с. 11.

**Роботизированный** участок для автомобильной промышленности, с. 12.

**Легко** штампуемые марганцевые стали, с. 13.

**Комиссариат** по атомной энергии разрабатывает модель по прогнозированию появления дефектов в материалах, подверженных облучению, с. 14.

**Фирма** Боинг сокращает на 50% время сборки новых самолетов 737, с. 16.

**Немецкая** фирма Dillinger Huette оптимизирует процессы производства толстолистовых материалов, с. 17.

**Орбитальная** сварка МИГ-МАГ, с. 30–34.

**Газопламенная** пайка и фальцовка, с. 35–39.

*SOUDEGE et TECHNIQUES CONNEXES (Франция) 2005. — Vol. 59,  
№ 7/8 (фран. яз.)*

**Увеличение** морских грузоперевозок способствует активизации работ в области судостроения, с. 6–7.

**Службы** Института сварки официально утверждены на выполнение контроля газовых установок, с. 8.

**Объединение** фирм Snecma и Sagem будет называться Safran, с. 9.

**Возрастающая** зависимость алюминия и глинозема от потребления электроэнергии, с. 10.

**Гражданская** авиация начала поставку последнего вертолета EC145, с. 11.

**Австрийская** фирма Pottinger по производству сельхозтехники оборудовала свои сварочные посты цифровыми системами управления, с. 12.

**ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК** доказывает эффективность морских ветряных электростанций, с. 13.

**Сварка** трением с перемешиванием — высокий уровень качества и чистоты, с. 14.

**Применение** сварки с холодным переносом металла в листовых соединениях, с. 15.

**Мир** сварки встретился в Эссене, с. 18.

**12-я** Международная конференция JOM-12 по соединению материалов / 4-я Международная конференция по образованию в области сварки, Дания, 20–23 марта 2005 г., с. 25–26.

**Усталостные** испытания крупногабаритных сварных конструкций, с. 27–33.

**Свариваемость** нержавеющей сталей. Лазерная сварка, с. 35–38.

*SUDURA (Румыния) 2005. — Vol. XV, № 6 (рум. яз.)*

**Dumbrava D. et al.** Исследование амплитуды деформации изгиба при сварке стержней, с. 5–10.

**Vanschen W.** Плазменная резка. Ч. 23. Эффективность и качество, охрана труда и техника безопасности, с. 13–16.

**Aichele G., Bar M.** Орбитальная сварка — решение сложных проблем по сварке, с. 17–19.

**Tatter U.** Износ трубопроводов для подачи газа, используемого при сварке и резке, с. 20–26.

**Avramovici S., Belu I.** Технологические аспекты сварки дуплексных сталей URANUS 45 N-W1.4462, используемых при изготовлении складских помещений, резервуаров для речных транспортных судов длиной 110 м, с. 27–31.

*SPAJANIE METALI I TWORZYW w PRAKTYCE (Польша) 2005. — № 4 (пол. яз.)*

**Гарантия** качества услуг: Технический транспортный надзор, с. 6–7.

**Lange A.** Процессы пайкосварки и автогенной пайки, с. 8–11.

**Bialucki P., Kozerski S.** Термонаплавка при восстановлении деталей машин, с. 12–15.

**Gorecki J., Chmielewski T.** Автоматическая пайка закрытой дугой элементов трубопроводов, с. 16–19.

**Sozanski L.** Ультразвуковой контроль наплавки соединенных тонких элементов пайкой, а также пайкосваркой, с. 20–23.

**Стенд** для пайко-сварки элементов стен вагонов, с. 26–27.

**Стенд** для автоматической пайки контейнеров для мяса, с. 28–29.

**Автоматически** управляемый стенд для пайки балок, с. 30–31.

**Автоматическое** расположение деталей при раскройке (nesting) с программированием режущего станка, с. 32.

**Модернизация** режущего станка для термической резки металлов, с. 34–35.

**Безопасность** и гигиена труда при пайке и резке материалов. Ч. 3. Машины и оборудование — отдельные требования, с. 47.



*TWI CONNECT (Англия) 2005. — № 139 (November-December) (англ. яз.)*

**Реальные** результаты — пластическая деформация морских труб, моделируемая в лаборатории, с. 1.

**Усталостные** испытания. Ч. 2, с. 4–5.

**Улучшение** продукции требует разработки технологии сварки, с. 6.

**Анализ** методом конечных элементов помогает сконструировать устройство для безопасного продвижения по снежному покрову, с. 8.

*VARILNA TEHNIKA (Словения) 2005. — Let. 54, № 2 (слов. яз.)*

**Langus D., Kralj V.** Оптимизация сварочных параметров при импульсной сварке МИГ/МАГ с использованием импульсов тока с синусоидальной волной и контролируемой длительностью импульса, с. 45–54.

**Herold H. et al.** Свариваемость новых материалов, с. 55–61.

#### ПЕРЕВОДЫ

**Способ** соединения сваркой трением вращательно-импульсных деталей, изготовленных методом порошковой металлургии: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 5 с. // Пер. ст. Вельц В., Нентвиг Р., Тенци Г. — нет ссылки на источник. (1826 П).

**PULSVES** — новая технология и оборудование для пайки алюминия: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 6 с. // Пер. ст. Нисимура М., Карэко М., Кавасэ Х. из журн. «JOURN. of Light Metal Weld. & Constr.». — 2003. — Vol. 41, № 8. — Р. 12–18. (1848 П).

**Влияние** добавки меди на поведение разрушения и деформации растяжения в Al–Mg–Si сплавах: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 7 с. // Пер. ст. Мацуда К., Метокси Я., Кидо К. из журн. «Journ. Inst. of Light Metal.» — 2003. — Vol. 53, № 1. — Р. 2–7 (1832 П).

**Восстановление** и ремонт дорогих запасных деталей с помощью лазерных технологий: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 6 с. // Пер. ст. — нет ссылки на источник. (1887 П).

**Высокоскоростная** и высококачественная сварка МИГ в автомобильной промышленности: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 4 с. // Пер. ст. Мацуи Х. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 1999. — Vol 68, № 3. — Р. 36–40. (1886 П).

**Высокотемпературная** пайка оцинкованных тонких листов дугой — надежно и экономично (Ч. 1): Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 6 с. // Пер. ст. Кнопф Н., Киллинг Р. из журн. «Praktiker». — 2003. — Vol. 55, № 12. — Р. 366–371. (1825 П).

**Высокоэффективные** клеи: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 5 с. // Пер. ст. Мито М. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 2001. — Vol 70, № 2. — Р. 6–9. (1874 П).

**Диффузионная** сварка соединений титан–алюминий и титан–сталь: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. —

8 с. // Пер. ст. Вильден И., Бергманн Ж. П. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2004. — Vol. 56, № 5. — Р. 199–207. (1843 П).

**Дуговая** сварка в узкий зазор: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 24 с. // Пер. ст. Хори К., Ханэда М. из журн. «Journ. of the Jap. Welding Society». — 1999. — Vol. 68, № 3. — Р. 41–62. (1953 П).

**Из истории** сварки: Как возникли технические термины сварка и сварочное железо: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 2 с. // Пер. ст. Бекерт М. из журн. «Schweissen & Schneiden». — 2004. — Vol. 56, № 1. — Р. 29–30. (1820 П).

**Изучение** горизонтальной сварки ТИГ с использованием двух присадочных проволок и электромагнитного управления жидкой ванной: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 14 с. // Пер. ст. Манабе Ю., Вада Х. и др. из журн. «Quarterly Journ. of the Jap. Welding Society». — 2000. — Vol. 18, № 1. — Р. 40–50. (1891 П).

**Изготовление** композиционных материалов с матрицей из алюминиевого сплава, упрочненной наночастицами SiC, методом перемешивания расплава: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 9 с. // Пер. ст. Кавабэ А. и др. из журн. «Journ. inst. of Light Metal». — 1999. — Vol. 49, № 4. — Р. 149–154. (1897 П).

**Изготовление** предварительно отформованных заготовок бета Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>W и их применение в композиционных материалах с матрицей из алюминиевого сплава: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2005. — 7 с. // Пер. ст. Токусэ М. и др. из журн. «Journ. inst. of Light Metal». — 1999. — Vol. 49, № 2. — Р. 77–82. (1898 П).

**Измерение** толщины покрытий: Пер. ИЭС им. Е. О. Патона. — К., 2004. — 7 с. // Пер. ст. — нет ссылки на источник. (1938 П).



## НОВЫЕ КНИГИ

**Кононенко В. Я.** Сварка покрытым электродом (Рекомендации для «чайников»): Киев: Ника-Принт, 2006. — 256 с.

В популярной форме систематизированы материалы, отражающие технологию сварки металлов покрытыми электродами, приведены основные сведения по применению оборудования, инструментов и приспособлений для реализации этой технологии. Изложены принятые в Украине новые системы маркировки электродов и описано сложившееся состояние с нормативной документацией в этой области. Проведена краткая информация о нормировании процессов сварки, организации рабочего места и технике безопасности.

Для инженерно-технических работников, мастеров, рабочих, студентов вузов и ПТУ сварочной, металлургической и машиностроительной специальностей.



**По вопросу приобретения книги следует обращаться по тел. (044) 200-80-56, (044) 289-15-89.**

Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях / **А. Я. Ищенко, Т. М. Лабур, В. Н. Бернадский, О. К. Маковецкая.** — Киев: Экотехнология, 2006. — 112 с. с ил.

Книга состоит из двух частей. В первой представлена систематизированная экономико-статистическая информация о мировом производстве и потреблении алюминиевой продукции. Во второй части представлена техническая информация об алюминиевых сплавах для сварных конструкций, основных технологиях их соединения и наиболее перспективных областях применения алюминия в сварных конструкциях.

Рассчитана на инженерно-технических работников, студентов вузов и учащихся средних специальных учебных заведений.



## 59-я ЕЖЕГОДНАЯ АССАМБЛЕЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ИНСТИТУТА СВАРКИ

С 27 августа по 2 сентября 2006 г. в Квебеке (Канада) состоялась 59-я Ежегодная ассамблея Международного института сварки (МИС). Организацией-учредителем ассамблеи выступил Канадский совет Международного института сварки. В работе ассамблеи приняло участие около 400 делегатов из 39 стран. Из 48 стран-членов МИСа на ассамблее отсутствовали делегации Аргентины, Греции, Израиля, Ливана, Ливии, Новой Зеландии, Пакистана и Чили. Наибольшие делегации прислали Япония (59 человек), США (45 человек) и Германия (38 человек), что наблюдается уже на протяжении последних 15—20 лет. Затем по количеству делегатов следуют Канада (28), Швеция (26), Англия (17), Франция (15), Австралия (12), Украина (12), Словакия (10) и Финляндия (10). Делегации остальных стран состояли из 2-3 человек.

Учитывая то, что в МИСе создано более 20 комиссий и других структурных подразделений, для эффективной работы и ознакомления с состоянием дел в области сварки национальные делегации должны состоять, как минимум, из 8 — 10 специалистов, каждый из которых должен принять участие в рабочих заседаниях 2-3 комиссий.

На сегодня комиссии и структурные подразделения МИСа включают: С-I — высоко- и низкотемпературная пайка, термическая резка и процессы газопламенной обработки; С-II — дуговая сварка и сварочные материалы; С-III — сварка сопротивлением и холодная сварка, а также родственные процессы соединения материалов; С-IV — лучевые способы сварки; С-V — контроль и обеспечение качества сварных конструкций; С-VI — терминология; С-VIII — охрана труда; С-IX — поведение металлов при сварке; С-X — сварные конструкции. Предотвращение разрушения; С-XI — сосуды, работающие под давлением, котлы и трубы; С-XII — дуговые сварочные процессы и технологии; С-XIII — усталостная прочность сварных узлов и конструкций; С-XIV — обучение и подготовка; С-XV — конструирование, анализ и производство сварных конструкций; С-XVI — сварка полимеров и технология клейки; IAB/A — обучение, подготовка и аттестация; IAB/B внедрение и аккредитация; SC-AIR — неразъемные соединения для новых материалов и



Члены украинской делегации у национального флага

покрытий для авиастроения; SC-AUTO — автомобильный транспорт; SC-ENV — окружающая среда; SC-QUAL — управление качеством при сварке и родственных технологиях; SC-STAND — стандартизация; SC-UW — подводная сварка; SG-212 — физика сварки; SG-RES — стратегия исследований в сварке и сотрудничество.

Во время торжественного открытия ассамблеи состоялось вручение международных премий ряду ученых за наиболее выдающиеся работы в области сварки и смежных технологий. В этом году Международной премии Евгения Патона был удостоен д-р Аллан Сандерсон (Англия). От имени МИСа и Национального комитета по сварке Украины премию вручил академик НАН Украины К. А. Ющенко.

Страны-члены МИСа (по состоянию на июль 2006)			
Европа		Америка	Африка/Азия/Океания
Австрия	Португалия	Аргентина	Австралия
Англия	Россия	Бразилия	Египет
Болгария	Румыния	Канада	Израиль
Бельгия	Сербия	Мексика	Индия
Венгрия	Словакия	США	Индонезия
Германия	Словения	Чили	Иран
Голландия	Украина		КНР
Греция	Хорватия		Ливан
Дания	Чехия		Ливия
Испания	Финляндия		Малайзия
Италия	Франция		Новая Зеландия
Норвегия	Швейцария		Пакистан
Польша	Швеция		Сингапур
			Таиланд
			Южная Африка
			Япония

Первые три дня работы ассамблеи были посвящены заседаниям комиссий, рабочих групп и других подразделений МИСа. Представители Украины приняли участие в работе комиссий I–VI, IX–XV, STAND (стандартизация), Совета по Международной квалификации и аттестации персонала сварочного производства (IAB), а также в работе Исследовательской группы SG-212. От ИЭС им. Е. О. Патона были представлены 7 докладов (К. А. Ющенко — 4, Л. М. Лобанов — 1, В. Е. Пономарев — 1, И. В. Зяхор — 1), вызвавшие большой интерес.

На заседании Совета по Международной квалификации и аттестации персонала сварочного производства была высказана благодарность в адрес Уполномоченного Национального Органа (УНО) Украины (который организован на базе Межотраслевого учебно-аттестационного центра ИЭС им. Е. О. Патона) за помощь, оказанную Сварочному Обществу Бразилии в подготовке пакета документов к заявке для вступления в гармонизированную систему МИСа по подготовке и аттестации специалистов сварочного производства. Бразилия стала 33-й страной, внедрившей у себя международную систему обучения персонала сварочного производства. Остальными странами, уже имеющими УНО, являются: Австралия, Австрия, Англия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Дания, Германия, Голландия, Иран, Испания, Италия, Канада, Китай, Норвегия, Польша, Португалия, Россия, Румыния, Словакия, Словения, Таиланд, Украина, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция, Югославия, Южная Африка и Япония.

Одним из пунктов повестки дня заседания Совета по Международной квалификации и аттестации персонала сварочного производства было рассмотрение Руководства и программы подготовки **Дизайнера сварных конструкций**. Предполагается ввести два квалификационных уровня: дизайнер полного уровня (длительность курса подготовки — 180 ч) и дизайнер стандартного уровня (длительность курса подготовки — 102 ч). Специалисты, освоившие такой курс, будут способны проектировать сварные конструкции с учетом условий их эксплуатации и особенностей выполнения сварки. К настоящему времени в рамках гармонизированной системы МИСа по подготовке и аттестации специалистов сварочного производства разработаны Руководства и программы подготовки Международного инженера, технолога, специалиста, практика, инспектора по сварке, а также Международного сварщика.

Большой интерес и активную дискуссию на Комиссии XII вызвал доклад «Об обновлении «Классификации переноса металла» Д. Иордашеску (Испания), В. Лукаса (Англия) и В. Пономарева (Украина). К настоящему времени существующая классификация типов переноса электродного металла при сварке плавлением, которая была предложена



Вручение Международной премии Евгения Патона

еще в 1984 г., явно устарела, так как за это время особенности переноса металла были изучены более глубоко с применением современного исследовательского оборудования, а с другой стороны, в последние годы было разработано несколько вариантов управляемых способов переноса металла, которые также необходимо классифицировать. В результате дискуссии было принято решение о создании рабочей группы для разработки современной классификации типов переноса электродного металла.

Одной из положительных особенностей этой ассамблеи МИСа является повышенный интерес представителей промышленности к работе комиссий по различным направлениям развития сварки. Так, например, из восьми членов делегации Австрии четверо представляли частную фирму «Фрониус», выпускающую оборудования для электрической сварки.

На этой ассамблее К. А. Ющенко был включен в состав международной комиссии МИС «Дорожная карта». Цель комиссии — выполнить анализ и с учетом приоритетных направлений развития основных отраслей промышленности определить задачи до 2015 г., которые предстоит решать по сварке в разных странах (передовых, развитых и развивающихся) и пути их реализации.

После окончания работы 59-й ассамблеи МИСа состоялась международная конференция «Трубчатые структуры» (31 августа—2 сентября 2006 г.), на которой было представлено около 80 докладов в рамках следующих секций: усталостное разрушение, прочность соединений при статической нагрузке, прочность элементов несущей конструкции при статической нагрузке, конструкции из композитных материалов, литейные стали, сейсмически стойкие конструкции.

Очередная ассамблея состоится 1–8 июля 2007 г. в городе Дубровник, Хорватия. В 2010 г. почетная миссия организатора ассамблеи МИСа будет представлена Украине.

В. Е. Пономарев, канд. техн. наук

## В. И. МАХНЕНКО — 75 лет



В октябре академику НАН Украины Владимиру Ивановичу Махненко исполнилось 75 лет. После окончания Одесского института инженеров морского флота в 1955 г. он начал трудовую деятельность на судоремонтном заводе в Архангельске. После окончания аспирантуры и защиты кандидатской диссертации В. И. Махненко

был приглашен на работу в Институт электросварки им. Е. О. Патона. Здесь в 1973 г. он защитил докторскую диссертацию, в 1978 г. был избран членом-корреспондентом, в 1990 г. — академиком НАН Украины.

Научная деятельность В. И. Махненко неразрывно связана с фундаментальными исследованиями в области сварочной науки. Именно в этой области в полной мере проявился его талант ученого. Благодаря неиссякаемому трудолюбию, целеустремленности, чувству нового и глубокой научной интуиции Владимиром Ивановичем получен ряд крупных научных результатов, связанных с исследованием тепловых, диффузионных, деформационных, электромагнитных и других физических явлений при сварке и родственных технологиях.

Возглавляя с 1975 г. отдел математических методов исследования физико-химических процессов при сварке и спецэлектрометаллургии, В. И. Махненко внес большой вклад в становление и развитие методов математического моделирования сварочных процессов и создание современных систем информационного обеспечения в области сварки. Широкую известность получили исследования В. И. Махненко по кинетике многоосных сварочных напряжений и деформаций при сварке пластин, оболочек, стержневых систем, по расчету взаимодействия сварочных напряжений и деформаций с внешними эксплуатационными нагрузками элементов сварных конструкций.

Под руководством В. И. Махненко разработан пакет программ, позволяющий прогнозировать комплекс физических параметров при сварке новых конструкционных материалов, которые определяют качество сварного соединения: размеры и форму зоны проплавления, химический состав и структуру зоны проплавления, термические циклы, микроструктуру и свойства ЗТВ, кинетику напряжений, пластических деформаций и перемещений в процессе сварочного нагрева, риск возникновения горячих и холодных трещин, распределение остаточных напряжений и их влияние на предельную нагрузку при статических или переменных нагружениях. На основе

этих теоретических работ совместно с различными отраслевыми НИИ и промышленными предприятиями разработаны оптимальные варианты конструктивных и технологических решений для ряда новых сварных конструкций.

В последние годы В. И. Махненко активно работает над актуальной проблемой оценки остаточного ресурса и продления работоспособности сварных конструкций и сооружений, в том числе объектов атомной энергетики Украины и магистральных трубопроводов. Итогом плодотворных разработок в этом направлении является подготовка и сдача в печать книги «Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций».

В. И. Махненко является автором более 320 печатных работ, в том числе 12 монографий. Многие его работы опубликованы в США, Англии и ФРГ.

Владимир Иванович щедро делится своими знаниями с молодежью и постоянно уделяет внимание подготовке научных кадров. В. И. Махненко создана хорошо известная в стране и за рубежом школа по математическому моделированию различных процессов сварки и родственных технологий. С момента образования в 1988 г. кафедры физической металлургии и материаловедения Московского физико-технического института профессор В. И. Махненко читает студентам курс лекций «Прочность сварных конструкций и соединений». Под его руководством подготовлены 2 доктора и свыше 20 кандидатов технических наук.

Плодотворную научную работу В. И. Махненко успешно совмещает с научно-организационной и общественной деятельностью, являясь руководителем секции Научно-координационного совета по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин НАН Украины, членом двух специализированных советов, членом редколлегии журнала «Автоматическая сварка». Под его руководством в последние годы организованы и проведены ряд международных конференций по моделированию сварочных процессов.

В. И. Махненко награжден орденом Дружбы народов и медалями. За значительный вклад в развитие отечественной науки и техники в направлении создания современных сварных конструкций и обеспечения ресурса их эксплуатации В. И. Махненко в 2004 г. присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники Украины».

Международное признание заслуг В. И. Махненко в сварочной науке нашло отражение в избрании его членом Американского общества сварщиков (ASM) и членом Международной федерации количественных неразрушающих методов определения (QNDE).



## В. И. ЛАКОМСКОМУ — 80 ЛЕТ



В октябре исполнилось 80 лет Виктору Иосифовичу Лакомскому известному ученому в области специальной электрометаллургии и сварки, член-корреспонденту Национальной академии наук Украины, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственной премии Украины, заслуженному деятелю науки и техники.

Родился В. И. Лакомский 11 октября 1926 г. в Краматорске Донецкой области. В 1945 г. окончил металлургический техникум в Новокузнецке Кемеровской области, а в 1950 г. — Запорожский машиностроительный институт. После окончания аспирантуры при Киевском политехническом институте в 1954 г. защитил кандидатскую диссертацию и поступил на работу в Институт машиноведения и сельхозмеханики, где работал на должности ученого секретаря института. С 1957 г. по настоящее время В. И. Лакомский работает в Институте электросварки им. Е. О. Патона. В 1969 г. В. И. Лакомский защитил докторскую диссертацию, в 1971 г. утвержден в ученом звании профессора. В период с 1975 по 1979 гг. был заместителем директора по научной работе института «УкрНИИспецсталь». В 1998 г. ему присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники.

Глубокие и обстоятельные научные исследования В. И. Лакомского в различных областях техники (металлургии, сварки, материаловедения и др.) снискали ему заслуженное признание и высокий научный авторитет. Он автор оригинальных тонких методик исследования равновесия системы газ–жидкий металл при различных способах нагрева в широком диапазоне температур: от точки плавления до точки кипения металлов. Им впервые экспериментально обнаружено, теоретически обосновано и практически доказана возможность легирования металла азотом в широком диапазоне концентраций непосредственно из газовой фазы. Благодаря этим работам создано и с успехом развивается целое научное направление — исследование закономерностей высокотемпературного взаимодействия газов, находящихся в обычном колебательном и возбужденном дугой и плазмой состоянии, с жидкими металлами. Именно такой научный подход к решению

реальных технических задач позволил в короткий срок разработать теоретические основы, технологию и оборудование, а также внедрить в промышленность один из способов специальной электрометаллургии — плазменно-дуговой переплав металлов и сплавов. Эта работа, проводившаяся под руководством академика Б. Е. Патона, была отмечена в 1980 г. Государственной премией Украины.

Работы по созданию принципиально новых самоспекающихся термохимических катодов и на их основе электродуговых источников тепла — дуготронов привела к созданию уникальной технологии дуговой сварки открытой дугой черных и цветных металлов с углеродными материалами. Эта технология успешно используется при изготовлении многоамперных контактных узлов электрометаллургических и электротермических агрегатов как в Украине, так и за рубежом.

Нынешний этап научной деятельности В. И. Лакомского связан с изучением физических свойств и технологических аспектов производства термоантрацита, что позволяет изменить конструкцию электрокальцинаторов и технологию производства термоантрацита.

Профессор В. И. Лакомский является организатором ряда научных подразделений института. В 1958 г. он создает лабораторию газов в металлах, в 1968 г. — отдел плазменной металлургии, в 1979 г. — подразделение Института электросварки в Запорожье, а в 1995 г. — Научно-инженерный центр плазменной технологии.

Виктор Иосифович проводит большую работу по подготовке научных кадров. Под его руководством подготовлено 11 кандидатов наук. Он принимает активное участие в научной жизни: выступает с докладами и лекциями, является членом спецсовета по защите диссертаций, членом редколлегии журнала «Современная электрометаллургия».

В. И. Лакомским опубликовано свыше 500 научных трудов, среди которых более 300 статей, 8 монографий и порядка 200 авторских свидетельств на изобретение и патентов, полученных в различных странах мира.

Профессор В. И. Лакомский полон творческих сил, целеустремленности в поиске новых оригинальных решений задач, стоящих перед специальной металлургией и сваркой.

## Г. В. ПАВЛЕНКО — 60 ЛЕТ

25 октября исполнилось 60 лет генеральному директору ОАО «Симферопольский электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА», заслуженному машиностроителю Украины, академику Академии инженерных наук Украины, лауреату Государственной премии Украины Георгию Васильевичу Павленко.

Г. В. Павленко закончил Харьковский политехнический институт по специальности инженер-электромеханик. После службы в рядах Советской Армии он начал свой трудовой путь инженером в Харьковской пусконаладочной колонне № 443 треста «Южмонтаж». С 1974 г. его трудовая деятельность связана с Симферопольским электромашиностроительным заводом, где он работал инженером-конструктором, начальником отдела технического контроля, главным инженером. В 1999 г. Г. В. Павленко назначается техническим директором, а в 2002 г. — генеральным директором фирмы «СЭЛМА». На всех должностях Г. В. Павленко зарекомендовал себя компетентным, опытным специалистом, талантливым организатором.

В период руководства фирмой «СЭЛМА» Г. В. Павленко принимает непосредственное участие в создании 6-7 видов образцов сварочного оборудования ежегодно. Благодаря его усилиям за последние 5 лет обновлена номенклатура выпускаемой продукции на 40%. Под руководством Г. В. Павленко фирма «СЭЛМА» первой среди предприятий АРК в 2001 г. внедрила систему качества ISO 9001-2001.

Г. В. Павленко постоянно уделяет внимание кадровой политике и совершенствованию стиля работы предприятия. За 2002–2005 гг. было создано более 120 новых рабочих мест, часть из которых заняли дети работников завода. Так создаются рабочие династии.

Чистота на производстве, строгое соблюдение требований техники безопасности, создание экологически чистой производственной и окружающей среды — это фирменный стиль «СЭЛМы».

Предметом постоянной заботы директора является социальная сфера — база отдыха «Парис» и летний детский лагерь, один из лучших в Украине комплекс «Алые паруса», медицинский центр с сов-



ременным стоматологическим комплексом, заводская столовая с льготными ценами и многое другое.

Г. В. Павленко является одним из инициаторов создания Технологического парка «ИЭС им. Е. О. Патона». Успешное выполнение в рамках Технопарка инновационного проекта «Разработка и организация серийного производства гаммы современного оборудования для дуговой и плазменной сварки и резки» позволило привлечь дополнительные средства в развитие предприятия, обеспечило расширение номенклатуры выпускаемого оборудования, совершенствование технологии производства. Нарастает выпуск оборудования, конкурентоспособность на мировых рынках, растет экспорт. В полной мере обеспечиваются потребности внутреннего рынка.

Свидетельством успешной работы «СЭЛМы» является присвоение предприятию звания «Лидер промышленности и предпринимательств Украины — 2006».

За большой вклад в производство, развитие промышленности Г. В. Павленко награжден Почетной грамотой Совета Министров АРК.

Г. В. Павленко пользуется заслуженным авторитетом в коллективе, среди коллег и директоров крымских предприятий благодаря высокому уровню компетентности и человеческим качествам.

## В. Г. РАДЧЕНКО — 85 ЛЕТ



Исполнилось 85 лет заслуженному деятелю науки и техники РФ, лауреату Ленинской премии, доктору технических наук, заведующему кафедрой малого бизнеса и сварочного производства (МБСП) Алтайского государственного технического университета (АГТУ), почетному работнику высшего образования России, почетному гражданину г. Барнаула Василию

Григорьевичу Радченко. Родился В. Г. Радченко в 1926 г. Был участником трудового фронта в годы Великой Отечественной войны. Окончив в 1949 г. с отличием РИСХМ, он прошел большой производственный путь до зам. главного инженера Таганрогского котельного завода, главного инженера Барнаульского котельного завода и главного инженера Управления машиностроения Алтайского совнархоза.

В 1960 г. Минвуз СССР назначил В. Г. Радченко ректором создаваемого тогда Алтайского политехнического института. Его творческие и организаторские способности позволили заново создать материально-техническую базу, построить учебные, лабораторные корпуса и весь комплекс из 26 зданий площадью 133 тыс. кв. м и обеспечить становление почти 14 тысячного коллектива АПИ в г. Барнауле, его филиалах в Бийске и Рубцовске. За эти годы АПИ вырос по основным показателям почти в 7 раз, по количеству преподавателей с учеными степенями и званиями — почти в 20 раз, что составило 453 человека (60,6%) штатного числа. Алтайский политехнический институт им. И. И. Ползунова подготовил 35 тысяч инженеров по 26 специальностям и превратился в один из крупных вузов и научных центров Сибири и страны. Созданная им научно-педагогическая школа на базе кафедры МБСП под-

готовила 1750 инженеров-сварщиков, 36 кандидатов наук, трех докторов наук и пять профессоров. Василий Григорьевич является председателем совета по защите докторских диссертаций по специальностям: «Сварочное производство» и «Технология машиностроения».

Многоплановую напряженную работу в должности ректора АГТУ (1960–1987), а затем заведующего кафедрой он умело и эффективно сочетает с научной деятельностью. В творческом содружестве с учеными ИЭС им. Е. О. Патона при активном участии юбиляра решена крупная народнохозяйственная проблема — повышение качества, надежности и снижение стоимости изделий и инструмента на основе передовых сварочных процессов и технологий. При этом в основу фундаментального научного направления «Теория и практика управления структурообразованием, направленной кристаллизацией и свойствами сварных, наплавляемых и упрочняемых изделий и инструмента» положены электрошлаковые способы сварки, наплавки, переплава и отливок заготовок изделий и инструмента из конструкционных и высоколегированных быстрорежущих штамповых сталей, электронно-лучевая технология сварки, наплавки и упрочнения сталей и алюминиево-кремниевых сплавов, процессы лазерной наплавки и упрочнения, способ контактно-реактивной пайки быстрорежущего инструмента.

В. Г. Радченко является автором и соавтором 330 научных и методических работ, изобретений. В 1996 г. ему присвоено звание «Почетный работник высшего образования России». В. Г. Радченко награжден золотой медалью лауреата Ленинской премии, четырьмя орденами и многими медалями. В Головном аттестационном центре и Образовательном Центре («ОЦ-Сварка»), созданных на базе кафедры МБСП в 1999 г., подготовлено и атестовано более 900 сварщиков и специалистов сварочного производства.

## В. Н. ГОРДЕЕВУ — 70 ЛЕТ



Исполнилось 70 лет со дня рождения крупного ученого в области металлических конструкций, доктора технических наук, профессора, действительного члена Академии строительства Украины, заслуженного деятеля науки и техники Украины, Первого заместителя председателя правления ОАО «УкрНИИПРОЕКТстальконструкция им. В. Н.

Шимановского» Вадима Николаевича Гордеева.

В. Н. Гордеев родился 3 октября 1936 г. в с. Прохоровка Каневского района Черкасской области. В 1958 г. получил высшее образование, закончив с отличием КИСИ по специальности «Промышленное и гражданское строительство». Свой трудовой путь он начал в проектной конторе «Проектстальконструкция Минстроя УССР», реорганизованной в 1960 г. в Государственный проектный институт «Укрпроектстальконструкция». Уже в 1962 г. В. Н. Гордеев назначается на должность главного инженера проекта, а в 1964 г. успешно защищает кандидат-



скую диссертацию. В 1967 г. В. Н. Гордеев возглавил коллектив Киевского научно-исследовательского отдела ЦНИИПИ металлических конструкций, где в течение 16 лет активно занимался научной деятельностью.

В 1983 г. В. Н. Гордеев защищает докторскую диссертацию и назначается главным инженером «УкрНИИпроектстальконструкция», где в течение 10 лет определяет научную и техническую политику института.

С 1993 до 1998 гг. В. Н. Гордеев по направлению МИД Украины работает Советником по вопросам науки и техники Посольства Украины в Российской Федерации. Он принимает активное участие в правовом оформлении и развитии отношений Украины и РФ в научно-технической сфере. С 1998 г. В. Н. Гордеев работает заместителем, а с 2000 г. Первым заместителем Главы правления «УкрНИИпроект-конструкция им. В. Н. Шимановского».

В. Н. Гордеев внес значительный вклад в развитие строительной механики. Его работы в области нелинейно-деформированных систем, имеющие в своем составе односторонние связи, тросы, элементы из идеальной ткани, известны во многих странах мира. Большую научную и практическую ценность имеют результаты исследований пространственных механических систем с симметрией любого вида, полученные на основе теории представлений групп. Эти результаты стали основой для разработки промышленных программ для динамических расчетов симметричных систем «Парадокс» и «Парсек», широко используемых в Украине и России.

Весомым вкладом в строительную науку являются его работы, посвященные оптимизации ме-

таллических конструкций. Им введены понятия границы оптимального решения, конструкции, близкой к оптимальной, множества конструкции, близких к оптимальным. Они легли в основу автоматизированной системы проектирования металлических конструкций Всесоюзного объединения «СоюзметаллстройНИИпроект».

В. Н. Гордеев является автором 150 печатных работ, среди которых 14 монографий, технических книг и брошюр, нашедших признание в Украине и за рубежом. Он представляет Украину в Международной ассоциации оболочечных и пространственных конструкций, является членом межрегиональной организации «Пространственные конструкции», членом Национального комитета Украины по теоретической и прикладной механике, возглавляет секцию строительных металлических конструкций научно-координационного и экспертного Совета по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин при Президиуме НАН Украины, является заместителем председателя ученого совета ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция».

На протяжении многих лет В. Н. Гордеев активно сотрудничает с ИЭС им. Е. О. Патона. Он входил в состав его специализированного ученого совета по защите кандидатских и докторских диссертаций, участвовал в выполнении ряда совместных проектов.

В. Н. Гордеев пользуется заслуженным авторитетом и вниманием широких кругов ученых, проектировщиков, строителей и общественных организаций как на Родине, так и во многих странах мира. Награжден государственными и многочисленными ведомственными наградами.

## А. С. ПИСЬМЕННОМУ — 60 ЛЕТ



В октябре исполнилось 60 лет доктору технических наук, зав. отделом «Электротермия» ИЭС им. Е. О. Патона, известному специалисту в области технологических процессов и электрических систем для обработки материалов применительно к сварке, пайке и термообработке Александру Семеновичу Письменному.

А. С. Письменный поступил на работу в ИЭС им. Е. О. Патона в 1971 г. после окончания электроэнергетического факультета КПИ. В 1978 г. Александр Семенович защитил кандидатскую диссертацию на тему «Электромагнитные расчеты некоторых типов сварочных индукторов».

В 1991 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Повышение технологической эффективности индукционного нагрева для сварки и пайки».

А. С. Письменный в области теоретических исследований впервые разработал и обосновал метод синтеза электромагнитного поля и конструкцию индукционных систем в соответствии с условиями реализации технологии распределения температуры и удельной мощности в зоне сварного шва; усовершенствовал теорию двумерного скин-эффекта и методы исследований и расчетов электромагнитных параметров цельных и многослойных тел; впервые разработал теорию многоконтурных сварочных систем, которые характеризуются выраженной трехмерностью электромагнитного поля, с магнитосвязанными электрическими контурами; большими зазорами в магнитной системе и в межэлектрических контурах, и на их основе создал метод расчета мно-

гоконтурных индукционных систем для сварки и электротермообработки.

А. С. Письменный опубликовал более 150 научных работ в специализированных изданиях, включающих 32 авторских свидетельства СССР, шесть патентов Украины и три монографии.

А. С. Письменный постоянно уделяет внимание воспитанию молодых ученых и специалистов, передавая им свои знания и опыт.

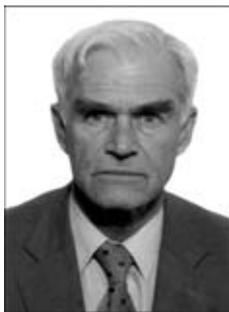
Многие годы А. С. Письменный участвует в научно-организационной и общественной работе, являясь членом ученого совета ИЭС им. Е. О. Па-

тона и председателем Государственной экзаменационной комиссии сварочного факультета НТУУ «КПИ».

Научная и производственная деятельность А. С. Письменного в области производства сварных труб отмечены Премией Совета Министров СССР и Государственной премией Украины.

Принципиальность, высокая ответственность за порученное дело, трудолюбие и чуткое отношение к коллегам снискали А. С. Письменному заслуженный авторитет и истинное уважение.

## А. В. БАБАЕВУ — 70 ЛЕТ



В октябре исполнилось 70 лет старшему научному сотруднику Института электросварки им. Е. О. Патона, кандидату технических наук Александру Васильевичу Бабаеву.

В Институт электросварки А. В. Бабаев пришел 1961 г. сформировавшимся специалистом, хорошо знающим производство. Поэтому в своей научной деятельности он всегда

важное место уделял работам, отвечающим запросам промышленности.

Работая в институте, А. В. Бабаев под влиянием и руководством известных ученых В. В. Шеверницкого и В. И. Труфякова стал специалистом в области усталости сварных соединений и конструкций. Его работы, посвященные влиянию технологических дефектов сварки с учетом остаточных сварочных напряжений на сопротивление усталости сварных соединений, получили признание специалистов в нашей стране и за рубежом. Эти исследования неоднократно публиковались в документах Международного института сварки, докладывались на конгрессах МИС. Обобщение этих исследований позволило разработать методики расчета на усталость сварных соединений с технологическими дефекта-

ми, установить для них значения предельно допустимых переменных напряжений.

Исследования, проведенные А. В. Бабаевым, по оценке сопротивления усталости сталей для сварных конструкций, а также служебных свойств стали термоупрочненной с прокатного нагрева, были использованы при разработке нормативных документов по расчету конструкций и в «Рекомендациях по применению в строительных и машиностроительных сварных конструкциях термически упрочненного листового и фасонного проката низкоуглеродистой стали марки В СтЗ».

Научные исследования А. В. Бабаева всегда отличаются глубиной и завершенностью, выходом на важные для практики результаты. Им опубликовано свыше 40 печатных работ.

Важным направлением в работе А. В. Бабаева является научно-организационная деятельность, которой он уделяет значительное внимание в последние годы. Он является ученым секретарем Межгосударственного научного совета по сварке и родственным технологиям, а также ученым секретарем Научного совета по новым материалам Международной ассоциации академий наук (МААН).

Высокая ответственность в работе, порядочность, интеллигентность, внимание к коллегам снискали уважение к Александру Васильевичу со стороны всех, кто его знает.

***Сердечно поздравляем юбиляров и от всей души желаем им крепкого здоровья, жизненной энергии, больших творческих свершений, благополучия.***

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

## ПАМЯТИ ДОКТОРА ЗОССЕНГЕЙМЕРА



8 июля 2006 г. ушел из жизни д-р Зоссенгеймер, много лет занимавший пост Генерального управляющего Германского общества сварочной техники и родственных технологий.

Д-р Зоссенгеймер активно работал в Международном институте сварки, был казначеем этой международной организации и председателем рабочей группы

МИС по публикациям. Д-р Зоссенгеймер внес огромный вклад в развитие таких направлений сварочной науки и техники, как моделирование, качество и безопасность в производственных процессах соединения, резки и нанесения покрытий.

Огромны его заслуги в развитии международного сотрудничества. Он был почетным членом многих зарубежных сварочных объединений и был отмечен наградами и премиями многих стран.

В 1991 г. д-р Зоссенгеймер, выдающийся ученый и организатор науки, получил высшую награду Германского общества сварочной техники и родственных технологий — памятную медаль DVS.

В июле 2003 г. МИС учредил премию д-ра Зоссенгеймера за инновации в области программного обеспечения.

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

## Книги ❖ Монографии ❖ Труды конференций

- Ryabov V.R., Dobrushin L.D., Jung-Gi Moon. *Welding of Bimetals*. — 2003. — 130 p., format 140×200 mm, 100 грн./720 руб./38\$\*.
- Lysak V.I., Kuzmin S.V. *Explosive Welding of Metal Layered Composite Materials*. — 2003. — 118 p., format 140×200 mm, 100 грн./720 руб./38\$.
- Juttner B., Vasenin Yu.L. *Cathodic Processes of the Metal Vapor Arc*. — 2003. — 68 p., format 140×200 mm, 100 грн./720 руб./38\$.
- *Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах*: Сб. докл. Междунар. конф., 16–20 сент. 2002 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В.И. Махненко. — 266 с., формат 200×290 мм, 100 грн./720 руб./38\$.
- *Laser Technologies in Welding and Materials Processing*: Сб. докл. Междунар. конф., 19–23 мая 2003 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — 2003. — 256 с., формат 200×290 мм (англ. яз.), 100 грн./720 руб./38\$.
- *Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах*: Сб. докл. Второй Междунар. конф., 13–17 сент. 2004 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. И. Махненко. — 256 с., формат 200×290 мм, 100 грн./720 руб./38\$.
- *Контактная сварка и другие виды сварки давлением*: Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журнале «Автоматическая сварка» за 2001–2005 гг., по проблемам различных видов сварки давлением. — 2005. — 128 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн./720 руб./38\$.
- *Трубопроводный транспорт*: Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журналах «Автоматическая сварка» и «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» за 2001–2005 гг., по проблемам трубопроводного транспорта. — 2005. — 178 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн./720 руб./38\$.
- *КАТАЛОГ. Технологии. Материалы. Оборудование*. Содержит информацию о разработанных в последние годы в ИЭС технологиях, материалах и оборудовании для сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов, предлагаемых для коммерческой реализации. — 2005. — 260 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 100 грн./960 руб./50\$.
- *ТИТАН: технологии, оборудование, производство*: Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» за 2001–2004 гг., по электрометаллургии и сварке титана и его сплавов. — 2005. — 196 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 100 грн./960 руб./50\$.
- Письменный А. С. *Индукционный нагрев при сварке и родственных технологиях*. — 2005. — 140 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 25 грн./240 руб./20\$.
- Гарашук В.П. *Вступ до фізики лазерів*. — 2005. — 244 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 40 грн./360 руб./38\$.
- *Laser Technologies in Welding and Materials Processing*: Сб. докл. Второй междунар. конф., 23–27 мая 2005 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — 2005. — 246 с., формат 200×290 мм (англ. яз.), 100 грн./720 руб./38\$.
- Makhnenko V. I., Pochynok V. E. *Strength Calculation of Welded Joints with Adjacent Sharp Cavities* (англ. яз.). — 2006. — 266 с. — формат 165×235 мм, мягкий переплет, 250 грн./2250 руб./90\$.
- Koponen V. Ya. *Technologies of Underwater Wet Welding and Cutting*. — 2006. — 140 с. — формат 140×200 мм, мягкий переплет, 100 грн./900 руб./40\$.
- *КАТАЛОГ. Железнодорожный транспорт. Сварка*. — 2006. — 168 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн./720 руб./38\$.
- *Proceedings of Jointly 16th International Conference «Computer Technology in Welding and Manufacturing» & 3rd International Conference «Mathematical Modelling and Information Technologies in Welding and Related Processes»* (англ. яз.). — 2006. — 298 p. — формат 200×290 мм, 100 грн./720 руб./50\$.

По вопросам заказа просьба обращаться  
в редакцию журнала «Автоматическая сварка»  
Тел./факс: (38044) 271 24 03, 529 26 23, 528 04 86  
E-mail: journal@paton.kiev.ua

\* Цены указаны с НДС соответственно для Украины, России и дальнего зарубежья с учетом доставки заказной бандеролью.

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие  
**«Триада-Сварка»**  
г. Запорожье

- Электрогазосварочное оборудование
- Горелки к полуавтоматам
- Электрододержатели
- Пусконаладочные работы
- Ремонт сварочного оборудования, в том числе сложного
- Технологическое обеспечение сварочных процессов
- Автоматизированные сварочные линии и комплексы



т/ф (0612) 331058, 343623  
(061) 2200079, 2132269 e-mail: weld@triada.zp.ua

Электромашино-  
строительный завод  
«ФИРМА СЭЛМА»



**ПРОИЗВОДСТВО  
ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**



**60 лет  
в мире сварки**



95000, г. Симферополь, Украина  
ул. Генерала Васильева, 32А  
Тел.: (0652) 48-65-37, 48-18-62  
E-mail: sales@selma.crimea.ua

**www.selma.ua**


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

**ГОРЮЩИЙ ДИМ 03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав.№21, тел./факс: (+380 44) 526-93-70,  
ЗВАРЮВАННЯ 526-93-76, 526-93-75, 526-92-16, e-mail: igor@welding.kiev.ua, house@welding.kiev.ua**

**Разработка, производство, внедрение  
Порошковые проволоки  
для сварки, наплавки и напыления**

- Производство порошковых проволок ПП-АН, ПП-Нн;
- оборудование для наплавки; Welding Alloys;
- наплавочные установки Welding Alloys;
- порошковые проволоки Welding Alloys;
- проволоки сварочные Hyundai Welding;
- внедрение новых технологий;
- техническое сопровождение;
- разработка новых проволок;



ООО НПФ "Элна"  
ул. Горького, 69, г. Киев, 03680  
тел. (044) 200-80-25, 200-85-17  
факс (044) 200-85-17  
e-mail: info@elna.com.ua



г. Киев, 03150,  
ул. Боженко, 11  
www.gefest-sv.com.ua  
gefest-sv@kiev.web.com.ua

тел./факс: (38044) 200-88-33

**Производство высококачественных  
электродов для:**

- Сварки высоколегированных сталей
  - ОЗЛ-6
  - АНЖР-1
  - ЦА-11
  - АНЖР-2
  - ЭА-48М/22
  - ЦТ-15
- Сварки теплоустойчивых сталей
  - ЦУ-5
  - ТМУ-21У
  - ЦА-39
  - ТМА-1У
  - ТМА-3У
- Наплавки слоев со специальными свойствами
  - ЦН-12М
  - ЦН-6А
  - НИИ-48Г
  - Т-590
  - НР-70
  - ЦЧ-4
  - Гефест-6 (ОЗН-6)
  - ЦНИИИ-4

А также множество других марок  
на заказ

**ГОРЕТЬ, ЧТОБЫ СОЗДАВАТЬ!**

**Вся продукция СЕРТИФИЦИРОВАНА**

**ЭЛЕКТРОДЫ  
ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ  
ФЛЮСЫ**

**Электроды** для сварки углеродистых, низколегированных сталей и чугуна (АНО-21, АНО-6у, МР-3, УОНИ-13/55, АНО-4, УОНИ-13/45, АНО-27, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ/60, ЦУ-5, ЦЧ-4)

**Порошковые проволоки** для сварки, наплавки, резки (в том числе под водой) ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН8, ПП-АН29, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН69, ПП-АН19Н, ПП-АНВ2у, ППС-ЭК1, ПП-ЭК2, ПП-Нп-30Х20Мн, ПП-Нп-12Х14Н13, ПП-Нп-200Х15С1ГРТ, ПП-Нп-30Х12СМТ, ПП-Нп-60Х9С3ГТ, ПП-Нп-200ХГР, ПП-Нп-Х25Г14Н3Т, ПП-Нп-80Г15Н4, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

**Флюсы** плавные и керамические, для сварки и наплавки (АН-72, АН-М13, АНК-40, АНК-565, АНК-57, АНК-47А. По отдельным заказам изготавливаем флюсы других марок)

Опытный завод сварочных материалов  
ИЭС им. Е.О. Патона  
04112, г. Киев, ул. Е. Телиги, 2  
Тел.: (044) 456 63 69  
Факс: (044) 456 50 01

**Лидер производства порошковых проволок в Украине**



**ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"**

Порошковые проволоки для наплавки  
по ГОСТ 26101-84

-80Х20 Р3Т,35В9Х3СФ,25Х5ФМС,18Х1Г1М и др.

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК

-ВЕЛТЕК Н200 - Н620

Порошковые проволоки для сварки

-АН1,АН8,АН39,АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ

-ТМВ3,ТМВ6,ТМВ7,ТМВ11,ТМВ14,ТМВ29 и др

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

ул. Полевая, 24, офис 504

03056, Киев, Украина

тел./факс: (38044) 456-0209, 458-3485

e-mail:weldtec@iptelecom.net.ua www.weldtec.com.ua



**ПРОИЗВОДСТВО  
ПРОДАЖА  
СЕРВИСНОЕ  
ОБСЛУЖИВАНИЕ**



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



➤ Автономные мобильные сварочные комплексы на базе резонансных преобразователей



Сварочные инверторы для MMA и TIG сварки на токи 80-300А

Украина, 03150, г. Киев, ул. Горького, 94-96, к. 14,  
тел./факс: (38044) 271 20 36, 271 21 02  
Специализированный магазин: "ИНПАТ-СЕРВИС",  
тел.: (044) 220 92 89

**"ИЭС - ЭПС"**

**ОАО "ЗОНТ"**  
**АВТОГЕНМАШ**

Машины для термической резки "Комета М"  
Машины для микроплазменной резки "Метор"  
Переносные газорезущие машины "Радуга"  
Машины для фигурной газокислородной резки "АСИ - 70М"

Капитальный ремонт и модернизация МТР  
Поставка источников плазменной резки,  
насосов, теплообменников и газосных частей  
к криогенному оборудованию

oaozont@zont.com.ua т. +38048 717-00-50  
www.zont.com.ua ф. +38048 715-69-50  
65104, Украина, пр. Маршала Жукова, 103

## Завод автогенного оборудования г. Краматорск

### Сертифицированная продукция!

**ДОМЕТ**

Резаки Р1 "Донмет"	- 54 грн.
Горелки газосварочные Г2 "Донмет"	- 46 грн.
Горелки для кровли ГВ "Донмет"	- 23 грн.
Керосинорезы РК-200	- 115 грн.
Бачки керосиновые БГ-08 "Донмет"	- 123 грн.
Редуктор БПО "Донмет"	- 37 грн.
Редуктор БКО "Донмет"	- 73 грн.
АСП-10, баллоны, вентили баллонные, рукава резинотканевые, манометры, карбид...	

Тел./факс (0626) 44-26-85, (06264) 5-77-13

E-mail: [svarka@donmet.com.ua](mailto:svarka@donmet.com.ua)

<http://www.donmet.com.ua>



## СпецСплав

[www.spetssplav.dp.ua](http://www.spetssplav.dp.ua)



**Порошковые проволоки  
Ферросплавы  
Лигатуры  
Хром металлический  
Флюсы сварочные  
Электроды для резки  
Комплексные раскислители  
Электроды наплавочные**

ул. Курсантская, 1д,  
г.Днепропетровск,  
49051, Украина

тел.: (380562) 32-26-22  
т/ф: (380562) 32-37-99  
[sp@spetssplav.dp.ua](mailto:sp@spetssplav.dp.ua)

**ЗАРЕЗЕРВИРУЙТЕ место  
для Вашей рекламы  
в следующих номерах.**

**Звоните:**

**(044) 529 26 23, 287 63 02**

## СВАРКА И РЕЗКА

### 7-я Международная специализированная выставка

27-30 марта 2007

ЗАО «Минэкспо» г. Минск

#### Тематика экспозиций

- материалы для сварки, наплавки, пайки
- оборудование и технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки
- источники питания и системы управления сварочным оборудованием
- оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки

- автоматизация сварочных и технологических процессов
- приборы для неразрушающего контроля сварных соединений
- научное и информационное обеспечение сварки
- система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков
- охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве
- сертификация сварочного оборудования

Одновременно проводится выставка «Порошковая металлургия» и открыт для посещения салон «Защита от коррозии. Покрытия». В рамках выставки состоится конференция «Соединения и резка материалов».



МинскЭкспо

<http://www.minskexpo.com>

ул.Тимирязева, 65, 220035, Минск, Республика Беларусь  
т.+37517 2269858, 2269083; ф.+37517 2269858, 2269936  
e-mail: [e\\_fedorova@solo.by](mailto:e_fedorova@solo.by); [mmir@minskexpo.com](mailto:mmir@minskexpo.com)

## Научно-технические журналы ИЭС им. Е. О. Патона <http://www.nas.gov.ua/pwj>

«**Автоматическая сварка**», 12 номеров в год, издается с 1948 г. В журнале представлена разнообразная научно-техническая информация по сварке, наплавке, резке, пайке и нанесению защитных покрытий; производственный опыт применения современных технологий для соединения материалов и восстановления изделий; сведения о новых книгах и патентах; обзорная информация о профильных выставках и конференциях; банк производителей товаров и услуг на рынке сварочного производства Украины и России.

Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

«**Техническая диагностика и неразрушающий контроль**», 4 номера в год, издается с 1989 г. В журнале представлены последние достижения в области технической диагностики и неразрушающего контроля (акустическое излучение, магнитные, радиоволновые, термические, оптические, радиационные и другие методы). Широко освещаются методики оценки и прогнозирования разрушений в сварных конструкциях.

Тел.: (38044) 271-23-90, 529-26-23

«**Современная электрометаллургия**», 4 номера в год, издается с 1985 г. В журнале освещаются разработки в области электрошлаковой, электронно-лучевой и плазменно-дуговой технологий, вакуумно-дугового переплава и индукционной плавки, а также в области внепечной обработки стали, энерго- и ресурсосберегающих металлургических технологий и др. До 2002 г. журнал издавался под названием «Проблемы специальной электрометаллургии».

Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

«**The Paton Welding Journal**», 12 номеров в год. Полный перевод на английский язык журнала «Автоматическая сварка».

Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

«**Advances in Electrometallurgy**», 4 номера в год. Полный перевод на английский язык журнала «Современная электрометаллургия».

Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

На официальном сайте журналов [www.nas.gov.ua/pwj](http://www.nas.gov.ua/pwj) приведены рефераты опубликованных статей с 2000 г.

Подписка по каталогам подписных агентств, а также через редакцию

**Адрес редакций журналов:**  
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11  
Тел./факс: (38044) 271-24-03, 529-26-23,  
528-04-86  
E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua)



## ПОДПИСКА – 2007 на журнал «Автоматическая сварка»

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

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

Телефоны и факсы редакции журнала «Автоматическая сварка»: тел.: (38044) 287-63-02, 271-24-03, 529-26-23, факс: (38044) 528-34-84, 528-04-86, 529-26-23.

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

### ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала \_\_\_\_\_

Срок подписки с \_\_\_\_\_

**200 г. по**

**200 г. включительно**

Ф. И. О. \_\_\_\_\_

Компания \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел., факс, E-mail \_\_\_\_\_



## РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

### Обложка наружная, полноцветная

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

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

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

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

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

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

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

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

### Внутренняя вставка

Полноцветная (200×290 мм) — 300 \$

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

Полноцветная (200×145 мм) 150 \$

Черно-белая (170×250 мм) — 80 \$

Черно-белая (170×125 мм) — 50 \$

Черно-белая (80×80 мм) — 15 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу.

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

• Статья на правах рекламы — 50% стоимости рекламной площади.

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

### Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290 мм.

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

### Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 5.0

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

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

Подписано к печати 20.09.2006. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отг. 8,3. Уч.-изд. л. 8,9 + 10 цв. вклеек.

Цена договорная.

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