



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

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

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001.

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Махненко В. И., Великоиваненко Е. А., Семенов А. П. Метод
определения вязкости разрушения сварных узлов на основе
сочетания математического моделирования и измерений на
образцах малого сечения 5

*Харламов М. Ю., Кривцун И. В., Коржик В. Н., Петров С. В.,
Демьянов А. И.* Математическая модель дуговой плазмы,
генерируемой плазмотроном с проволокой-анодом 14

Кныш В. В., Соловей С. А., Кузьменко А. З. Кинетика роста
несквозных усталостных трещин в сталях 03Х20Н16АГ6 и
12Х18Н10Т при различных значениях коэффициента асим-
метрии цикла напряжений 21

Грабин В. Ф., Головкин В. В. Влияние распределения
марганца между структурными составляющими на свойства
металла низколегированных швов 26

Шишкин А. Е., Шишкин Е. А., Устинов А. И. Термический
анализ микрослойных присадок на основе интерметаллидооб-
разующих элементов 30

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Ковтуненко В. А. Мост им. Е.О.Патона спустя полвека 35

*Грановский Н. А., Тимченко В. В., Илюшенко В. М., Бутаков
Г. А.* Двухпостовая установка для ТИГ сварки меди 37

Черняк Я. П. Сравнительная оценка износостойкости
электродных материалов, применяемых для восстановления
трамвайных рельсов 41

*Ющенко К. А., Левченко О. Г., Булат А. В., Безушко О. Н.,
Самойленко В. И., Мисечко В. В.* Санитарно-гигиенические
характеристики покрытых электродов для сварки
высоколегированных сталей 44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Илюшенко В. М., Бутаков Г. А., Ганчук А. В. Робототехноло-
гический комплекс для сварки шаровых кранов в смеси
газов Ar + CO₂ 48

Диссертация на соискание ученой степени 49

Патенты в области сварочного производства 50

По зарубежным журналам 53

ХРОНИКА

Weldex/Россварка-2007 56

Памяти О. А. Емельянова 58

ИНФОРМАЦИЯ 59

Указатель статей за 2007 г. 63

Указатель авторов 67

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:

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

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

Address of Editorial Board:

11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 287 63 02, 529 26 23

Fax: (38044) 528 04 86

E-mail: journal@paton.kiev.ua

http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushtina

Electron galley:

I. S. Batasheva, L. N. Gerasimenko,
A.I.Sulima, I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Makhnenko V. I., Velikoivanenko E. A., Semyonov A. P. Method of
determination of fracture toughness of welded sub-assemblies us-
ing combination of mathematical modeling and measurements on
small-section specimens 5
*Kharlamov M. Yu., Krivtsun I. V., Korzhik V. N., Petrov S. V., De-
myanov A. I.* Mathematical model of arc plasma generated by
plasmatron with a wire-anode 14
Knysh V. V., Solovey S. A., Kuzmenko A. Z. Kinetics of growth of
non-through cracks in steels 03Kh20N16AG6 and 12Kh18N10T at
different values of coefficient of asymmetry of a stress cycle 21
Grabin V. F., Golovko V. V. Effect of manganese distribution
between structural components on properties of metal
of low-alloy welds 26
Shishkin A. E., Shishkin E. A., Ustinov A. I. Thermal analysis of mi-
crolayer fillers on the base of intermetallics-forming elements 30

INDUSTRIAL

Kovtunenkov V. A. E. O. Paton bridge after half a century 35
*Granovsky N. A., Timchenko V. V., Ilyushenko V. M., Butakov
G. A.* Two-station installation for TIG-welding of copper 37
Chernyak Ya. P. Comparative evaluation of wear-resistance
of electrode materials used for restoration of tram rails 41
*Yushchenko K. A., Levchenko O. G., Bulat A. V., Bezushko O. N.,
Samoilenko V. I., Misechko V. V.* Sanitary-hygienic characteristics
of coated electrodes for high-alloy steel welding 44

BRIEF INFORMATION

Ilyushenko V. M., Butakov G. A., Ganchuk A. V. Robotic techno-
logical complex for welding ball cocks in Ar+Co₂ mixture 48
Thesis for scientific degree 49
Patents in the field of welding 50
Review of foreign journals 53

NEWS

Weldex/Rossvarka-2007 56
In memory of O. A. Emeljanov 58

INFORMATION 59
Index of articles 63
Index of authors 67

НКМЗ СТАЛ ПОБЕДИТЕЛЕМ XII НАЦИОНАЛЬНОГО КОНКУРСА КАЧЕСТВА

На XVI Международном форуме «Дни качества в Киве — 2007», который проводился в рамках Европейской недели качества в Украине, Новокраматорский машиностроительный завод (г. Краматорск Донецкой обл.) признан победителем XII Национального конкурса качества в номинации «Крупные предприятия» и стал обладателем сертификата «Признание совершенства в Европе — пять звезд» Европейского фонда управления качеством. Другим участником этой номинации — Крюковскому вагоностроительному заводу, горно-металлургическому комбинату «Арселор Миттал Кривой Рог», электромашиностроительному заводу «Сэлма» (Симферополь) — присвоено звание лауреатов.

Вручая золотой знак победителя и сертификат, президент Украинской ассоциации качества Петр Калита подчеркнул, что Новокраматорский завод — единственный среди крупных украинских предприятий — вплотную подошел к уровню лучших компаний Центральной и Восточной Европы, определяемому по критериям Модели делового совершенства Европейского фонда управления качеством. Теперь НКМЗ будет участвовать в европейском конкурсе качества, участниками которого являются такие всемирно известные компании, как «Нокиа», «Фольксваген», «Вольво», «Даниэли». Цель предприятия — получить сертификат «Финалист европейской награды качества».

ПОТРЕБИТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЙ ОТ КОМПАНИИ FRONIUS ПОЛУЧАЮТ НАИВЫСШУЮ НАГРАДУ

На церемонии в Детройте 18 октября 2007 г. вице-президент компании Ford Motor Джим Титреолт вручил одну из наиболее престижных наград этого года Henry Ford Technology Awards (HFTA) группе инженеров завода Ford, который расположен в Кельне (Германия). Награда была вручена за выдающиеся иннова-

стандартные процессы дуговой сварки.

Другая команда, которая работает в Центре проектирования Jonh Andrews в Кельн-Мекених, также получила HFTA за талантливое применение технологии лазерной пайки нагретой проволокой на крыше нового Mondeo. Они также использовали технологию от компании Fronius и тесно сотрудничают с инженерами, специалистами из Велса.

Группа экспертов HFTA состоит из 64 членов. Ежегодно они вручают награды работ-



ционные достижения. Совместно со сварочными экспертами компании Fronius, компании, которая создала процесс СМТ (холодный перенос металла), они нашли идеальное решение для получения паяного шва без разбрызгивания на корпусах автомобилей Ford Mondeo и успешно внедрили его в автоматизированную производственную линию. С 2005 г. эта новая цифровая технология соединения обеспечила производителей автомобилей и других профессионалов обработки металла уникальной возможностью: СМТ гарантирует, что соединение будет выполняться более быстро и — что важнее всего — практически без разбрызгивания, с меньшей температурной задержкой, чем

никам компании Ford, которые достигли выдающихся успехов и способствуют поддержанию технологического лидерства компании.

С 1981 г. эта награда вручается выдающимся рационализаторам компании Ford во всем мире. Она символизирует огонь и по сути является олимпийской наградой в области автомобильного машиностроения.

НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Компания ELETTRIO s. f. (Италия) освоила производство трехфазных инверторных аппаратов с одноимпульсным (Invertor PRO MIG-465 PULSED) и двухимпульсным (Invertor PRO MIG 565 TWO-PULSED) управлением и многофункцио-



нальностью, т. е. возможностью сварки в режиме MIG/MAG (дуговая сварка металлическим электродом в среде инертного газа), TIG (дуговая сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа) и MMA (дуговая сварка электродом с покрытием).

Инверторы отличает:

- полный контроль и управление параметрами, что позволяет выбрать условия сварки пульсирующим током с помощью панели управления;

- синергетическое управление, позволяющее контролировать условия сварки с помощью одного параметра, все остальные параметры устанавливаются в зависимости от него;

- большой диапазон сохраненных в памяти синергических кривых, которые учитывают наиболее распространенные рабочие условия с возможностью расширения памяти инвертора;

- встроенный узел охлаждения горелки, который управляется с панели управления;

- возможность комплектации дополнительным комплектом горелки из ряда наиболее распространенных типов;

- двухимпульсная работа PRO MIG 565 позволяет выполнять сварку даже очень тонких деталей;

- для получения качественного формирования шва имеют дополнительные функции для сварки MIG/MAG (Soft-Start — плавный пуск и Burn Buck — растяжка дуги), TIG (Lift-Start — облегченный поджиг дуги), MMA (Hot-Start — функция облегченного поджига дуги, Arc-Force — функция стабилизации дуги во время сварки, Anti-Sticking — функция против прилипания электрода).

HiFOCUS-УСТАНОВКИ ДАЮТ ПРОЦЕССУ ОБРАБОТКИ ВЫСОКУЮ ГИБКОСТЬ

Немецкая фирма Kjellberg Finsterwalde производит высококачественные HiFocus-установки с применением первичных выпрямителей для толщины материала от 0,5 до 80 мм. При оптимальном управлении процессом возможны маркировки.

Эти современнейшие установки тонкоструйной плазмотехники, которые позволяют проводить резку без образования бородок, с минимальной средней шероховатостью разреза и с большой точностью повтора, носят имя HiFocus-



установок. В особенности для i-серии установок HiFocus ведется непрерывное дальнейшее развитие инверторов.

С целью улучшения качес-

тва резки используются оптимальные параметры для различных материалов и толщин во многих областях применения данной технологии.

При использовании обычных плазменных устройств для угловых отклонений, лежащих в диапазоне 5, действует DIN EN ISO 9013. При резке же с применением HiFocus-технологии, напротив, производятся разрезы для диапазонов от 2 до 4, сходные по качеству с разрезами, проведенными лазером. При оптимальных условиях угловое отклонение при плазменной резке в отличие от лазера лежит между -1 и +2° даже при толщине материала до 60 мм.

К условиям получения такого результата относятся, наряду со специальным управлением процессом, система регулирования газов FlowCon-



trol, а также высококачественная плазменная техника. Плазменные тонкоструйные горелки серии PerCut предлагаются с быстросменной головкой, а также в различных вариантах для резки трехмерных деталей на резочных столах и с помощью роботов.

Наряду с прямыми, контурными и фасочными разрезами под углом до 45° плазменные установки HiFocus 160i, HiFocus280i и HiFocus 360i позволяют проводить также разметку, трассировку и маркировку.



МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СВАРНЫХ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ СОЧЕТАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ НА ОБРАЗЦАХ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **Е. А. ВЕЛИКОИВАНЕНКО**, канд. физ.-мат. наук,
А. П. СЕМЕНОВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

В рамках развития метода Б. З. Марголина по определению вязкости разрушения конструкционных сталей за счет более строгого моделирования деформационных процессов в зоне трещины испытуемого образца предложен модернизированный метод для построения вероятностных кривых зависимости K_{IC} от температуры для образцов из охрупченной стали 15X2НМФА толщиной 50 мм по результатам испытания образцов толщиной 10 мм при температуре $-100\text{ }^\circ\text{C}$.

Ключевые слова: вязкость разрушения, вероятность разрушения микросколом, параметры распределения Вейбулла, напряжения в зоне трещины, характеристики деформирования материала

Известно, что получить надежные данные о характеристиках сопротивления материала хрупкому разрушению типа вязкость разрушения K_{IC} современных конструкционных сталей, особенно в зоне сварных соединений, достаточно сложно, поскольку это связано с испытаниями образцов большого сечения, что не всегда возможно для «горячих точек» эксплуатируемых сварных конструкций.

По стандарту образцы для испытаний, связанных с определением K_{IC} , должны иметь толщину B (длину трещины вдоль ее основания) на уровне $B > (1,0 \dots 2,5)(K_{IC}/\sigma_T)^2$, где σ_T — предел текучести материала. При $K_{IC}/\sigma_T > (5 \dots 8)\text{ мм}^{1/2}$ требуемые значения $B \geq 50 \dots 150\text{ мм}$, что сложно для проведения испытаний, особенно при выполнении технической экспертизы эксплуатируемых конструкций.

В этой связи получили распространение подходы, основанные на замене трудноосуществимого экспериментального измерения K_{IC} комплексом доступных измерений с последующим получением искомого результата, на основе соответствующих моделей пересчета [1–3] и др. Эти подходы отличаются как измеряемыми характеристиками материала, так и моделями пересчета.

При этом можно отметить стремление исследователей компенсировать недостаток экспериментальной информации соответствующим мате-

матическим моделированием характерных явлений, связанных с разрушением образцов.

С этих позиций особое внимание заслуживает подход, предложенный в [4] и развитый в работах Б. З. Марголина [5, 6] и др., суть которого заключается в следующем.

Рассмотрим образец для определения K_{IC} при растяжении либо трехточечном изгибе (рис. 1). Напряженное состояние у вершины трещины зависит от условий нагружения (нагрузки P , геометрии образца, температуры испытания и свойств материала образца оказывать сопротивление упругопластическому деформированию). В свою очередь нагрузка P и геометрия образца определяют значения коэффициента интенсивности напряжений K_I по известным зависимостям [7].

Поликристаллический материал образца у вершины трещины представляется как совокупность элементарных ячеек, размеры ρ которых соответствуют среднему размеру зерен поликристаллического материала. Для элементарной ячейки используется вероятностный критерий хрупкого разрушения по механизму зарождения трещины микроскола в следующем виде:

$$P(\sigma_1) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma_1 - A}{\sigma_d} \right)^\eta \right], \quad (1)$$

где σ_1 — максимальное главное напряжение в данной ячейке при нагрузке, определяемой K_I ; $A = S_k(\omega)$ либо $A = \sigma_{d0}$ (что больше); σ_{d0} , σ_d , η — параметры распределения Вейбулла (для данного материала приняты не зависящими от температуры T и степени деформации ω); $S_k(\omega)$ — сопротивление отрыву в зависимости от ω .

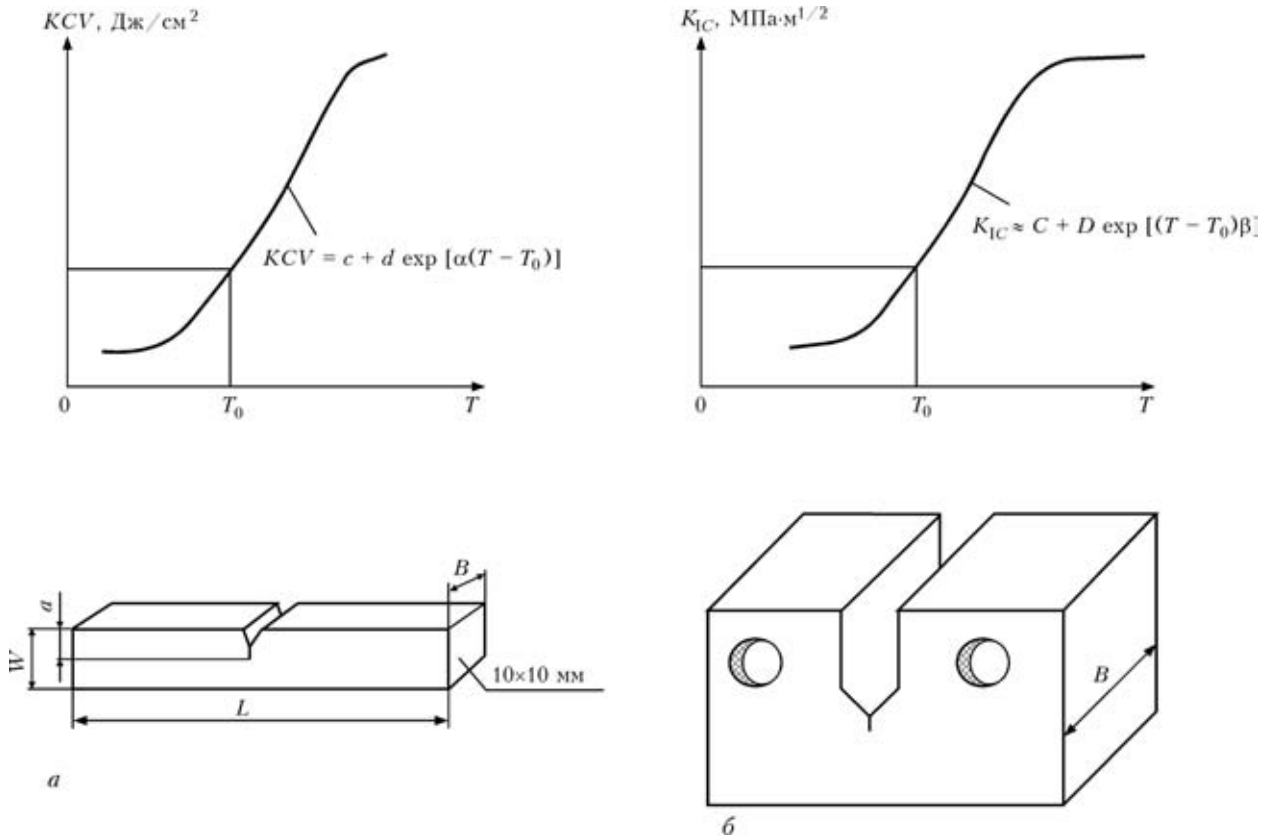


Рис. 1. Схематическое представление результатов испытания на ударную вязкость на образцах Шарпи (а) и определения K_{IC} на образце толщиной $B \geq 100 \dots 150$ мм (б): T_0, c, d, a — экспериментальные параметры для кривой $KCV(T)$; C, D, β — то же для кривой $K_{IC}(T)$; a — глубина трещины; L, W — длина и высота образца

Параметр упрочнения ω (параметр Одквиста) определяется накопленной при нагружении пластической деформацией, т. е.

$$\omega = \int d\varepsilon_i^p, \quad (2)$$

где $d\varepsilon_i^p$ на каждом шаге нагружения находят через приращения пластических деформаций

$$d\varepsilon_i^p = \frac{2}{3} \sigma_i d\lambda, \quad (3)$$

где σ_i — эквивалентное напряжение; $d\lambda$ — параметр закона Прандтля–Рейсса для упругопластического течения материала, ассоциированного с условием текучести Мизеса, т. е. деформирующее напряжение $\sigma_s(T, \omega)$ при данной температуре испытания T также зависит от ω ;

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)]^{0,5}, \quad (4)$$

где $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}$ — компоненты тензора напряжений.

В случае $i = 1, 2, \dots, N$ ячеек вероятность, что, по крайней мере, в одной из них произойдет

разрушение по указанному механизму определяется выражением

$$P_f(K_f) = 1 - \exp \left[- \sum_i^N \left(\frac{\sigma_1^i - A}{\sigma_d} \right)^\eta \right], \quad (5)$$

где суммирование по n фактически производится только по ячейкам, где $\sigma_1^i > A$.

Значение σ_1^i на различной стадии испытания образца при температуре T можно определить путем решения соответствующей краевой задачи упругопластического деформирования при заданных геометрических размерах (рис. 1), характеристиках упругости (E — модуль Юнга; ν — коэффициент Пуассона) и деформирующем напряжении $\sigma_s(T, \omega)$.

Естественно, что для образцов, подобных приведенным на рис. 1, такой подход требует трехмерной постановки задачи деформирования с учетом физической, а в некоторых случаях и геометрической нелинейности, что в настоящее время не так уж сложно в отличие от времени публикации работ [5, 6]. Их авторы в основном использовали упругое решение в рамках плоской деформации с соответствующими не очень строгими поправками, которые искусственно учитывают пластические де-



Параметры деформационного упрочнения стали 12Х2НМФА

Параметр	T, °C								
	-196	-100	-60	-20	20	100	200	350	450
D_0 , МПа	$\frac{679}{765}$	$\frac{635}{732}$	$\frac{622}{718}$	$\frac{629}{727}$	$\frac{590}{700}$	$\frac{357}{740}$	$\frac{—}{764}$	$\frac{537}{742}$	$\frac{—}{586}$
n	$\frac{0,490}{0,410}$	$\frac{0,470}{0,360}$	$\frac{0,460}{0,360}$	$\frac{0,490}{0,390}$	$\frac{0,490}{0,430}$	$\frac{0,490}{0,440}$	$\frac{—}{0,470}$	$\frac{0,500}{0,490}$	$\frac{—}{0,450}$

Примечание. В числителе приведены данные образца в исходном состоянии, в знаменателе — в состоянии охрупчивания.

формации при различной температуре испытания, что в определенной степени дискредитирует рассматриваемый подход и вызывает среди критиков данного направления убедительные возражения.

С этой точки зрения данная работа не связана с указанным упрощением в получении информации относительно σ_1 , что в значительной степени повышает ее корректность и делает методику привлекательной для практического применения. Существующие пакеты компьютерных программ типа «Ansis», «Sysweld», «Marc» позволяют достаточно эффективно получить решение деформационной задачи путем последовательного прослеживания нагружения образцов (см. рис. 1) конкретных размеров, фиксируя на каждом этапе нагружения трехмерное поле главных напряжений σ_1 .

Из изложенного выше следует, что для этой конструкционной стали при данной степени деградации зависимость вязкости разрушения K_{IC} для вероятности P_f от температуры T и толщины образца B можно найти расчетным путем, моделируя деформирование образца (определение полей σ_1) в сочетании с весьма ограниченным количеством испытаний (10...12) непосредственно по определению K_{IC} (на образцах небольшого сечения при низкой температуре) с целью получения данных относительно параметров распределения Вейбулла σ_{d0} , σ_d , η . Последние определяются по результатам разброса экспериментальных значений K_{IC} , т. е. при известных значениях K_{IC} ($P_f = 0,95$), K_{IC} ($P_f = 0,50$), K_{IC} ($P_f = 0,05$) для выполненной серии экспериментов на основе известных полей $\sigma_1(x, y, z)$ с использованием подходов метода наибольшего правдоподобия [8].

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан комплекс расчетных алгоритмов и компьютерных программ как для решения трехмерной деформационной задачи применительно к нагружению образцов, представленных на рис. 1, так и прямой и обратной задачи, связанной с вычислением P_f по (5) и определением параметров распределения Вейбулла σ_{d0} , σ_d , η .

Далее рассмотрим результаты использования данной разработки применительно к образцам при трехточечном изгибе (см. рис. 1, б). В силу сим-

метрии ограничивались расчетной областью $0 \leq z \leq B/2$, $0 \leq x \leq L/2$, $0 \leq y \leq W$.

Для связи между K_1 и нагрузкой P при заданных значениях a , B , W использовалась зависимость [7] при $L = 4W$

$$K_1 = \frac{6P\sqrt{a}}{W} [1,93 - 3,07(a/W) + 14,53(a/W)^2 - 25,11(a/W)^3 + 25,8(a/W)^4]. \quad (6)$$

Исследовали образцы из корпусной стали 15Х2НМФА в исходном и охрупченном состоянии, при этом принимали $\rho = 0,05$ мм.

Деформирующее напряжение $\sigma_s(T, \omega)$ или условный предел текучести при данной температуре с учетом деформационного упрочнения рассчитывали, как и в работе [9], по уравнению

$$\sigma_s(T, \omega) = r - c(T + 273) + b \exp[h(T + 273)] + D_0\omega^n, \quad (7)$$

где r, c, b, h — константы материала, не зависящие от температуры T ; D_0, n — величины, определяющие степень деформационного упрочнения и являющиеся функциями температуры.

По данным работы [9] для рассматриваемой стали в исходном состоянии $r = 510$ МПа, $c = 0$, $b = 1083$ МПа, $h = 9,309 \cdot 10^{-3}$ 1/К, а в охрупченном — $r = 867$ МПа, $c = 0,0305$ МПа · 1/К, $b = 975$ МПа, $h = 1,04 \cdot 10^{-2}$ 1/К.

Значения D_0 и n приведены в таблице из работы [9]. Значения критического напряжения S_k для рассматриваемой стали принимали зависящими от деформационного упрочнения по [9] в виде

$$S_k(\omega) = [C_1^* + C_2^* \exp(-D_*\omega)]^{-0,5}, \quad (8)$$

где константы даны для исходного состояния стали ($C_1^* = 2,01 \cdot 10^{-7}$ МПа⁻², $C_2^* = 3,90 \cdot 10^{-7}$ МПа⁻², $D_* = 1,71$) и охрупченного ($C_1^* = 1,92 \cdot 10^{-7}$ МПа⁻², $C_2^* = 3,04 \cdot 10^{-7}$ МПа⁻², $D_* = 2,92$). Соответственно при $\omega = 0$ $S_k(0) = 1420$ МПа, а при $\omega \rightarrow \infty$ $S_k^{\max} = 2282$ МПа.

Реально S_k^{\max} достигается при $\omega = 3/D_*$, что соответствует $\omega = 1,71 = 171\%$ в исходном сос-

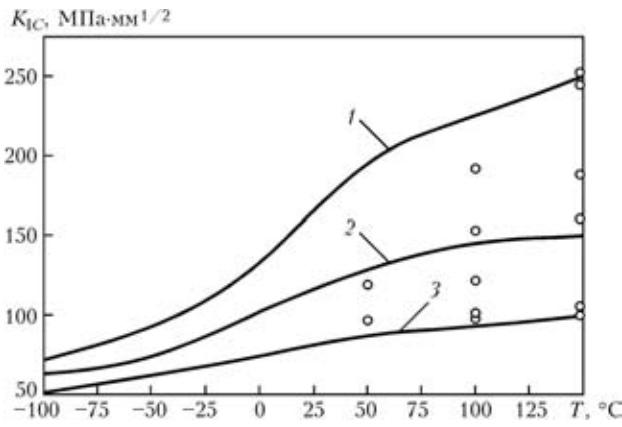


Рис. 3. Расчетные кривые вероятностных значений $K_{IC}(T)$: 1 — $P_f = 0,95$; 2 — 0,50; 3 — 0,05; \circ — экспериментальные данные

тоянии стали и при $1,027 = 102,7\%$ в охрупченном.

По данным работы [9] параметр σ_{d0} в локальном критерии микроскола (1) имеет значение на уровне $r + b$, т. е. равен 1593 МПа для исходного состояния рассматриваемой стали и 1842 МПа для охрупченного.

Таким образом, условие локального критерия (1) $\sigma_1 > A$ превращается в условие $\sigma_1 > \sigma_{d0}$, если значение ω меньше определенного $\omega = 0,436$ (исходное состояние стали) и 0,338 (охрупченное), а при больших значениях параметра деформационного упрочнения (больших пластических деформациях) — значением $S_k(\omega)$.

Иными словами, при развитом пластическом течении (высоких значениях $S_k(\omega)$) и прочих равных условиях вероятность того, что данное значение K_I (нагрузка P) является критическим и снижается, что подтверждается практикой.

С учетом описанного выше обработаны экспериментальные данные, полученные для образцов малого сечения (10×10 мм), в состоянии охрупчивания при трехточечном изгибе и температуре $T = -100$ °C:

$$K_{IC} = 62 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \text{ при } P_f = 0,05;$$

$$K_{IC} = 83,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \text{ при } P_f = 0,50;$$

$$K_{IC} = 101 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \text{ при } P_f = 0,95.$$

На рис. 2 приведены результаты расчета главных напряжений σ_1 для рассматриваемого образца при $K_{IC} = 62 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что соответствует вероятности разрушения $P_f = 0,05$ при различных сечениях $z = \text{const}$. На основании представленных данных можно сделать вывод, что по толщине образца напряженное состояние меняется от наиболее жесткого при $z = 0$ в плоскости симметрии $z = 0$ до наиболее мягкого на свободной поверхности $z = B/2 = 5$ мм. Характерно, что количест-

во элементарных ячеек объемом $\Delta z \times \Delta x \times \Delta y = (0,05 \text{ мм})^3$, для которых на рис. 2 удовлетворяется условие микроскола $\sigma_1 > A \approx 1843 \text{ МПа}$, с увеличением расстояния от плоскости симметрии уменьшается. Так, при $z = 0$ таких объемов — 44 (рис. 2, а), при $z = 4,95$ мм — 19 (рис. 2, в), а при $z = 5$ мм — 0 (рис. 2, з).

Естественно, что рост значений P_f и K_{IC} способствует увеличению количества элементарных объемов. На основе полученных для P_f значений (0,05, 0,50 и 0,95) по зависимости (5) рассчитаны значения $P_f^{\text{расч}}$ при различных комбинациях параметров Вейбулла η и σ_d при $\sigma_{d0} = 1842 \text{ МПа}$ и $S_k(\omega)$ по (8). Для каждой комбинации определялось

$$\text{значение } E = \sum_{P=0,05} (P_f - P_f^{\text{расч}})^2. \text{ Найдено сочетание}$$

параметров σ_d и η , при котором значение E минимально. В результате получено $\eta = 11,2$, $\sigma_d = 1715 \text{ МПа}$ при $\sigma_{d0} = 1842 \text{ МПа}$ и $S_k(\omega)$ по (8).

С использованием этих данных для образца сечением $B = W = 50$ мм, $a = 15$ мм, $L = 220$ мм рассчитаны вероятностные кривые K_{IC} при температуре от -100 до 150 °C (рис. 3). Полученные данные достаточно хорошо согласуются с экспериментальными из [9] в области рабочих температур ($T > 50$ °C) для охрупченного материала корпусов реакторов типа ВВЭР-1000.

Характерно, что указанная выше особенность в распределении напряжений σ_1 в образце малого сечения проволоки сохраняется и для образца большего сечения, в частности, на свободной поверхности $z = B/2$ нет условий для зарождения хрупкого разрушения. На эту поверхность хрупкая трещина может только распространяться, а ее зарождение происходит внутри образца при $z < B/2$.

Выводы

1. Разработанные численные методы и современное состояние средств вычислительной техники позволяют использовать более общий подход в реализации предложенного в работах [4–6, 9] метода определения вязкости разрушения K_{IC} конструкционных сталей типа 15Х2НМФА.

2. Знание кинетики деформации образцов в зависимости от нагрузки при постоянной температуре T и соответствующих ей характеристиках E , ν , $\sigma_s(T, \omega)$ позволяет получить для вероятностных значений K_{IC} поле главных напряжений $\sigma_1(x, y, z)$, на основе чего и определяется вероятность хрупкого разрушения в элементарных ячейках в образце в зоне вершины трещины.

3. По экспериментальным значениям K_{IC} , полученным при одной достаточно низкой температуре на образцах небольшого сечения, при наличии соответствующих полей напряжений $\sigma_1(x, y,$

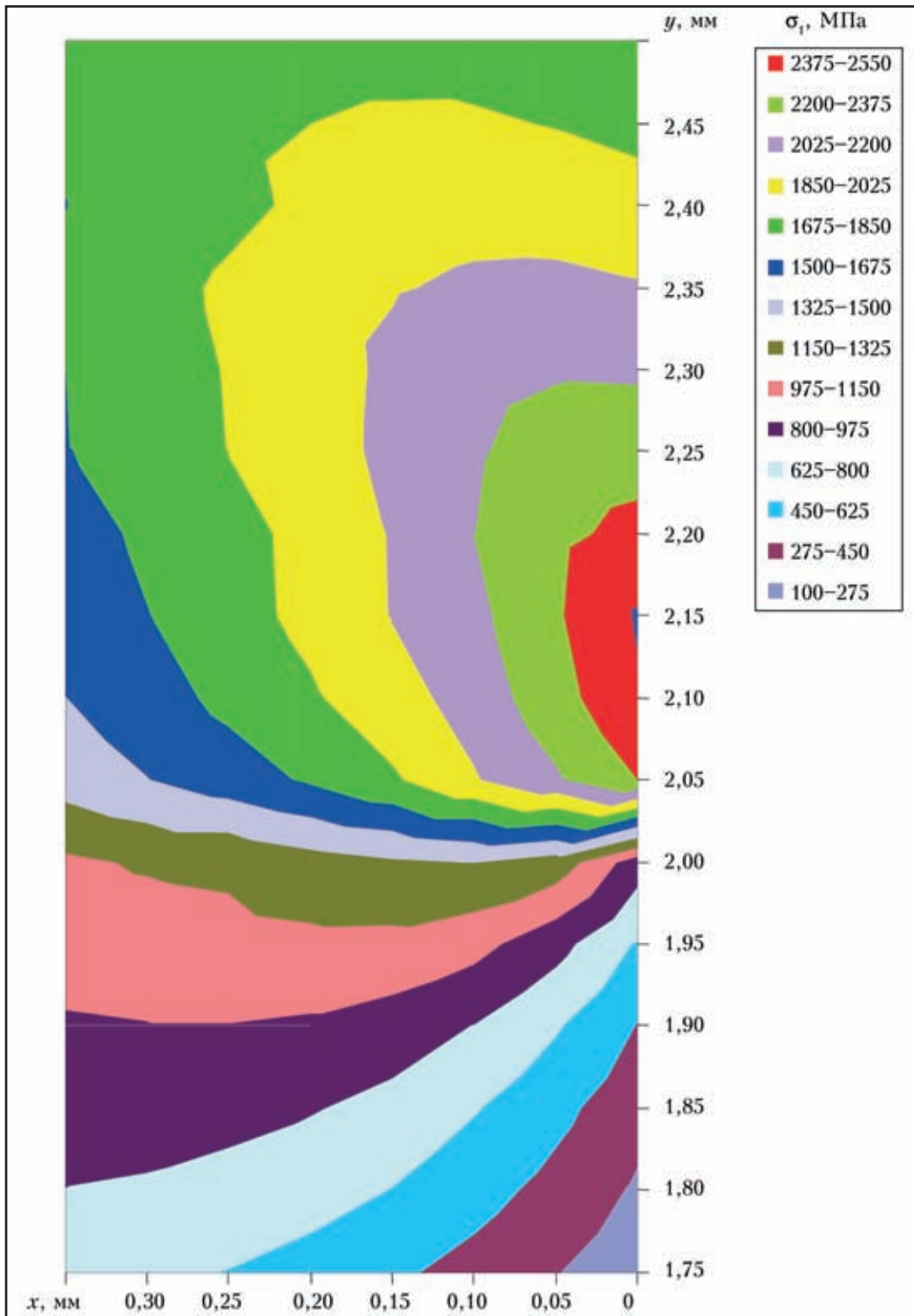


Рис. 2, а. Результаты расчета σ_1 для образцов ($B = W = 10$ мм) при $T = -100$ °С и $K_I = 62$ МПа \times мм^{1/2} в окрестности трещины глубиной 2 мм для сечения $z = 0$ (вершина трещины $y = 2,05$ мм, $P_f = 0,05$)

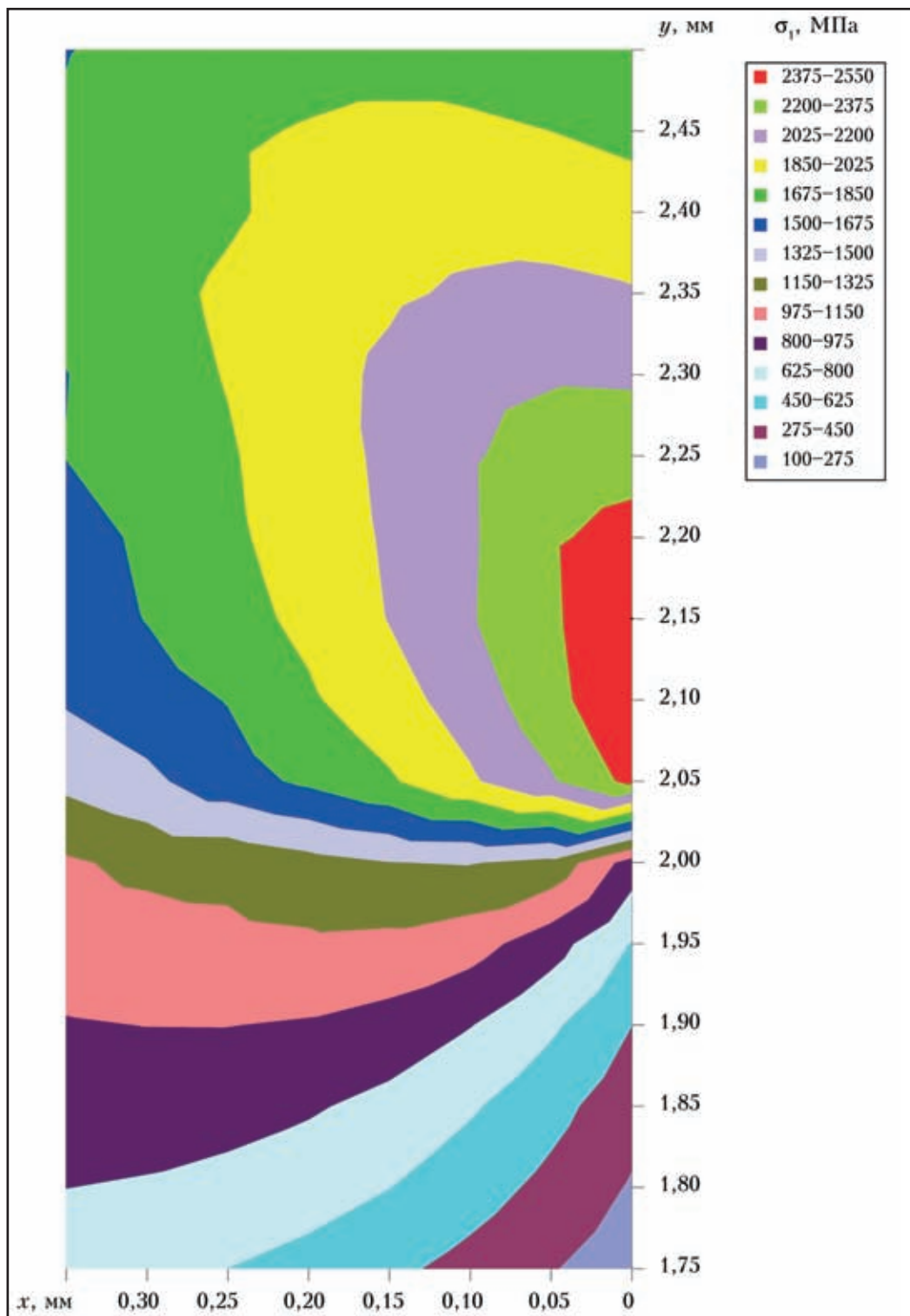


Рис. 2, б. Для сечения $z = 2,5$ мм

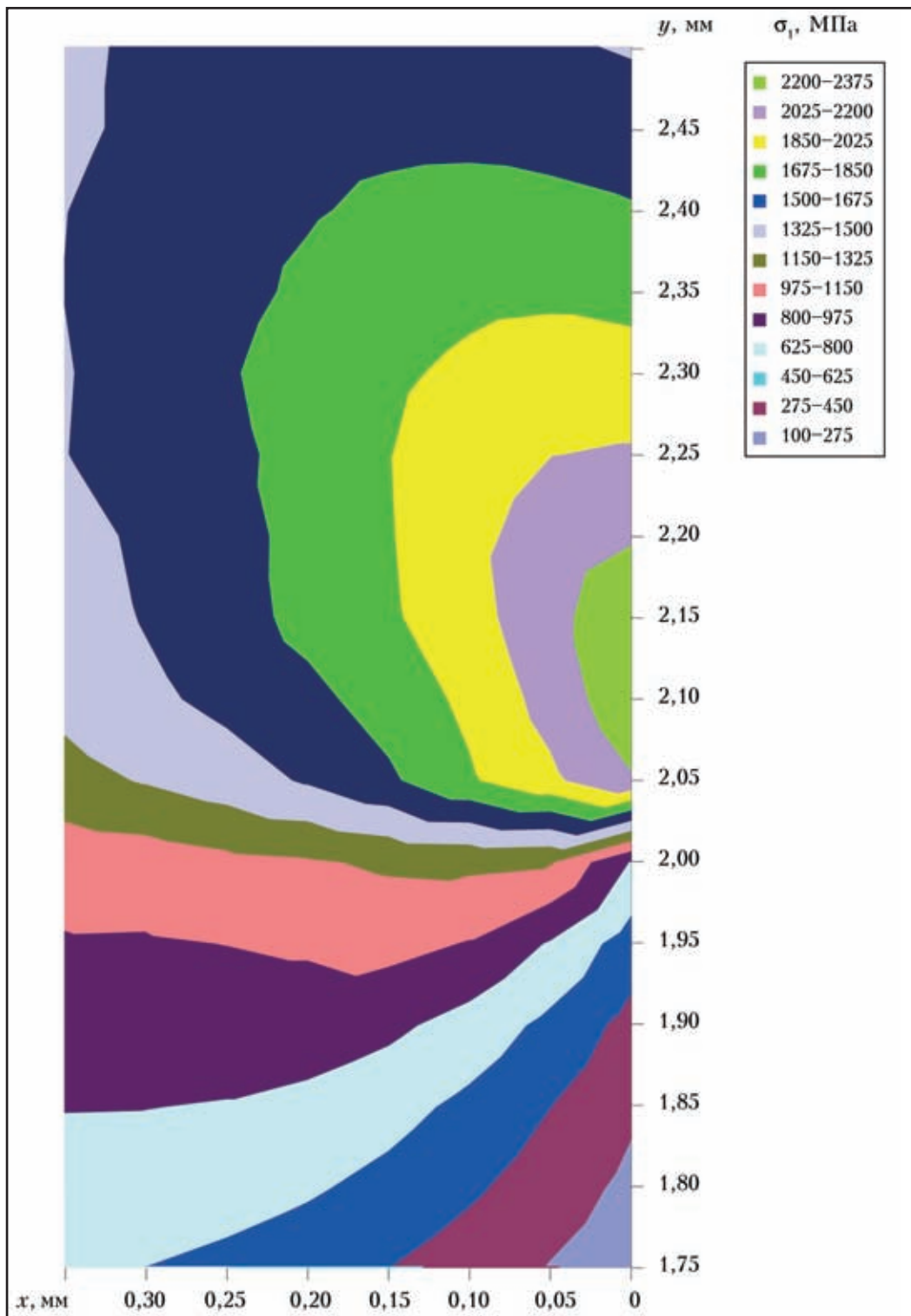


Рис. 2, в. Для сечения $z = 4,95$ мм

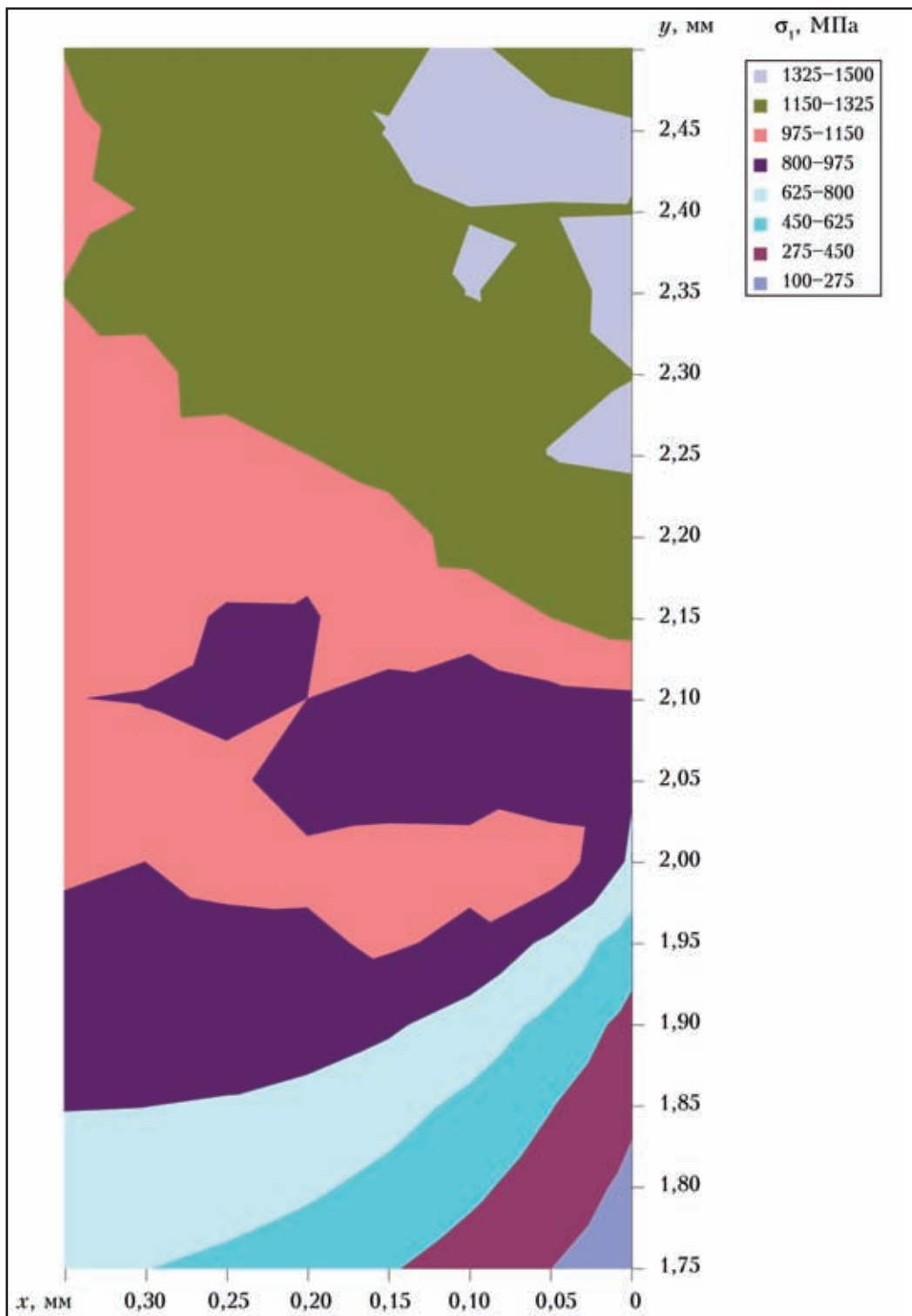


Рис. 2, г. Для сечения $z = 5,00$ мм



z) можно определить параметры вероятностного хрупкого разрушения элементарных ячеек объемом σ_{d0} , σ_d и η и получить зависимость вероятностных значений K_{IC} от температуры.

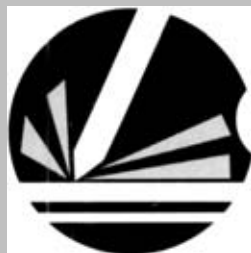
1. *Махненко В. И.* Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. — Киев: Наук. думка, 2006. — 618 с.
2. *Ritchie R. O., Knott J. F., Rice J. R.* On the relation between critical tensile stress and fracture toughness in mild steel // *J. Mech. Phys. Solids*. — 1975. — **21**. — P. 395–410.
3. *ВБН В.2.3-000182001.04-2000.* Расчеты на прочность действующих магистральных трубопроводов с дефектами. — Киев: Госнефтегазпром, 2000. — 56 с.
4. *Beremin F. M.* A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel // *Metallurgical Transaction*. — 1983. — **144**. — P. 1277–2287.
5. *Margolin B. Z., Karzov G. P., Shvetsova V. A.* Brittle fracture of nuclear pressure vessel steels. Pt. II: Prediction of frac-

ture toughness // *Intern. J. Pressure Vessels Piping*. — 1997. — **72**. — P. 89–96.

6. *Margolin B. Z., Gulenko A. G., Shvetsova V. A.* Improved probabilistic model for fracture toughness prediction based for nuclear pressure vessel steels // *Ibid.* — 1988. — **75**. — P. 843–855.
7. *Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие.* — В 4 т. — Т. 2: Саврух М. П. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами / Под ред. В. В. Панасюка. — Киев: Наук. думка, 1988. — 620 с.
8. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1968. — 720 с.
9. *Прогнозирование трещиностойкости корпусной реакторной стали на основе концепции «Master curve» и вероятностной модели / Б. З. Марголин, В. А. Швецова, А. Г. Гуленко и др.* // *Пробл. прочности*. — 2002. — № 1. — С. 5–21.

As a result of development of B. Z. Margolin method for determination of fracture toughness of structural steels by a stricter simulation of deformation processes in the tested sample crack zone, an upgraded method was proposed for construction of probability curves of K_{IC} dependence on temperature for samples 50 mm thick from embrittled steel 15Kh2NMFA by the results of testing samples 10 mm thick at the temperature of -100°C .

Поступила в редакцию 17.05.2007



СВАРКА И РЕЗКА

8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

25–28 марта 2008 г.

г. Минск
ЗАО «Минскэкспо»

Выставка проводится одновременно с международными специализированными промышленными салонами «Поверхностные технологии. Защита от коррозии» и «Промышленный сервис. Ремонт, модернизация».

Беларусь 220035 г. Минск, ул. Тимирязева, 65
Минскэкспо
тел. +37517 226 98 58, 226 99 83
факс: +37517 226 98 58, 226 99 36
E-mail: e_fedorova@solo.by



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ ПЛАЗМОТРОНОМ С ПРОВОЛОКОЙ-АНОДОМ

М. Ю. ХАРЛАМОВ, канд. техн. наук (Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, г. Луганск),
чл.-кор. НАН Украины **И. В. КРИВЦУН**, **В. Н. КОРЖИК**, **С. В. ПЕТРОВ**, доктора техн. наук,
А. И. ДЕМЬЯНОВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана математическая модель, описывающая турбулентное течение электродуговой плазмы и формирование плазменной струи в условиях плазменно-дугового напыления. На основе численного моделирования проведен детальный анализ влияния режимов работы плазмотрона с проволокой-анодом и условий обдува генерируемой им слаботурбулентной плазменной струи ламинарным потоком газа на электрические характеристики дугового разряда, тепловые и газодинамические характеристики плазменного потока.

Ключевые слова: электродуговое напыление, проволоочный материал, дуговой плазмотрон, математическая модель, программное обеспечение, характеристики течения плазмы

При модифицировании поверхностей деталей машин и механизмов широкое применение получили способы газотермического нанесения покрытий, основанные на использовании электрической дуги. Сегодня одним из наиболее прогрессивных способов, позволяющим получать наиболее высококачественные покрытия, является сверхзвуковое электродуговое напыление проволоочных материалов в потоке продуктов сгорания природного газа с воздухом [1, 2]. В то же время современное машиностроение выдвигает к покрытиям все более высокие требования, которые могут быть удовлетворены только на основе новых подходов. Это, например, требование обеспечения близкой к нулю пористости, необходимой прочности покрытия, приближающейся к прочности компактного материала, минимальных потерь при напылении в случае использования дорогих материалов и больших объемах производства деталей с покрытиями, точности процесса, воспроизводимости показателей качества при длительной работе оборудования. Примером может быть процесс напыления молибденового или аморфного покрытия на кольца синхронизаторов коробки передач на автоматической линии. Перспективен для решения таких задач процесс плазменно-дугового проволоочного напыления с использованием аргоновой дуги, обдуваемой интенсивным спутным воздушным потоком. В этом случае дуга горит между вольфрамовым катодом, обдуваемым потоком аргона с небольшим расходом и плавящейся токоведущей проволокой, подаваемой за срезом двойного сопла плазмотрона. В зазор меж-

ду соплами подается воздух. Особенности такого процесса является то, что плавление и струйное течение материала проволоки происходит в защитной атмосфере аргона, а дробление расплава и разгон дисперсных частиц — в плазменной струе, обжатой спутным потоком воздуха, истекающего из кольцевого зазора между соплами плазмотрона. В результате обеспечиваются минимальные потери на испарение материала проволоки и насыщение его кислородом и азотом воздуха, оптимальный фракционный состав дисперсной фазы, достижение частицами напыляемого материала околосвуковой скорости в момент встречи с основой, наиболее высокую объемную концентрацию напыляемых частиц и минимальный угол раскрытия двухфазного потока, составляющий несколько градусов. В результате создаются предпосылки для вывода получаемых таким способом покрытий на современный конкурентоспособный уровень. При совершенствовании конструкций плазмотронов с проволокой-анодом и выборе рациональных режимов их работы очень важно иметь возможность прогнозирования характеристик формируемых плазменных и двухфазных потоков. Эти задачи могут быть успешно решены путем разработки соответствующих физико-математических моделей, создания программного обеспечения для их компьютерной реализации и численного моделирования изучаемых потоков дуговой плазмы.

Исследованию дугового разряда и его использованию для нагрева и ускорения газа с помощью дуговых генераторов плазмы посвящено большое количество работ [3–6]. Однако в большинстве публикаций рассматривается электрическая дуга косвенного действия, горящая внутри сопла-анода плазмотрона. Сопутствующие плазменному рас-



пылению проволоки-анода процессы теплового, газодинамического и химического взаимодействия плазменной струи с потоком обдувающего газа и внешней газовой средой на данный момент изучены явно недостаточно. Поэтому существует необходимость разработки унифицированной физико-математической модели указанных процессов, применимой для широкого класса плазменных технологий и учитывающей взаимодействие электрической дуги и плазменной струи с обдувающим потоком газа, что и являлось целью данной работы.

Моделирование процесса формирования плазменного потока проводили при следующих условиях (рис. 1). Дуга постоянного тока горит между тугоплавким водоохлаждаемым катодом и токоведущей проволокой, расположенной за срезом сопла плазмотрона. Подающийся в сопло плазмообразующий газ с объемным расходом G_1 нагревается электрической дугой и истекает из электродного сопла радиусом R_c . Открытый участок разряда (вне плазмформирующего канала) обдувается потоком газа с объемным расходом G_2 , подаваемым через кольцевой канал $R_1 \leq r \leq R_2$ под углом α к оси плазмотрона. Давление во внешней среде атмосферное. Анодная проволока расположена на расстоянии Z_2 от начала расчетной области. Полагается, что далее (при $z > Z_2$) имеет место инерционное движение бестоковой плазмы.

Таким образом, при теоретическом анализе процессов нагрева и движения газа в условиях плазменно-дугового напыления расчетный участок условно можно разделить на три области (рис. 1): течение дуговой плазмы внутри сопла плазмотрона ($0 \leq z \leq Z_1$), внешнее течение дуговой плазмы и ее взаимодействие с потоком обдувающего газа ($Z_1 \leq z \leq Z_2$), а также инерционное движение бестоковой плазмы ($z > Z_2$).

В плазмотронах рассматриваемого типа осуществляется прокатка относительно небольших количеств плазмообразующего газа (аргона), в них, как правило, реализуется слаботурбулентный режим течения плазмы, поскольку вязкость газа с повышением температуры увеличивается. Ввод в открытую область течения плазмы спутного ламинарного потока обдувающего газа, а также его взаимодействие со слаботурбулентной плазменной струей и является предметом исследования.

Для математического описания процессов, протекающих при формировании плазменной дуги и истечении дуговой плазмы из сопла плазмотрона, примем следующие допущения:

рассматриваемая плазменная система имеет цилиндрическую симметрию, а протекающие процессы предполагаются стационарными;

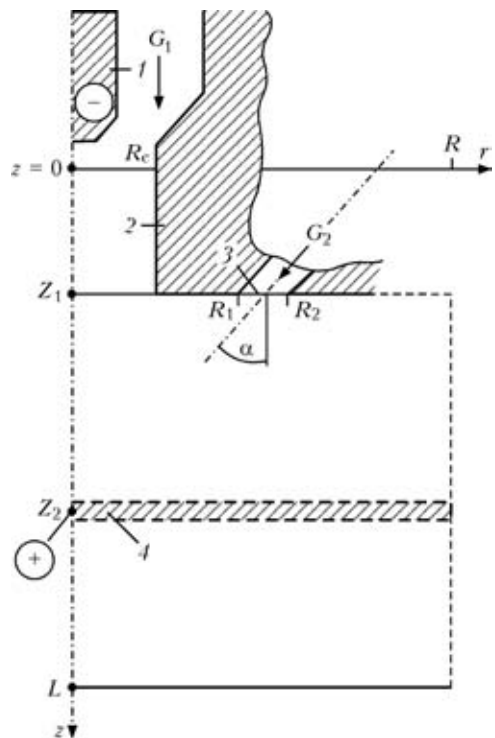


Рис. 1. Схема расчетной области плазмотрона: 1 — тугоплавкий катод; 2 — сопло плазмотрона; 3 — канал подачи обдувающего газа; 4 — проволока-анод

обдувающий газ подается осесимметричным потоком через кольцевой канал, течение этого газа в канале полагается ламинарным;

плазма находится в состоянии локального термодинамического равновесия, собственное излучение плазмы объемное;

основным механизмом нагрева плазмы являются джоулево тепловыделение (работой сил давления и вязкой диссипацией можно пренебречь), а перенос энергии в плазме происходит в результате теплопроводности и конвекции (естественная конвекция в расчет не принимается);

течение плазмы вязкое, дозвуковое, режим течения турбулентный;

внешние магнитные поля отсутствуют.

Так как в плазмотронах рассматриваемой схемы течение газа происходит преимущественно в осевом направлении, а радиальные градиенты температуры и скорости существенно больше аксиальных, для расчета тепловых и газодинамических характеристик плазмы будем использовать приближение пограничного слоя [7]. Полагая турбулентность гидродинамической (т. е. пренебрегая пульсациями электромагнитных величин) и считая пульсации давления малыми, можно показать, что система МГД уравнений в приближении турбулентного пограничного слоя для осредненных по времени значений температуры и скорости плазмы имеет вид [6, 8]



$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho \bar{v}) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial z} + \bar{v} \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \eta \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(p + \mu_0 \frac{H^2}{2} \right), \quad (2)$$

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial z} + \bar{v} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \chi \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \sigma E^2 - \psi, \quad (3)$$

где T — усредненная температура плазмы; $\bar{v} = (\rho v + \rho' v')/\rho$ (v, ρ — соответственно осредненная радиальная скорость и плотность плазмы, ρ' и v' — пульсации плотности и радиальной скорости); u — усредненная аксиальная скорость плазмы; p — давление; C_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении; σ — удельная электропроводность плазмы; ψ — объемная плотность мощности собственного излучения; $\bar{\eta}, \bar{\chi}$ — полные коэффициенты соответственно динамической вязкости и теплопроводности плазмы (сумма молекулярной и турбулентной вязкости и теплопроводности соответственно); E — осевая составляющая напряженности электрического поля; μ_0 — универсальная магнитная постоянная; H — азимутальная составляющая магнитного поля тока дуги

$$H = \frac{1}{r} E \int_0^r \sigma r dr. \quad (4)$$

В рамках используемого приближения пограничного слоя осевая составляющая напряженности электрического поля дуги практически постоянна по сечению канала [6] и определяется из условия сохранения полного тока:

$$I = 2\pi E \int_0^{R_\sigma(z)} \sigma r dr, \quad (5)$$

где $R_\sigma(z)$ — радиус токопроводящей области.

Учитывая, что за пределами токопроводящей области проводимость плазмы практически равна нулю, в качестве верхнего предела интегрирования в формуле (5) можно использовать радиус расчетной области, т. е. $R_\sigma(z) = R_c$ при $0 \leq z \leq Z_1$ и $R_\sigma(z) = R$ при $z > Z_1$ (см. рис. 1).

Распределение давления в пределах канала сопла определяется с учетом магнитной составляющей давления

$$p = p_{\text{ext}} - \int_z^{Z_1} \frac{dp_c}{dz} dz + \mu_0 E \int_r^{R_c} \sigma H dr, \quad (6)$$

где p_{ext} — давление во внешней среде. Градиент газостатического давления dp_c/dz в приближении пограничного слоя также постоянен по сечению

канала [7] и определяется из условия сохранения полного массового расхода плазмообразующего газа

$$\rho_0 G_1 = 2\pi \int_0^{R_c} \rho u r dr, \quad (7)$$

где ρ_0 — массовая плотность газа при нормальных условиях.

На открытом участке разряда ($z > Z_1$) давление определяется выражением

$$p = p_{\text{ext}} + \mu_0 E \int_r^R \sigma H dr. \quad (8)$$

Система уравнений (1)–(8) дополняется соотношениями

$$\begin{aligned} \rho &= \rho(T, p), \quad C_p = C_p(T, p), \\ \chi &= \chi(T, p), \quad \eta = \eta(T, p), \\ \sigma &= \sigma(T, p), \quad \psi = \psi(T, p), \end{aligned} \quad (9)$$

определяющими зависимости термодинамических характеристик, молекулярных коэффициентов переноса и оптических свойств плазмы от температуры и давления. Подробные таблицы указанных величин для используемых плазмообразующих газов приведены, например, в работах [6, 9].

Эта же система газодинамических уравнений может быть использована и для описания бесточкового (инерционного) участка течения плазмы за проволокой ($z > Z_2$) в приближении турбулентного пограничного слоя, полагая при этом $E = H = 0$.

Для замыкания системы уравнений (1)–(3) необходимо задать соотношения для определения турбулентных составляющих коэффициентов переноса. Коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности плазмы, используемые в приведенных выше уравнениях, имеют вид

$$\bar{\eta} = \eta + \eta_t, \quad \bar{\chi} = \chi + \chi_t, \quad (10)$$

где η, χ — коэффициенты молекулярной вязкости и теплопроводности; η_t, χ_t — коэффициенты турбулентной вязкости и теплопроводности.

Для описания турбулентности использовали двухпараметрическую k – ε модель [10], получившую широкое распространение в мировой практике. К ее отличительным особенностям можно отнести учет предыстории течения, а также общность модели для различных условий течения. В рамках данной модели коэффициенты турбулентной вязкости и теплопроводности определяются по следующим формулам:



$$\eta_t = \frac{C_\mu \rho \bar{k}^2}{\varepsilon}, \quad \chi_t = \eta_t \frac{C_p}{Pr_t}, \quad (11)$$

где \bar{k} , ε — соответственно кинетическая энергия и скорость диссипации турбулентности; C_μ — эмпирическая константа, равная 0,09; Pr_t — турбулентное число Прандтля, которое выбирается согласно рекомендациям [11] или принимается равным единице [6].

Первое соотношение (11) замыкается уравнениями переноса для кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации

$$\rho \left(u \frac{\partial \bar{k}}{\partial z} + \bar{v} \frac{\partial \bar{k}}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(\eta + \frac{\eta_t}{Pr_k} \right) \frac{\partial \bar{k}}{\partial r} \right] + S - \rho \varepsilon, \quad (12)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \bar{v} \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(\eta + \frac{\eta_t}{Pr_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right] + C_1 S \frac{\varepsilon}{\bar{k}} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{\bar{k}}, \quad (13)$$

где $S = \eta_t \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right)^2$ — источниковый член; C_1 , C_2 ,

Pr_ε , Pr_k — константы k - ε модели турбулентности, равные соответственно 1,44; 1,92; 1,3 и 1,0.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1)–(3), (12), (13) задавались следующие граничные и начальные (входные) условия. На оси симметрии системы ($r = 0$) полагаются справедливыми условия:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial r} = 0, \quad v = 0, \quad \frac{\partial \bar{k}}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = 0. \quad (14)$$

На стенке канала (при $r = R_c$ и $0 \leq z \leq Z_1$) ставится условие «прилипания» и задается температура охлаждаемой стенки T_w , т. е.

$$u = 0, \quad T = T_w. \quad (15)$$

Для задания величин \bar{k} и ε вблизи стенки канала необходимо использовать пристеночную функцию [10, 12], определив указанные величины следующим образом:

$$\bar{k} = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}}, \quad \varepsilon = \frac{u_*^3}{k_0 (R_c - r)}, \quad (16)$$

где $k_0 = 0,41$; u_* — решение трансцендентного уравнения (логарифмический закон стенки)

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k_0} \ln \left(\frac{\Lambda \rho u_* (R_c - r)}{\eta} \right); \quad (17)$$

$\Lambda = 9,0$ — параметр шероховатости стенки.

Для корректного учета вязкого подслоя при определении \bar{k} и ε в пристеночной области, т. е. при $y^+ = \rho (R_c - r) u_* / \eta < f^+$, где f^+ выбирается в диапазоне 20...100 [12], используются выражения (16), (17). Для описания внутренней области те-

чения ($y^+ \geq f^+$) используются уравнения (12), (13) полностью развитого турбулентного течения.

На внешней границе расчетной области (открытого участка) принимаются условия гладкого сопряжения с окружающей средой:

$$T = T_{\text{ext}}, \quad u = 0, \quad \bar{k} = 0, \quad \varepsilon = 0, \quad (18)$$

где T_{ext} — температура окружающей среды.

В качестве начальных условий во входном сечении плазмформирующего канала ($z = 0$) задаются распределения скорости плазмообразующего газа, величин \bar{k} и ε [10], а также плотности тока в прикатодной области [13, 14]

$$u(r, 0) = u_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R_c} \right)^n \right], \quad (19)$$

$$\bar{k}(r, 0) = i_t (u^2 + \bar{v}^2), \quad \varepsilon(r, 0) = 3 \frac{\bar{k}(r, 0)^{3/2}}{R_c}, \quad (20)$$

$$j(r, 0) = j_0 e^{-r/r_c}, \quad (21)$$

где $n = 15$; u_0 выбирается из условия сохранения массового расхода плазмообразующего газа через канал сопла плазмотрона (7); $i_t = 0,003$ — интенсивность турбулентности; j — плотность электрического тока; j_0 — константа, зависящая от силы тока (при $I = 200$ А $j_0 = 1,2 \cdot 10^8$ А/м² [14]); r_c — радиус катодной области дуги, определяемый из условия сохранения полного тока (5) и закона Ома

$$j = \sigma E. \quad (22)$$

Температура плазмообразующего газа в начальном сечении выбирается исходя из эмпирической зависимости плотности тока вблизи катода (21) с использованием зависимости $\sigma = \sigma(T, p)$ и соотношения (22). При этом напряженность электрического поля E при $z = 0$ принимается независимой от координаты r и соответствующей j_0 и $\sigma(T_c)$, где T_c — максимальная температура плазмы вблизи поверхности катода, аппроксимированная по экспериментальным данным [14] для диапазона $I = 100 \dots 300$ А многочленом

$$T_c(I) = -250 \cdot 10^{-4} I^2 + 32,5 I + 15300. \quad (23)$$

Граничные условия на выходе из канала для подачи обдувающего газа (при $z = Z_1$ и $R_1 \leq r < R_2$) задаются с учетом сделанных допущений о характере течения этого газа. При этом температуру газа примем равной температуре окружающей среды T_{ext} , а компоненты его скорости будем описывать модельными зависимостями

$$u = u_1 \left[1 - \left(\frac{2r}{R_1 + R_2} \right)^2 \right], \quad \bar{v} = utg \alpha, \quad (24)$$



где u_1 выбирается из условия сохранения полного расхода газа через рассматриваемый канал

$$\rho_0 G_2 = 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \rho u r dr. \quad (25)$$

Граничные условия для \bar{k} и ε на выходе из канала для подачи обдувающего газа выбираются по аналогичным (20) зависимостям в соответствии с условием (24).

Поставленную задачу решали численно методом конечных разностей [15, 16]. Использовали основную разностную схему для интегрирования систем уравнений типа уравнений пограничного слоя [17]. Дифференциальные уравнения второго порядка (2), (3), (12), (13) аппроксимировали по неявной двухслойной шеститочечной разностной схеме, а уравнение первого порядка (1) — по явной четырехточечной. Полученную алгебраическую систему разностных уравнений решали методом прогонки с применением итераций.

На основе разработанной вычислительной схемы было создано соответствующее программное обеспечение и проведен численный анализ характеристик слаботурбулентного течения аргоновой плазмы, генерируемой плазмотроном с проволокой-анодом при различных режимах его работы.

Тепловые и газодинамические характеристики такой плазмы рассчитывали как на дуговом участке течения — от катода плазмотрона до проволоки-анода, так и на инерционном, т. е. в бестоковой плазменной струе. Исследовали стационарный плазменно-дуговой поток, обдуваемый осесимметричным кольцевым потоком холодного газа, а также поток, истекающий в неподвижную среду (затопленная струя), при атмосферном давлении.

При проведении всех расчетов параметры плазмотрона и режимы его работы выбирали следующими: радиус и длина канала сопла соответственно 1,5 и 3 мм; проволока-анод расположена при $z = Z_2 = 9,3$ мм; кольцевой канал для подачи газа, обдувающего поток, имеет в выходном сечении ($z = Z_1 = 3$ мм) внутренний радиус 4,78 мм и внешний 7,22 мм и наклонен под углом $37,5^\circ$ к оси симметрии плазмотрона (см. рис. 1); температура холодных стенок каналов и окружающего газа 300 К; диапазон изменения тока дуги $I = 160 \dots 260$ А; расход плазмообразующего газа (аргона) $G_1 = 1 \dots 1,5$ м³/ч; расход обдувающего газа (аргона) $G_2 = 20$ (0) м³/ч. Длину внешней части расчетной области L считали равной 250 мм, радиус $R = 12$ мм.

Результаты компьютерного моделирования тепловых, газодинамических и электрических характеристик турбулентных плазменно-дуговых потоков при рассмотренных условиях представлены на рис. 2–5. В качестве базового расчетного

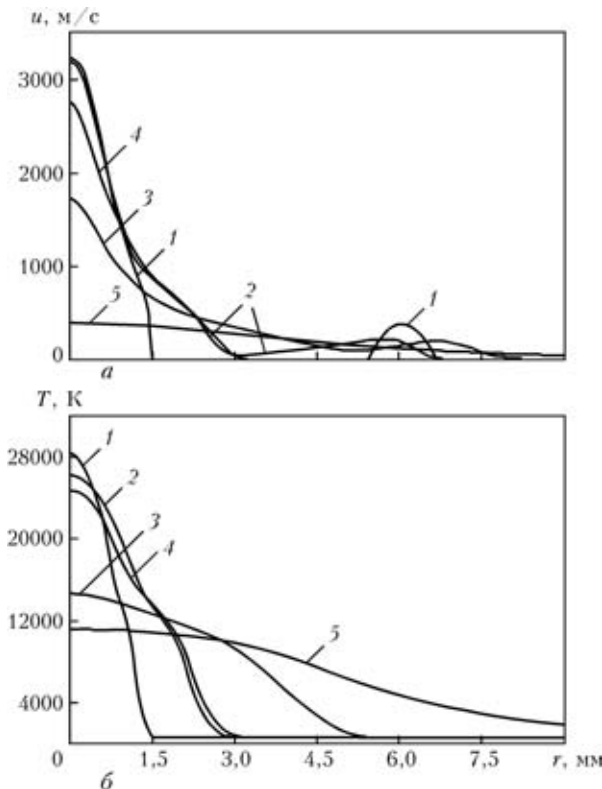


Рис. 2. Радиальные распределения скорости (а) и температуры (б) плазмы при $I = 200$ А, $G_1 = 1$ м³/ч, $G_2 = 20$ м³/ч (1–3), $G_2 = 0$ м³/ч (4, 5): 1 — область среза сопла плазмотрона ($z = 3$ мм); 2, 4 — область проволоки-анода ($z = 9,3$ мм); 3, 5 — то же при $z = 50$ мм

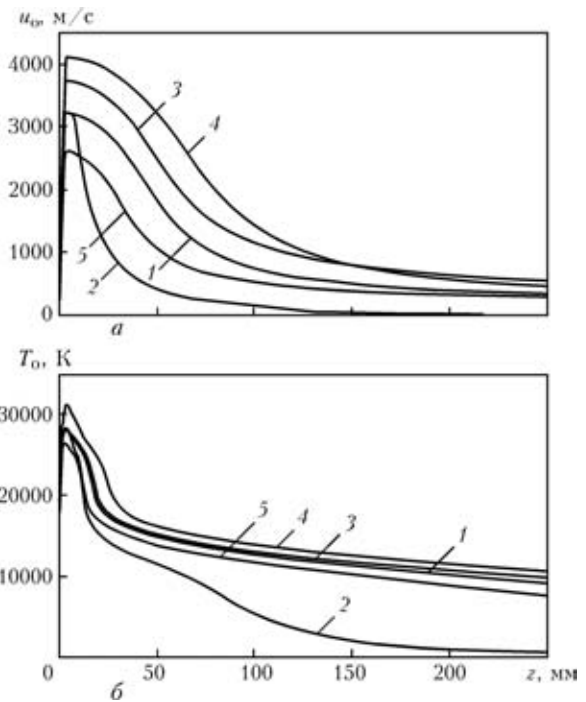


Рис. 3. Продольные изменения осевых значений скорости (а) и температуры (б) плазмы при различных режимах работы плазмотрона: 1 — $I = 200$ А, $G_1 = 1$ м³/ч, $G_2 = 20$ м³/ч; 2 — $I = 200$ А, $G_1 = 1$ м³/ч, $G_2 = 0$ м³/ч; 3 — $I = 200$ А, $G_1 = 1,5$ м³/ч, $G_2 = 20$ м³/ч; 4 — $I = 260$ А, $G_1 = 1$ м³/ч, $G_2 = 20$ м³/ч; 5 — $I = 160$ А, $G_1 = 1$ м³/ч, $G_2 = 20$ м³/ч

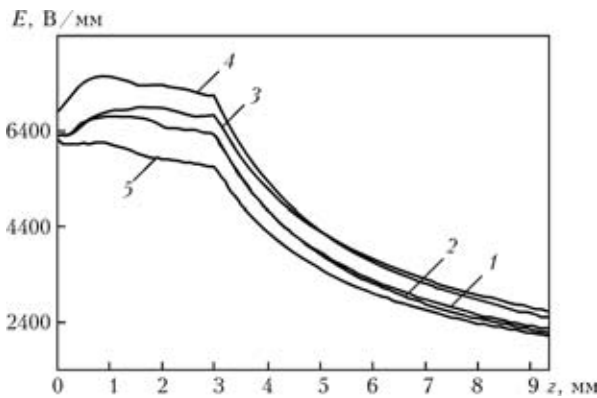


Рис. 4. Продольное изменение напряженности электрического поля при различных режимах работы плазматрона: 1–5 — то же, что и на рис. 3

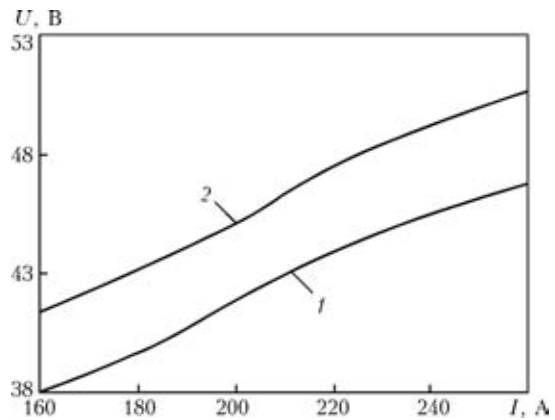


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика столба дуги при различных расходах плазмообразующего газа $G_1 = 1$ (1) и 1,5 (2) $\text{м}^3/\text{ч}$

варианта выбрали вариант, соответствующий току дуги $I = 200 \text{ А}$ и расходу плазмообразующего газа $G_1 = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$, при наличии обдува открытого участка течения потоком холодного газа. Результаты всех расчетов сравнивали с этим вариантом и оценивали влияние того или иного параметра режима работы плазматрона на пространственные распределения тепловых и газодинамических характеристик плазменной струи, а также на электрические характеристики дугового разряда.

Рассмотрим влияние обдувающего потока газа на пространственные характеристики плазменной струи. Результаты расчетов для обдуваемого потока и соответствующей затопленной струи представлены на рис. 2. Как видно, обдув плазменной струи кольцевым потоком холодного газа существенно влияет на ее тепловые и газодинамические характеристики. На начальном участке внешнего течения параметры дугового потока в обоих случаях остаются практически идентичными. В дальнейшем поток газа, обдувающего плазменную струю, препятствует ее расширению и на расстоянии порядка 50 мм от среза сопла плазматрона ширина ядра плазменного потока, не обдуваемого защитным газом, превышает ширину обдуваемой струи приблизительно в 2 раза (рис. 2, кривые 5 и 3).

Соответствующая динамика изменения скорости и температуры плазмы вдоль оси системы приведена на рис. 3, где кривые 1 и 2 соответствуют затопленной и обдуваемой струе при $I = 200 \text{ А}$ и $G_1 = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$. Как видно, существенное снижение скорости и температуры необдуваемой струи начинается с расстояния 35...40 мм от среза сопла плазматрона. Уже на расстоянии 150 мм от среза сопла одиночная струя практически полностью распадается вследствие ее неограниченного расширения, в то время как даже на расстоянии 250 мм от среза сопла обдуваемая струя имеет скорость примерно 400 м/с и температуру порядка 5500 К. Таким образом, плазменная струя, обдуваемая спутным потоком холодного газа, значительно

но дольше сохраняет импульс и энергию и практически не смешивается с обдувающим газом.

На рис. 3 также представлены аксиальные профили скорости и температуры обдуваемой плазменной струи при различных значениях тока дуги и расхода плазмообразующего газа. Из сравнения расчетных кривых видно, что при больших значениях тока дуги скорость и температура плазмы оказываются выше, что связано с более высоким уровнем выделения энергии в дуговой плазме и более интенсивным действием электромагнитных сил, ускоряющих плазму.

При увеличении расхода плазмообразующего газа скорость плазмы увеличивается приблизительно пропорционально G_1 и для расхода 1,5 $\text{м}^3/\text{ч}$ превышает скорость газа для базового расчетного варианта в среднем на 500 м/с на всей исследованной дистанции течения (рис. 3, кривая 3). Температура плазмы в случае большего расхода плазмообразующего газа возрастает незначительно — в пределах 3...15 % (в зависимости от расстояния, пройденного струей) и практически повторяет соответствующую зависимость при $G_1 = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В целом анализ результатов моделирования, представленных на рис. 3, позволяет выделить три участка течения, описанных ранее: течение дуговой плазмы внутри сопла плазматрона, внешний участок течения дуговой плазмы и участок инерционного движения бестоковой плазмы. Начальный участок, соответствующий течению плазмы внутри сопла, характеризуется значительными аксиальными градиентами тепловых и динамических параметров плазмы. На этом участке резко возрастает осевая скорость и сильно снижается температура на оси. После выхода дуги за границы сопла происходит постепенное сглаживание аксиальных градиентов указанных величин. Роль сил вязкого трения возрастает, происходит некоторое расширение дуги и ее слабое взаимодействие с потоком обдувающего газа. Однако электромагнитные силы на внешнем дуговом участке



продолжают оказывать существенный вклад в формирование потока. В третьей области происходит инерционное движение плазмы и наблюдается практически экспоненциальное уменьшение аксиальных градиентов газодинамических и тепловых характеристик плазменного потока.

Электрические характеристики дуги в рассмотренном плазматроне представлены на рис. 4, 5 и включают распределение по оси разряда напряженности электрического поля и вольт-амперную характеристику столба дуги. Повышение напряженности электрического поля в пределах канала сопла (рис. 4) является следствием того, что при выбранных значениях радиуса канала, тока дуги и расхода плазмообразующего газа напряженность поля вблизи катода оказывается меньше, чем в асимптотической области канала. Этому же способствует и постепенное снижение температуры плазмы, связанное с потерями энергии на излучение и отводом тепла в стенки канала, что приводит к снижению электропроводности и соответственно увеличению напряженности электрического поля, необходимого для поддержания заданного тока разряда. После выхода из канала плазменный поток несколько расширяется, что приводит к незначительному снижению напряженности поля.

В рассмотренном диапазоне токов расчетная вольт-амперная характеристика столба дуги (рис. 5) является возрастающей, причем темп возрастания напряжения с увеличением тока существенно зависит от расхода плазмообразующего газа.

Выводы

1. Предложена математическая модель газодинамических, тепловых и электрических процессов в дуговых плазматронах, которая может быть использована для качественной и количественной оценки основных характеристик турбулентного течения дуговой плазмы в плазматронах прямого и косвенного действия, в том числе при наличии спутного обдувающего газового потока. Проведено детальное численное моделирование характеристик течения дуговой плазмы в условиях плазменного распыления токоведущей проволоки.

The mathematical model has been developed, describing turbulent flow of the electric arc plasma and formation of the plasma jet under conditions of plasma-arc spraying. Detailed analysis of the effect of working parameters of a plasmatron using an anode wire and conditions of blowing of a low-turbulent plasma jet, generated by plasmatron, with a laminar gas flow on electric characteristics of the arc discharge, thermal and gas-dynamic properties of the plasma flow has been conducted on the basis of numerical modelling.

2. Обдув плазменной струи спутным потоком холодного газа препятствует ее расширению и существенно увеличивает ее протяженность. Так, на расстоянии порядка 50 мм от среза сопла плазматрона ширина ядра плазменного потока, не обдуваемого защитным газом, превышает ширину обдуваемой струи приблизительно в 2 раза. В результате обдуваемая плазменная струя значительно дольше сохраняет свой импульс и энергию и практически не смешивается с обдувающим газом.

1. Петров С. В., Карп И. Н. Плазменное газоздушное напыление. — Киев: Наук. думка, 1993. — 495 с.
2. Model TSR300H HVAF-ARC spray system. — <http://www.uniquecoat.com/index-ARC.html>.
3. Математическое моделирование электрической дуги / В. С. Энгельшт, Д. С. Асанов, В. Ц. Гурович и др. — Фрунзе: Илим, 1983. — 363 с.
4. Компьютерное моделирование процесса плазменного напыления / Ю. С. Борисов, И. В. Кривцун, А. Ф. Мужиченко и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 12. — С. 42–51.
5. Favalli R. C., Szente R. N. Physical and mathematical modeling of non transferred plasma torches // Brazilian J. of Physics. — 1998. — № 1. — P. 25–34.
6. Теория столба электрической дуги / Под ред. М. Ф. Жукова. — Новосибирск: Наука, 1990. — 376 с.
7. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.: Наука, 1973. — 847 с.
8. Computer-aided simulation and experimental study of dusted plasma jets emitting into limited space / Yu. S. Borisov, A. V. Chernyshov, I. V. Krivtsun, et al. // Proc. of the National thermal spray conf. — Boston, 1994. — P. 361–366.
9. Boulos M. I., Fauchais P., Pfender E. Thermal plasmas: Fundamentals and applications. — New York, London: Plenum press, 1994. — Vol. 1. — 467 p.
10. Launder B. E., Spalding D. B. The numerical computation of turbulent flows // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. — 1990. — № 8. — P. 269–289.
11. Иевлев В. М. Турбулентное движение высокотемпературных сплошных сред. — М.: Наука, 1975. — 254 с.
12. Wilcox D. C. Turbulence modeling for CFD. — La Canada, California: DCW Industries Inc., 1994. — 460 p.
13. Колесниченко А. Ф. Технологические МГД установки и процессы. — Киев: Наук. думка, 1980. — 192 с.
14. Приэлектродные процессы в дуговых разрядах / М. Ф. Жуков, Н. П. Козлов, А. В. Пустогаров и др. — Новосибирск: Наука, 1982. — 157 с.
15. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем. — М.: Наука, 1971. — 552 с.
16. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. — М.: Мир, 1990. — Т. 1. — 384 с.
17. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование тепломассопереноса. — М.: Наука, 1984. — 286 с.

Поступила в редакцию 15.05.2007



КИНЕТИКА РОСТА НЕСКВОЗНЫХ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В СТАЛЯХ 03X20H16AG6 И 12X18H10T ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТА АСИММЕТРИИ ЦИКЛА НАПРЯЖЕНИЙ

В. В. КНЫШ, канд. физ.-мат. наук, **С. А. СОЛОВЕЙ**, **А. З. КУЗЬМЕНКО**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

На основе экспериментальных данных построены кинетические диаграммы усталостного разрушения сталей 03X20H16AG6 и 12X18H10T при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений. Предложено трехпараметрическое кинетическое уравнение, описывающее закономерности развития несквозных усталостных трещин в исследуемых сталях, определены характеристики трещиностойкости. Расчетные значения долговечностей, вычисленные на основе установленного уравнения, сопоставлены с экспериментальными.

Ключевые слова: высоколегированные стали, циклическая трещиностойкость, долговечность, коэффициент интенсивности напряжений, коэффициент асимметрии цикла напряжений, полуэллиптическая трещина

Усталостные трещины в сварных соединениях, как правило, зарождаются в зонах перехода шва к основному металлу в местах действия максимальных остаточных напряжений растяжения. Эти трещины, развиваясь на поверхности металла и в глубь его, формируются в своей плоскости в виде, близком к полуэллиптическому [1, 2]. Известно, что вследствие взаимодействия остаточных напряжений и напряжений цикла переменного нагружения в зонах концентраторов сварных соединений образуется новый цикл напряжений того же размаха, что и исходный, но другой асимметрии, который и определяет кинетику усталостных трещин [3]. В этой связи закономерности развития усталостных трещин в сварных соединениях удобно описывать кинетическими уравнениями, которые в явном виде содержат коэффициент асимметрии цикла напряжений.

В настоящее время существует значительное количество работ, посвященных исследованию влияния асимметрии цикла напряжения на скорость развития сквозных трещин в различных конструкционных материалах [4–6]. Что касается установления таких зависимостей для описания кинетики несквозных усталостных трещин, то требуется специальное самостоятельное экспериментальное обоснование в связи с ограниченным количеством данных в литературе. При этом в качестве базовых зависимостей, отражающих степень трещиностойкости, должны оставаться экспериментально установленные кинетические диаграммы усталостного разрушения (КДУР) основ-

ного металла, полученные при фиксированных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений.

Для установления КДУР в процессе усталостных испытаний на циклическую трещиностойкость образцов с несквозными трещинами необходимо определять размеры этих трещин по всему фронту их распространения. С этой целью в ИЭС им. Е. О. Патона разработана специальная методика определения параметров несквозных трещин с помощью индикаторных следов на их поверхности, которую успешно применяли при исследовании циклической трещиностойкости тавровых сварных соединений стали 12X18H10T (рис. 1). Эта методика включает элементы фрактографического и капиллярного методов контроля. Путем сочетания обоих этих методов возможно проследить за перемещением фронта трещины после полного разрушения сварного образца.

В образце с несквозной трещиной через заданные промежутки времени (количество циклов нагружения) образовавшуюся открытую полость

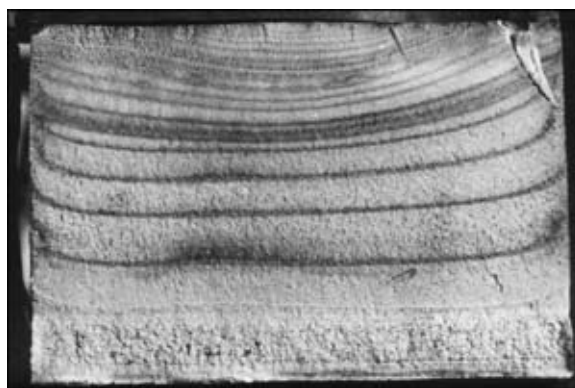


Рис. 1. Вид усталостного излома образца таврового сварного соединения с индикаторными следами кинетики роста поверхностной полуэллиптической трещины



трещины заполняли индикаторной жидкостью, состоящей из ксилола (60 %), тонера электрографического черного (30 %) и ацетона (10 %). Поскольку время контакта индикаторной жидкости с поверхностью составляло 2...5 мин, высыхания индикаторной жидкости не происходило. В дальнейшем избыток этой жидкости удаляли с внутренних поверхностей трещины продувкой сжатым воздухом ее полости в течение 1...2 мин. Однако небольшое количество индикаторной жидкости по фронту распространения трещины удерживалось вследствие действия сил поверхностного натяжения. Затем с помощью кисти вводили керосин в полость трещины, где остатки индикаторной жидкости по фронту распространения трещины коагулировали с керосином. Вследствие циклического смыкания берегов трещины при ее закрытии и высокой вязкости частиц коагулированной индикаторной жидкости твердые ее компоненты проникали в шероховатости излома по всему фронту развития трещины. Остатки керосина удаляли сжатым воздухом, продувая полости трещины в течение 1...2 мин. Высохшие коагулированные частицы индикаторной жидкости при последующих вводах индикаторной жидкости и керосина становились нерастворимыми, образуя при этом характерный (индикаторный) след в виде бороздки. Количество циклов нагружения образца, относящихся к завершению данного этапа, фиксировалось. Длину трещины на поверхности образца измеряли с погрешностью $\pm 0,1$ мм на оптическом микроскопе. По истечению заданного промежутка времени (количество циклов нагружения образца) указанные операции последовательно повторяли, при этом на поверхности тре-

щины регистрировались индикаторные следы. По излому сварного соединения определяли расстояния между соседними индикаторными следами и устанавливали закономерности развития фронта усталостной трещины в зависимости от количества циклов нагружения.

Предложенная методика позволяет проводить экспериментальные исследования циклической трещиностойкости материалов, не нарушая режимы усталостных испытаний, и может применяться для различных конструкционных материалов. Эта методика использована в данной работе для экспериментального установления КДУР коррозионностойких сталей в максимально углубленной точке фронта поверхностных трещин.

Экспериментальные исследования закономерностей развития поверхностных полуэллиптических усталостных трещин в сталях 03X20H16AG6 ($\sigma_T = 335$ МПа, $\sigma_B = 685$ МПа) и 12X18H10T ($\sigma_T = 259$ МПа, $\sigma_B = 685$ МПа) при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений проводили на образцах размером 600×120×35 мм. Поверхность образцов (в их средней части) шлифовали и фрезеровали концентратор в виде канавки с максимальной глубиной 2,5 мм и шириной 9 мм. Исходную трещину на поверхностях образцов выращивали до длины $2c = 12$ мм при заданном значении коэффициента асимметрии цикла напряжения с амплитудой, не превышающей амплитуду рабочего напряжения, при котором в дальнейшем проводили исследования роста несквозной трещины. Образцы из стали 03X20H16AG6 испытывали при одноосном переменном растяжении-сжатии с коэффициентом асимметрии цикла напряжений $R_\sigma = -1$ ($\sigma_{max} = 147$ МПа), 0 ($\sigma_{max} = 196$ МПа) и 0,5 ($\sigma_{max} = 249$ МПа), а образцы из стали 12X18H10T — при $R_\sigma = -1$ ($\sigma_{max} = 122$ МПа) и 0 ($\sigma_{max} = 192$ МПа). Выбор циклических нагрузок при заданной асимметрии осуществляли таким образом, чтобы диапазоны изменения скорости роста усталостных трещин соответствовали линейному участку КДУР, а несквозные трещины развивались так же, как и поверхностные полуэллиптические трещины с устойчивой формой [2].

Результаты измерений полудлины c трещины на поверхностях образцов и максимальной ее глубины, установленной по маркерным линиям, при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений показаны на рис. 2. Из рисунка видно, что изменение асимметрии цикла напряжений в несквозных трещинах приводит к изменению значения коэффициента сжатия (отношения глубины l трещины к ее полудлине c), но по мере роста длины трещины оно остается неизменным. У стали 03X20H16AG6 коэффициент сжатия равен примерно 0,9 при положительных

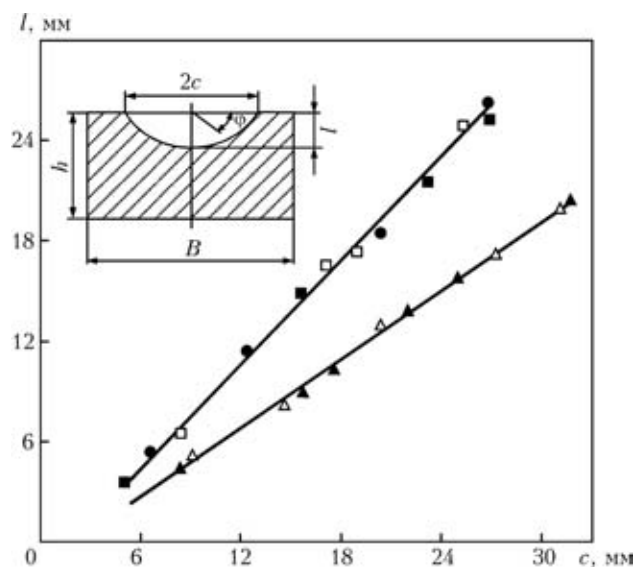


Рис. 2. Зависимость глубины l полуэллиптической трещины от ее полудлины c , полученная по маркерным линиям: a — образцы из стали 03X20H16AG6 при $R_\sigma = -1$ (\blacktriangle), 0 (\blacksquare), 0,5 (\bullet); b — образцы из стали 12X18H10T при $R_\sigma = -1$ (\triangle), 0 (\square); h, B — соответственно высота и ширина образца

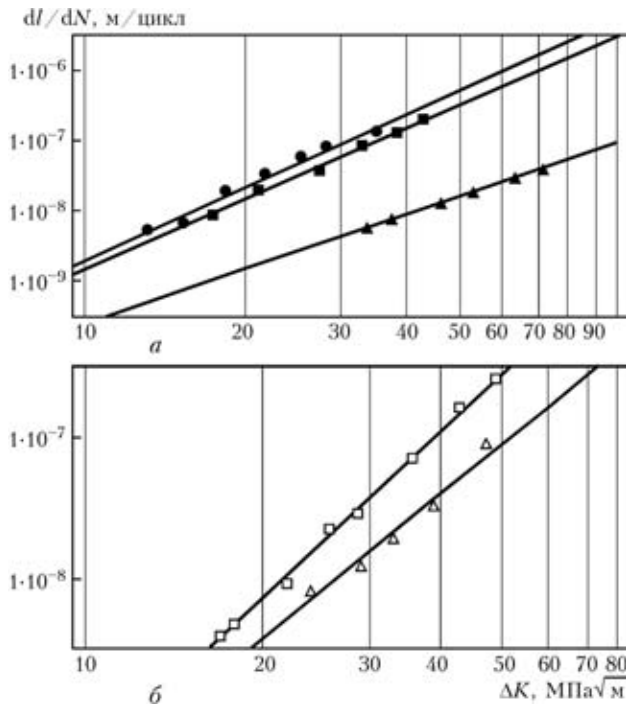


Рис. 3. Кинетические диаграммы усталостного разрушения и линии регрессии экспериментальных точек сталей 03X20H16AG6 (а) и 12X18H10T (б) в максимально углубленной точке фронта полуэллиптической трещины: а — ▲ — $R_\sigma = -1$ ($\sigma_{max} = 147$ МПа), $\lg(dI/dN) = 2,414002 \cdot \lg(\Delta K) + (-11,6969)$; ■ — $R_\sigma = 0$ ($\sigma_{max} = 196$ МПа), $\lg(dI/dN) = 3,159111 \cdot \lg(\Delta K) + (-11,73748)$; ● — $R_\sigma = 0,5$ ($\sigma_{max} = 249$ МПа), $\lg(dI/dN) = 3,341055 \cdot \lg(\Delta K) + (-11,80641)$; б — Δ — $R_\sigma = -1$ ($\sigma_{max} = 122$ МПа), $\lg(dI/dN) = 3,421973 \cdot \lg(\Delta K) + (-12,83322)$; □ — $R_\sigma = 0$ ($\sigma_{max} = 192$ МПа), $\lg(dI/dN) = 3,997881 \cdot \lg(\Delta K) + (-13,29316)$

значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений ($R_\sigma = 0$ и $0,5$), но уменьшается до $0,6$ в области знакопеременных амплитуд напряжений ($R_\sigma = -1$); то же происходит и у стали 12X18H10T — $l/c = 0,9$ и $0,6$ соответственно при $R_\sigma = 0$ и -1 . Такое изменение коэффициента сжатия может быть объяснено следующим. Влияние асимметрии цикла напряжений на эволюцию контура несквозной трещины заключается в том, что сжимающая часть цикла нагружения способствует более интенсивному относительному раскрытию вершины трещины, находящейся в плосконапряженном состоянии (в частности, по оси c), чем в плоскодеформированном (в частности, по оси l), при этом изменяется относительная скорость роста трещины и соответственно коэффициент сжатия [2].

Для построения КДУР при развитии полуэллиптических усталостных трещин необходимо вычислять значения коэффициента интенсивности напряжений (КИН), отвечающего заданным условиям нагружения. Из литературы известны подходы к определению таких КИН при различных условиях приложения нагрузки и геометрии образцов [7–11]. Размах КИН для призматических

образцов в условиях одноосного переменного растяжения-сжатия в максимально углубленной точке ($\varphi = \pi/2$) фронта развития полуэллиптической усталостной трещины вычисляли по формуле [7]

$$\Delta K = \frac{\Delta\sigma\sqrt{\pi l}}{\Phi} [M_1 + M_2(l/h)^2 + M_3(l/h)^4] g f_\varphi f_B \quad (1)$$

где

$$M_1 = 1,13 - 0,09(l/c); \quad M_2 = -0,54 + 0,89(0,2 + l/c)^{-1};$$

$$M_3 = 0,5 - (0,65 + l/c)^{-1} + 14(1 - l/c)^{24};$$

$$g = 1 + [0,1 + 0,35(l/h)^2] (1 - \sin \varphi)^2;$$

$$f_\varphi = [(l/c)^2 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi]^{1/4};$$

$$f_B = [\sec((\pi c)/B \sqrt{l/h})]^{1/2};$$

$\Delta\sigma$ — размах номинальных напряжений в брутто-сечении циклически нагружаемого образца, которое совпадает с плоскостью тещины; Φ — эллиптический интеграл второго рода, при вычислении которого обычно используют приближенные его выражения, например, в виде

$$\Phi = \left[1 + 1,464 \left(\frac{l}{c} \right)^{1,65} \right]^{1/2}.$$

В уравнении (1) учтено влияние формы трещины тыльной, фронтальной и боковых поверхностей образца на значение КИН.

Текущим значениям скорости распространения трещины на i -м шаге их вычисления $v_{li} = (\Delta l_i) / (\Delta N_i) = (l_i - l_{i-1}) / (N_i - N_{i-1})$ ставились в соответствие значения размахов КИН, полученные по (1) при $l = l_i - \Delta l_i / 2$.

Зависимости скорости роста усталостных трещин в образцах из сталей 03X20H16AG6 и 12X18H10T от размаха КИН в максимально углубленной точке фронта трещины ($\varphi = \pi/2$) при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений приведены в виде соответствующих КДУР на рис. 3. В подрисунковой подписи приведены уравнения линий регрессии экспериментальных точек, отвечающих указанным значениям R_σ .

Из КДУР следует, что с увеличением фиксированных значений R_σ возрастает угол наклона линии регрессии экспериментальных точек. Такой характер изменения КДУР предлагается описывать уравнением с тремя константами:

$$\frac{dl}{dN} = C_{-1} (\Delta K)^{m_{-1} + \lambda} \sqrt[3]{1 + R_\sigma}, \quad (2)$$

где C_{-1} и m_{-1} — характеристики трещиностой-

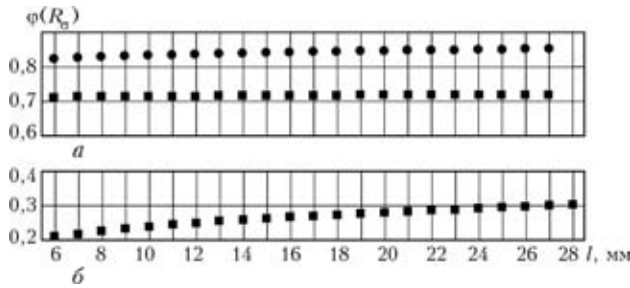


Рис. 4. Зависимость показателя степени $\varphi(R_{\sigma}) = \lambda \sqrt[3]{1 + R_{\sigma}}$ уравнения (2) от максимальной глубины поверхностной трещины в сталях 03X20N16AG6 (а) и 12X18H10T (б) при $R_{\sigma} = 0$ (■) и 0,5 (●)

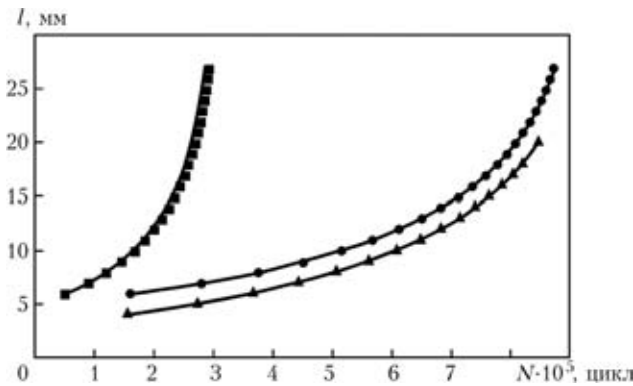


Рис. 5. Зависимость максимальной глубины поверхностной трещины от количества циклов перемен напряжений в стали 03X20N16AG6: ▲, ■, ● — экспериментальные данные соответственно для $R_{\sigma} = -1$; 0 и +0,5; кривые — расчетные

кости материала при $R_{\sigma} = -1$; λ — постоянная величина, характеризующая чувствительность материала к асимметрии цикла напряжений.

Показатель степени $\varphi(R_{\sigma}) = \lambda \sqrt[3]{1 + R_{\sigma}}$ может быть определен через параметры трещиностойкости $C_{R_{\sigma}}$ и $m_{R_{\sigma}}$ степенной зависимости Пэриса $dl/dN = C_{R_{\sigma}} (\Delta K)^{m_{R_{\sigma}}}$, установленные из экспериментальных КДУР, отвечающих заданному значению коэффициента R_{σ} . Так, для значений $R_{\sigma} = 0$ и 0,5 соответствующие показатели степени $\varphi(0)$ и $\varphi(0,5)$ определяются соотношениями:

$$\varphi(0) = \frac{\lg [C_0(\Delta K)]^{m_0} - \lg [C_{-1}(\Delta K)]^{m_{-1}}}{\lg \Delta K},$$

$$\varphi(0,5) = \frac{\lg [C_{0,5}(\Delta K)]^{m_{0,5}} - \lg [C_{-1}(\Delta K)]^{m_{-1}}}{\lg \Delta K}, \quad (3)$$

значения которых по мере увеличения фронта развития усталостной полуэллиптической трещины изменяются в узких пределах (рис. 4) ($\varphi_{cp}(0) = 0,72$, $\varphi_{cp}(0,5) = 0,84$ для стали 03X20N16AG6 и $\varphi_{cp}(0) = 0,27$ для стали 12X18H10T). При известных значениях $\varphi_{cp}(R_{\sigma_i})$ постоянная λ находится методом наименьших квадратов из уравнения

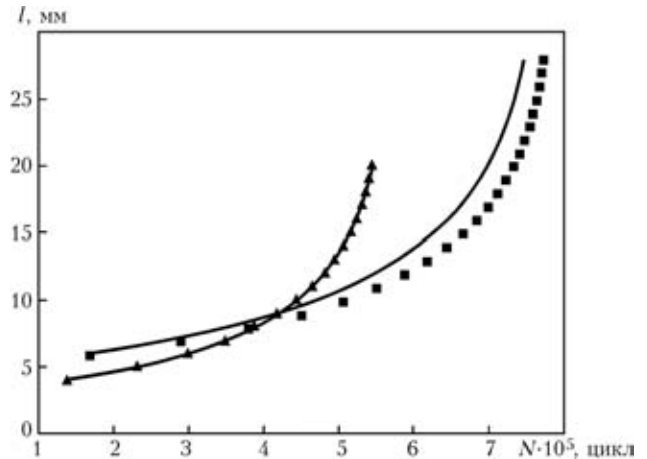


Рис. 6. Зависимость максимальной глубины поверхностной трещины от количества циклов перемен напряжений в стали 12X18H10T: ▲, ■ — экспериментальные данные, полученные соответственно для $R_{\sigma} = -1$ и 0; кривые — расчетные

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{cp}(R_{\sigma_i}) \sqrt[3]{1 + R_{\sigma_i}}}{\sum_{i=1}^n (\sqrt[3]{1 + R_{\sigma_i}})^2}. \quad (4)$$

На основе полученных экспериментальных данных для исследуемых сталей установлены следующие значения постоянных соотношения (2): $C_{-1} = 0,2 \cdot 10^{-11}$, $m_{-1} = 2,41$, $\lambda = 0,73$ (сталь 03X20N16AG6); $C_{-1} = 0,15 \cdot 10^{-12}$, $m_{-1} = 3,42$, $\lambda = 0,27$ (сталь 12X18H10T).

Вычисленные значения долговечностей интегрированием уравнения (2) показали, что для установленных характеристик трещиностойкости максимальное отклонение расчетных значений долговечностей от экспериментальных при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений для сталей 03X20N16AG6 и 12X18H10T не превышает 10 % (рис. 5 и 6). Таким образом, кинетическое уравнение (2), содержащее три материальные константы, может применяться в инженерной практике для описания кинетики усталостного разрушения исследованных сталей при развитии несквозных трещин в диапазоне изменения коэффициента асимметрии цикла напряжений $-1, 0 \leq R_{\sigma} \leq 0,5$.

Выводы

1. Коэффициент сжатия несквозных трещин не зависит от прочностных характеристик коррозионностойких сталей 03X20N16AG6 и 12X18H10T, а определяется значением коэффициента асимметрии цикла напряжений R_{σ} .

2. Экспериментально установлены диаграммы усталостного разрушения сталей 03X20N16AG6 и 12X18H10T для максимально углубленной точки



фронта полуэллиптической трещины при различных значениях R_{σ} .

3. Обосновано трехпараметрическое кинетическое уравнение, описывающее закономерности развития полуэллиптических усталостных трещин в сталях 03X20N16AG6 и 12X18N10T и учитывающее в явном виде значение коэффициента асимметрии напряжений R_{σ} . Для исследованных сталей установлены значения параметров (характеристик трещиностойкости) предложенного уравнения.

1. *Панасюк В. В., Сушинский А. И., Кацов К. Б.* Разрушение элементов конструкций с несквозными трещинами. — Киев: Наук. думка, 1991. — 172 с.
2. *Красовский А. Я., Орыняк И. В.* Оценка остаточного ресурса сварных швов трубопроводов первого контура АЭС, поврежденных межкристаллитной коррозией // Автомат. сварка. — 2000. — № 9/10. — С. 57–65.
3. *Труфяков В. И.* Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. — Киев: Наук. думка, 1990. — 256 с.
4. *Зависимость скорости развития усталостных трещин от асимметрии цикла / В. И. Труфяков, В. В. Кныш, П. П. Михеев, А. З. Кузьменко // Пробл. прочности. — 1987. — № 3. — С. 5–7.*
5. *Влияние асимметрии цикла нагружения и прочностных*

характеристик на циклическую трещиностойкость конструкционных сплавов с учетом явления закрытия усталостной трещины / В. Т. Трошенко, В. В. Покровский, В. Ю. Подколызин, П. В. Ясний // Там же. — 1991. — № 10. — С. 17–25.

6. *Пиняк И. С.* Аналитическое описание скорости роста усталостной трещины в металлах при различных асимметриях цикла нагружения // Там же. — 2001. — № 5. — С. 111–119.
7. *Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений / Под ред. Ю. Мураками: В 2 т. — М.: Мир, 1990. — Т. 2. — 1116 с.*
8. *Закономерности развития поверхностных трещин в низколегированной стали при асимметричном циклическом изгибе: Сообщ. 1 / В. И. Летунов, И. В. Крамаренко, Б. С. Шульгинов, В. А. Вайншток // Пробл. прочности. — 1985. — № 11. — С. 17–20.*
9. *Овчинников А. В.* Приближенная формула определения коэффициентов интенсивности напряжений для тел с поверхностными трещинами // Там же. — 1986. — № 2. — С. 44–47.
10. *Копсов И. Э.* Расчет коэффициентов интенсивности напряжений для полуэллиптической поверхностной трещины в неоднородном поле напряжений // Там же. — 1990. — № 7. — С. 38–41.
11. *Махненко В. И., Махненко О. В.* Развитие расчетных методов оценки допустимости выявленных дефектов в сварных соединениях ответственных конструкций // Автомат. сварка. — 2000. — № 9/10. — С. 83–91.

Based on experimental data kinetic diagrams of fatigue fracture of steels 03Kh20N16AG6 and 12Kh18N10T at different values of the coefficient of stress cycle asymmetry are plotted. A three-parameter kinetic equation is proposed describing the regularities of development of non-through-thickness fatigue cracks in the studied steels, and its parameters are determined. The fatigue life values calculated on the basis of the derived equation are compared with the experimental data.

Поступила в редакцию 13.04.2007

Вышел в свет очередной (№ 19) выпуск журнала фирмы «Fronius» Weld+Vision на русском языке

От редактора 3-6

Настойчивые попытки улучшения мира

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы 7-11

От изобретательства к реальным инновациям

Что нового на рынке «Fronius»

Кратко и по существу 12-13

Новости от «Fronius»

Практические примеры 14-17

Дуговая сварка в защитных газах — большая экономия для оператора общественного транспорта Берлина

Наплавка на фирме «Uhlig GmbH» с использованием цифровой системы TimeTwin

Компания 18-21

Торжественное открытие предприятия в Саттледте: трехдневное празднество

Школа энергии будущего

Информация для путешественников 22-23

Торонто — город этнического разнообразия



По вопросам заказа просьба обращаться в редакцию журнала «Автоматическая сварка»
Тел./факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23, 528-04-86; E-mail: journal@paton.kiev.ua



ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАРГАНЦА МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ШВОВ

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

Изучено влияние кислородного потенциала и легирующей способности сварочных флюсов на распределение марганца в металле швов между неметаллическими включениями MnO и твердым раствором Mn_{т.р.}. Соотношение (MnO)/[Mn_{т.р.}] может быть использовано для дифференцированной оценки эффективности легирования сварных швов марганцем с учетом различного характера его воздействия на упрочнение твердого раствора и состав неметаллических включений, а также на структуру и механические свойства металла швов.

Ключевые слова: дуговая сварка под флюсом, низколегированная сталь, легирование металла шва, макроструктура, распределение марганца, механические свойства

Стали при изготовлении сварных сооружений и аппаратов остаются самым распространенным видом конструкционных материалов. Такая ситуация сохранится еще на ближайшие 20–30 лет. В последние годы наиболее интенсивное развитие получили низколегированные стали повышенной и высокой прочности. Большой объем исследований, выполненных в металлургии, а также создание новых технологий изготовления сталей этого класса позволили существенно улучшить их прочностные свойства и показатели вязкости и пластичности. Добиться такого сочетания свойств удалось благодаря снижению содержания углерода в металле и рафинированию его по кислороду, сере и фосфору.

Уменьшение содержания углерода в низколегированных сталях сопровождается некоторым снижением их прочностных свойств, которое, как правило, компенсируется повышением содержания других легирующих элементов. Наиболее часто для этих целей используют марганец. Имеется большое количество публикаций о влиянии данного элемента на структуру и прочность низколегированных сталей [1–3]. Результаты последних исследований [4] выявили, что повышенное содержание марганца в металле швов с ферритно-перлитной структурой может привести к увеличению содержания перлитной составляющей, а в некоторых случаях способствовать его охрупчиванию. В работе [5] показано, что в зависимости от распределения легирующих элементов в металле их влияние на условия формирования структуры и свойства швов может быть различным. Исходя из результатов этих исследований видно, что для адекватной оценки влияния марганца на

структуры и свойства металла швов необходимо дифференцировать его содержание в твердом растворе и неметаллических включениях. Полученные данные могут помочь определить оптимальный диапазон содержания этого легирующего элемента в металле сварных швов низколегированных сталей.

Для проведения исследований выбрали образцы металла швов, полученные при сварке под флюсами, которые отличались индексом основности *BI* и содержанием MnO (табл. 1), в сочетании с проволоками Св-08А и Св-08ГА. Сварку стыковых соединений выполняли на режимах и по методике стандарта ISO 14171 (получение наплавленного металла) [6].

Из наплавленного металла отбирали образцы для химического анализа металла и металлографических исследований. Химический состав определяли методом спектрального анализа на установке «Vaird», оборудованной компьютером IBM PC для обработки результатов анализа. Для каждого образца проводили от трех до пяти измерений, затем результаты усредняли. В ходе металлографических исследований определяли долю отдельных составляющих микроструктуры металла, содержание легирующих элементов в твердом растворе и элементный состав неметаллических включений. Микроструктуру исследовали методами оптической и электронной металлографии с использованием светового микроскопа «Неофот-32» и растрового электронного микроскопа JSM-840 фирмы «Jeol», оборудованного платой захвата изображений MicroCapture с последующей регистрацией изображения на экране компьютера. Содержание микроструктурных составляющих определяли в соответствии с методикой МИС [7], а легирующих элементов в твердом растворе, состав неметаллических включений — микрорентгеноспектральным методом с помощью энергодисперсионного спектрометра «Link 860/500» фирмы



«Link System» и волнодисперсионного спектрометра «Ortec» фирмы «Ortec».

В табл. 2 приведен химический состав металла исследуемых швов, а в табл. 3, 4 — соответственно состав структурных составляющих металла шва и его механические свойства. Из представленных данных видно, что содержание марганца в металле исследуемых швов изменялось примерно в 6 раз (от 0,30 до 1,84 мас. %). При этом содержание углерода и кремния в металле швов № 1–8 изменялось в узких пределах (соответственно 0,032...0,062 и 0,130...0,279 мас. %). Металл швов № 9–11 содержал повышенную массовую долю кремния (0,421...0,630 %). Для выяснения характера влияния марганца на условия формирования структуры и механические свойства металла швов его легировали кремнием. Содержание серы и фосфора в металле всех швов изменялось соответственно в пределах 0,007...0,027 и 0,004...0,027 мас. %.

Микроструктура металла исследуемых швов приведена на рис. 1. Оценку стойкости металла швов против разрушения проводили с помощью показателя истинного сопротивления разрыву S_k , рассчитанному в соответствии с ГОСТ 1497 по формуле

$$S_k = P_k / F_k$$

где P_k — нагрузка в момент разрыва образца; F_k — площадь минимального поперечного сечения образца после разрыва.

На рис. 2 видно, что если между уровнем легирования металла швов марганцем и его прочностными свойствами существует определенная зависимость, то для показателя стойкости против разрушения образцов металла швов такую зависимость установить невозможно.

Легирование металла швов углеродистых и низколегированных сталей может оказывать заметное влияние на содержание в них ПФ [1–3]. Результаты исследования структуры металла швов, приведенные на рис. 3, свидетельствуют об отсутствии подобной зависимости в исследуемых образцах. На наш взгляд, это может быть объяснено тем, что марганец оказывает неоднозначное влияние на металл сварных швов. Как было показано в работе [5], в зависимости от условий взаимодействия марганец, переходящий в металл сварочной ванны из шлака, может концентрироваться

на металл сварных швов. Как было показано в работе [5], в зависимости от условий взаимодействия марганец, переходящий в металл сварочной ванны из шлака, может концентрироваться

Таблица 1. Химический состав (мас. %) и основность B_I сварочных флюсов, использованных в исследованиях

Обозначение флюса	B_I	Na ₂ O	CaO	MgO	CaF ₂	MnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Другие элементы
А	0,60	2,7	3,1	2,7	5,8	30,2	3,8	0,9	46,8	4,0
Б	0,74	3,1	5,6	3,8	6,4	30,9	2,1	0,7	45,3	2,1
В	0,83	2,0	4,1	9,8	19,5	—	33,7	0,1	25,8	5,0
Г	2,09	—	17,0	—	40,0	10,0	15,9	0,2	15,5	4,0
Д	2,22	2,3	4,5	29,4	19,0	—	33,2	—	8,0	4,0
Е	2,12	2,0	4,1	20,0	19,1	11,0	30,6	—	8,6	5,0

Таблица 2. Химический состав (мас. %) металла швов

№ образца	Обозначение флюса	Сварочная проволока	C	Si	Mn	S	P
1	Г	Св-08А	0,041	0,156	0,30	0,015	0,015
2	Д		0,062	0,132	0,37	0,015	0,015
3	Г	Св-8ГА	0,051	0,226	0,63	0,013	0,004
4	А	Св-08А	0,034	0,209	0,77	0,025	0,007
5	Д	Св-8ГА	0,057	0,130	0,85	0,007	0,006
6	А		0,032	0,279	0,99	0,027	0,006
7	Б	Св-08А	0,040	0,251	1,00	0,028	0,028
8	Е	Св-8ГА	0,045	0,250	1,13	0,013	0,007
9	Б		0,036	0,421	1,41	0,022	0,027
10	В	Св-08А	0,045	0,486	1,45	0,018	0,021
11	В	Св-8ГА	0,041	0,630	1,84	0,018	0,026

Таблица 3. Содержание (об. %) структурных составляющих в металле швов

№ образца	ПФ	П	ИФ	ФУВ	ФНУВ	Б	МАК	$V_{н.в}$
1	77,0	23,0	0	0	0	0	0	0,44
2	84,0	11,3	0	0	0	0	4,7	0,40
3	51,0	5,0	0	22	25	0	1,3	0,37
4	90,0	10,0	0	0	0	0	0	2,20
5	21,0	11,0	5	21	30	0	1,2	0,45
6	90,0	10,0	0	0	0	0	0	2,50
7	80,9	19,1	0	0	0	0	0	0,59
8	25,0	9,0	7	41	20	13	2,5	0,39
9	50,0	6,0	11	14	11	0	1,5	1,26
10	87,0	12,9	0	0	0	0	0	0,74
11	23,0	8,0	60	15	10	0	2,5	0,44

Примечание. ПФ — полигональный феррит; П — перлит; ИФ — игольчатый феррит; ФУВ — феррит с упорядоченной второй фазой; ФНУВ — феррит с неупорядоченной второй фазой; Б — бейнит; МАК — МАК-фаза; $V_{н.в}$ — содержание неметаллических включений.

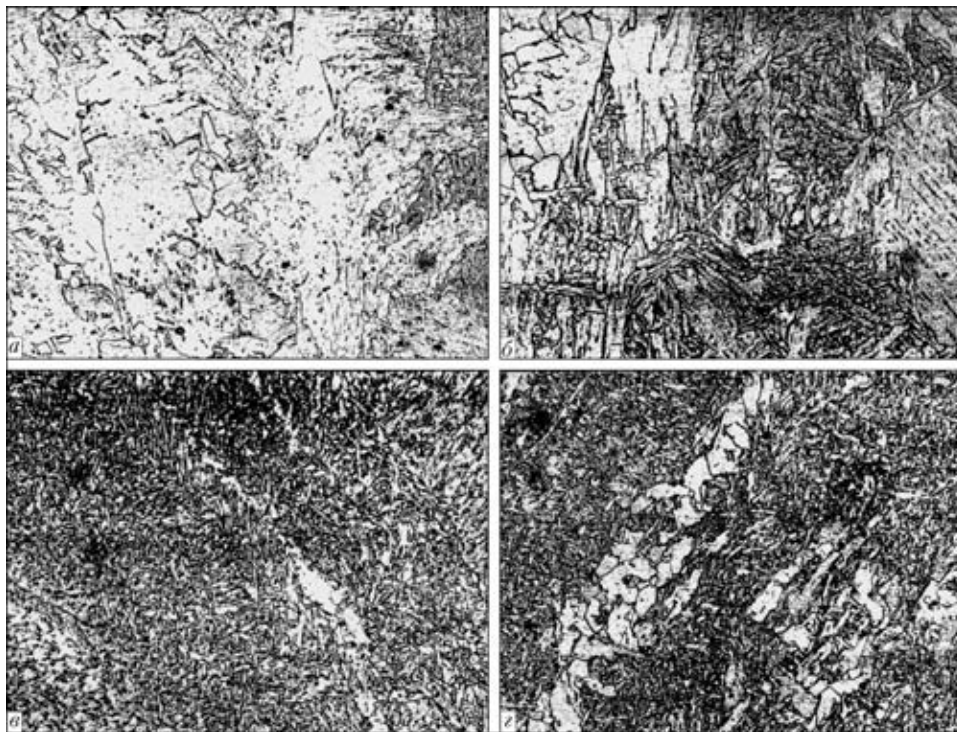


Рис. 1. Микроструктура (X400) металла исследуемых швов на образцах № 2 (а), 4 (б), 8 (е), 9 (з) по табл. 2

в неметаллических включениях или входит в твердый раствор. Исходя из этих предположений влияние марганца на структуру и свойства металла швов целесообразно оценивать с помощью показателя, учитывающего содержание марганца как в неметаллических включениях MnO, так и в твердом растворе [Mn_{т.р.}]. В качестве такого показателя может быть использовано, например, соотношение (MnO)/[Mn_{т.р.}]. С целью получения таких зависимостей нами в соответствии с описанной выше методикой исследования определены химический состав неметаллических включений и содержание марганца в твердом растворе. Результаты исследований представлены в табл. 5.

Исходя из полученных данных рассчитаны зависимости, приведенные на рис. 4. Как видно из

рисунка, при изменении соотношения (MnO)/[Mn_{т.р.}] от 60 до 90 происходит существенное снижение значений истинного сопротивления разрыву образцов металла сварных швов, что связано с резким возрастанием объемной доли ПФ. Использование для описания влияния легирования металла швов марганцем на его структуру и механические свойства соотношения (MnO)/[Mn_{т.р.}] дает возможность более подробно изучить этот процесс. Так, из рис. 4 можно сделать вывод, что при низком (30...60) соотношении (MnO)/[Mn_{т.р.}] легирование твердого раствора марганцем способствует упрочнению металла шва, в результате чего его прочностные свойства повышаются. При высоком (90...150) значении этого соотношения марганец в металле швов вхо-

Таблица 4. Механические свойства металла швов

№ образца	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	S_k , МПа
1	329,1	407,5	30,4	63,9	1128,8
2	325,6	402,4	28,0	58,7	974,3
3	367,1	466,3	34,2	74,1	1800,4
4	314,6	433,6	26,3	63,8	1197,8
5	348,5	490,6	36,0	74,9	1954,6
6	351,2	454,5	25,3	65,7	1325,1
7	344,4	432,9	28,5	59,7	1074,2
8	356,8	473,2	32,0	74,8	1877,8
9	385,4	508,0	29,2	64,9	1447,3
10	418,1	523,8	25,0	58,7	1268,3
11	437,4	589,0	22,9	62,9	1587,6

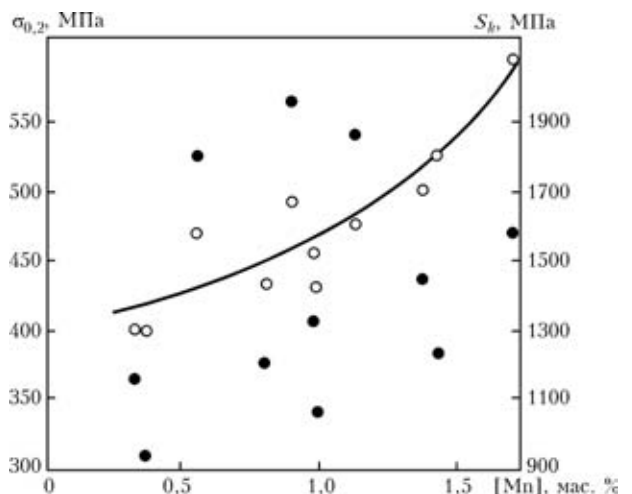


Рис. 2. Влияние легирования металла швов марганцем на временное $\sigma_{0,2}$ (○) и истинное S_k (●) сопротивление разрыву

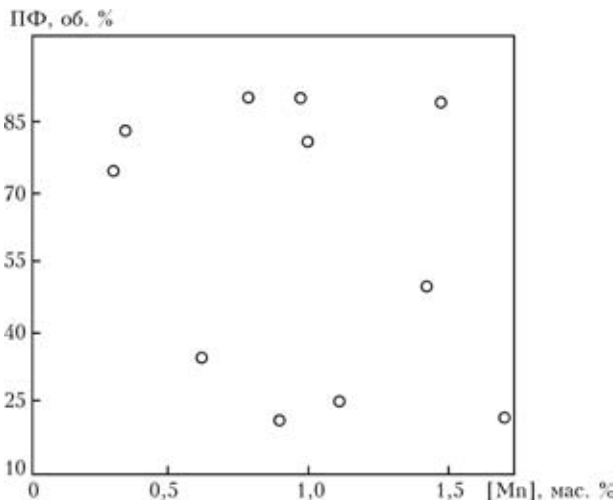


Рис. 3. Влияние легирования металла швов марганцем на долю ПФ в его структуре

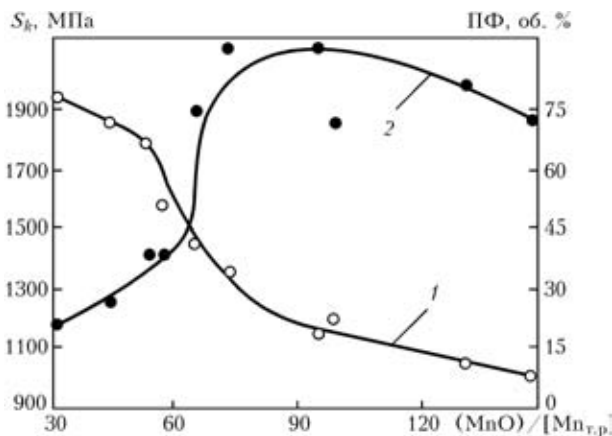


Рис. 4. Влияние соотношения $(MnO)/[Mn_{т.р.}]$ на истинное сопротивление разрыву S_k (1) и содержание ПФ (2) в структуре металла швов

дят преимущественно неметаллические включения. В таких случаях структура металла швов отличается высоким содержанием ПФ, а твердый раствор недостаточно легирован марганцем, что приводит к снижению истинного сопротивления разрыву.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования соотношения $(MnO)/[Mn_{т.р.}]$ для оценки влияния содержания марганца в металле сварных швов на его структуру и механические свойства.

The effect of oxygen potential and alloying ability of welding fluxes on distribution of manganese in the weld metal between non-metallic inclusions MnO and solid solution Mn_{s.s.} has been studied. The $(MnO)/[Mn_{s.s.}]$ ratio can be used for differential evaluation of the efficiency of alloying the welds with manganese, allowing for a differing character of its effect on hardening of solid solution, composition of non-metallic inclusions, and structure and mechanical properties of the weld metal.

Таблица 5. Содержание неметаллических включений и марганца (мас. %) в твердом растворе

№ образца	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	[Mn _{т.р.}]
1	16,09	34,78	48,82	0,30
2	35,27	23,64	38,82	0,25
3	19,42	29,10	42,61	0,82
4	0,32	45,64	51,47	0,52
5	60,63	4,73	31,53	1,03
6	1,05	41,39	61,18	0,85
7	1,26	33,33	64,07	0,47
8	13,99	22,39	58,25	1,30
9	1,32	29,82	68,15	1,02
10	9,37	30,66	65,15	1,30
11	6,23	21,74	76,71	1,38

Учет влияния $(MnO)/[Mn_{т.р.}]$ на свойства металла позволяет провести дифференцированную оценку эффективности легирования сварных швов марганцем с учетом различного характера его воздействия на упрочнение твердого раствора и состав неметаллических включений, а также на структуру и механические свойства металла швов.

1. Грабин В. Ф., Денисенко А. В. *Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей.* — Киев: Наук. думка, 1978. — 272 с.
2. Лившиц Л. С., Хакимов А. Н. *Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений.* — М.: Машиностроение, 1989. — 334 с.
3. Court S. A., Pollard G. The effects of Mn and Si on the microstructure and properties of SMA steel weld metal. — S.I., [1989]. — 14 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-A-789-89).
4. Анализ структурного состава металла швов, выполненных сварочными проволоками ферритно-перлитного класса / В. Ф. Грабин, В. В. Головкин, Т. Г. Соломийчук и др. // *Автомат. сварка.* — 2003. — № 8. — С. 18-20.
5. Головкин В. В. Взаимодействие металла со шлаком при сварке под агломерированными флюсами низколегированных сталей: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 2006. — 32 с.
6. ISO 14171 *International Standard. Welding consumables — wire electrodes and wire-flux combinations for submerged arc welding of non alloy and fine grain steels — classification.* — Введ. 01.02.2007.
7. Guidelines for the classification of ferritic steel weld metal microstructural constituents using the light microscope // *Welding in the World.* — 1986. — 24, № 7/8. — P. 144-148.

Поступила в редакцию 15.02.2007



ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИКРОСЛОЙНЫХ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. Е. ШИШКИН, инж., Е. А. ШИШКИН, канд. техн. наук
(Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины),

А. И. УСТИНОВ, д-р физ.-мат. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

На примере микрослойных присадок Ni/Al методом дифференциального термического анализа определены температурные интервалы и интенсивность протекания процессов реакционной диффузии в зависимости от скорости их нагрева, а также проведена оценка удельного количества теплоты, выделяющейся при протекании в этих материалах реакции высокотемпературного самораспространяющегося синтеза, инициированного электроискровым разрядом.

Ключевые слова: диффузионная сварка, микрослойные фольги системы Ni/Al, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, теплота, реакционная диффузия, дифференциальный термический анализ

Микрослойные фольги, состоящие из чередующихся прослоек компонентов, способных к реакционной диффузии с образованием интерметаллидов, рассматриваются как перспективные материалы для формирования неразъемных соединений. Возможность применения таких слоистых материалов в качестве присадок основана на том, что реакция синтеза между компонентами в результате их диффузионного перемешивания при нагреве [1] сопровождается выделением тепла, которое может значительно активировать диффузионную подвижность атомов в зоне соединения и тем самым обеспечить условия для формирования соединения в твердом состоянии [2–5].

Согласно теоретическим расчетам в зависимости от скорости нагрева процесс формирования интерметаллического соединения в композитном материале, состоящем из компонентов, способных вступать в реакцию синтеза, может развиваться тремя способами: в результате непрерывного нагрева (процесс реакционной диффузии (РД)), реакции высокотемпературного самораспространяющегося синтеза (СВС) и взрывом [6].

Процесс оптимизации структуры такого присадочного материала и термического цикла его нагрева для обеспечения формирования сварного соединения может быть значительно упрощен, если известны параметры, характеризующие термические процессы, протекающие в нем при различных режимах нагрева. В ряде работ были использованы оптические методы, позволяющие проводить оценку скорости распространения волны СВС [7]. Пирометрические методы применяли для определения максимальной температуры разогрева фольги на фронте распространения волны СВС [7, 8]. Коли-

чество теплоты, выделяющейся при протекании процесса РД, определяли методами калориметрии [9]. Для изучения динамики изменения фазового состава образца в процессе протекания реакций СВС применяли также скоростное рентгенографирование [8].

Однако эти методы не обеспечивают полный комплекс данных, необходимых для оценки процессов тепловыделения, и температурных интервалов их протекания в микрослойной фольге в условиях, близких к параметрам нагрева, характерного для термического цикла сварки. Так, для калориметрических методов имеются ограничения по скорости нагрева образцов, а оптические методы определения скорости распространения волны СВС не позволяют определять количественные характеристики тепловых эффектов.

Для анализа процессов, протекающих с выделением или поглощением тепла, весьма эффективным является метод дифференциального термического анализа (ДТА) [10]. Принимая во внимание высокую производительность и относительную простоту аппаратной реализации, метод ДТА использовали для исследования реакций, протекающих в микрослойных фольгах в режиме СВС и процесса РД. С помощью этого метода проведена оценка теплоты, выделяющейся при СВС, и определены температурные интервалы протекания процесса РД на примере микрослойных фольг, состоящих из прослоек никеля и алюминия, полученных путем послойного осаждения паровых фаз компонентов в вакууме с помощью электронно-лучевого метода [5].

Термический анализ процесса РД. Метод ДТА при определении теплоты фазовых превращений в материалах основан на сравнении температур исследуемого образца и эталона при их непрерывном нагреве в идентичных условиях. В работе использовали прибор ВДТА-8 [10]. Принципиальная схема измерения температуры образца и разности температур образца и эталона с

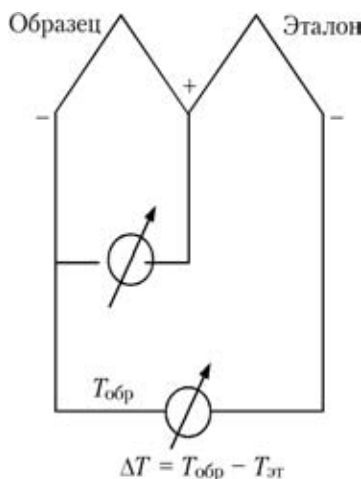


Рис. 1. Принципиальная схема метода ДТА

помощью термопар представлена на рис. 1. Высокая чувствительность этого метода достигается благодаря тому, что термопары включены «навстречу» друг другу и регистрируют дифференциальный сигнал (разность температур образца и эталона), при этом одна из термопар используется для измерения температуры образца, другая — эталона.

Конструкция низкотемпературного (максимальная температура нагрева до 1000 °С) высокочувствительного ДТА датчика показана на рис. 2, а его расположение в камере нагрева — на рис. 3.

Для измерения применяли хромель-алюмелевые термопары с диаметром электродов 0,2 мм. Термопарой 2 измеряли температуру образца, а термопарой 3, включенной по дифференциальной схеме (см. рис. 2), — разность температур между образцом и эталоном. В качестве эталона использовали медную фольгу. Термопарой 5 измеряли температуру печи и использовали для регулировки температуры печи при скоростях нагрева до 400 °С/мин.

При исследовании процессов, протекающих с большими скоростями и тепловыделением, например, реакции взрыва, горения или разложения, для измерения выделившегося тепла используется так называемый метод ДТА с «разбавителем» [11]. В нашем случае тонкие фольги исследуемого материала помещали между обкладками из теплопроводящего материала («разбавителя»), в качестве которого использовали медную фольгу толщиной 0,1 мм. Для теплоизоляции образца применяли пенокварц, имеющий низкую теплопроводность [12], в качестве эталона использовали такую же медную фольгу, равную по массе и размеру фольге, в которой помещался образец.

Датчик помещали в низковольтную печь сопротивления с нагревателем типа «двойная труба» из молибденовой жести (рис. 3). Малоинерционную печь, позволяющую проводить нагрев со ско-

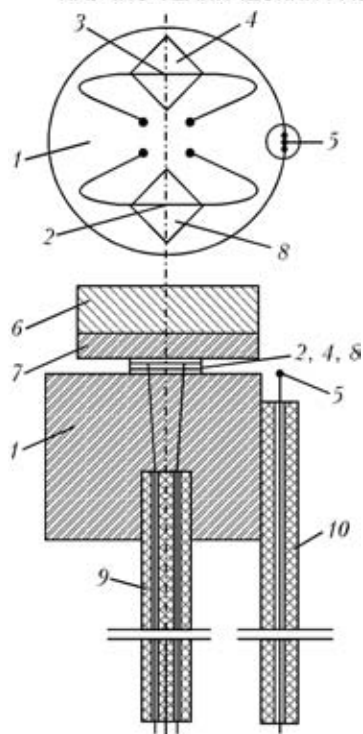


Рис. 2. Схема ДТА датчика: 1, 7 — блок и крышка из пенокварца; 2, 3 — термопары образца и эталона; 4 — образец; 5 — регулирующая термопара; 6 — крышка прижимная; 8 — эталон; 9, 10 — керамические изоляторы

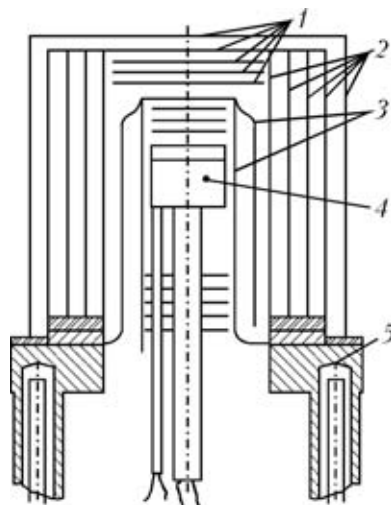


Рис. 3. Схема низковольтной печи сопротивления: 1, 2 — экраны; 3 — нагреватель; 4 — блок датчиков; 5 — токоподводы

ростями до 400 °С/мин, размещали в водоохлаждаемой вакуумной камере. Исследования проводили в гелии марки «А» при давлении 0,5 атм.

Для управления нагревом, регистрации и документирования данных применяли систему автоматизации термических методов анализа на базе компьютера IBM со специальным программным обеспечением.

Из рис. 4, а видно, что в процессе нагрева в многослойной фольге происходят экзотермические реакции, протекающие, судя по пикам тепловыделения, в три этапа. Можно предположить,

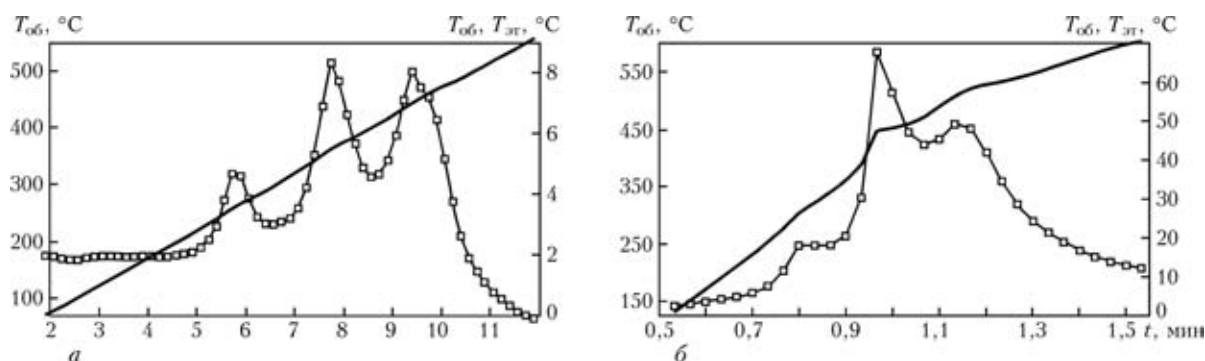


Рис. 4. Термограммы сплава Ni–Al (31,2 ат. % Al), полученные при непрерывном нагреве со скоростью 50 (а) и 400 (б) °С/мин

что эти процессы связаны с определенными стадиями протекания РД между слоями алюминия и никеля. Так как состав фольги на диаграмме фазовых равновесий соответствует двухфазной области NiAl и Ni₃Al, а на начальных стадиях процесса РД в микрослойных фольгах Ni/Al образуется соединение Al₃Ni [9], то можно предположить, что наблюдаемые стадии РД и соответствующие им тепловые эффекты могут быть обусловлены последовательностью превращений Al + Ni → Al₃Ni + Ni → AlNi + AlNi₃. При этом первая стадия процесса РД начинается при относительно низкой температуре (около 240 °С) и сопровождается незначительным, а последующие — более интенсивным тепловыделением.

При увеличении скорости нагрева (рис. 4, б) образца качественно вид термограмм не изменяется — та же трехстадийность тепловыделения, однако существенно возрастает высота пика разности температур между образцом и эталоном, а также наблюдается некоторое изменение соотношения значений второго и третьего пиков. На этом основании можно заключить, что увеличение скорости нагрева микрослойной фольги значительно интенсифицирует скорость протекания РД на второй и третьей стадиях процесса. Неизменной остается только температура образца, при которой начинаются процессы тепловыделения, т. е. вступают в диффузионное взаимодействие слою алюминия и никеля.

Полученные данные показали, что при непрерывном нагреве в диапазоне скоростей от 50 до 400 °С/мин микрослойных присадок на основе системы Ni/Al экзотермические реакции между элементами, формирующими слоистую структуру, начинаются при температурах около 240 °С и практически завершаются при достижении температуры 500...550 °С. При этом процесс тепловыделения имеет несколько стадий, интенсивность протекания которых существенно зависит от скорости нагрева образца — с ее увеличением интенсивность тепловыделения (высота пиков на кривых ДТА) существенно возрастает, а температурный интервал второй и третьей стадий процесса РД смещается в область более высоких тем-

ператур, тогда как температура начала твердофазных реакций в слоистой структуре (первая стадия РД) остается практически неизменной. Из полученных данных видно, что использование микрослойных материалов на основе системы Ni/Al в качестве присадок может быть весьма эффективно при формировании неразъемных соединений на основе материалов, для которых нагрев до температур 250...500 °С обеспечивает высокую диффузионную подвижность атомов. В этом случае тепловыделение, обусловленное РД в микрослойном материале, будет способствовать активизации диффузионной подвижности атомов в зоне соединения, т. е. формированию соединения в твердом состоянии (без локального оплавления соединяемых материалов).

Оценка удельной теплоты реакции СВС. Известно, что при увеличении скорости нагрева слоистых материалов на основе интерметаллидообразующих элементов в них возможно инициирование процесса СВС. При использовании таких слоистых материалов в качестве присадок важными являются такие характеристики СВС, как значение теплового эффекта и скорость распространения волны горения. В работе на примере слоистой фольги системы Ni/Al провели оценку выделившегося тепла, обусловленного реакцией СВС. Инициирование реакции СВС осуществляли путем локального разогрева незначительной части образца от комнатной температуры до температуры начала реакции с высокой скоростью в результате электроискрового разряда. При этом скорость распространения фронта горения составляла порядка 0,5...1 м/с.

Для определения количества тепла СВС реакций измеряли температуру разогрева пакета, состоящего из нескольких слоев многослойных фольг, которые были помещены между двумя медными фольгами толщиной 0,2 мм. Пакет размещали в блоке из пенокварца. Одна из фольг образца большей длины находилась непосредственно на неподвижном электроде разрядного устройства под подвижным электродом. Температуру пакета измеряли хромель-алюмелевой тер-



мопарой (диаметр электродов 0,1 мм), контактирующей с медными обкладками (рис. 5).

После вакуумирования камеры с измерительным блоком ($\sim 1 \cdot 10^{-1}$ МПа) проводили инициализацию СВС в микрослойной фольге путем разряда конденсатора с помощью подвижного контакта и электромагнитного реле. Регистрацию осуществляли быстродействующим потенциометром. На термограмме (рис. 6) видно, что после инициирования СВС процесса температура пакета быстро возрастает (в течение примерно 1 с) до некоторого максимального значения, зависящего от количества выделившегося тепла, массы образца и медной фольги, которые подбирались таким образом, чтобы разогрев всего пакета не превышал температуру плавления меди. Как правило, эта температура находилась в пределах 500...700 °С.

Полагая, что по ходу реакции теплообмен между микрослойной фольгой и «разбавителем» осуществлялся достаточно быстро, уравнение для расчета адиабатической температуры пакета (микрослойная фольга + «разбавитель») можно представить в виде

$$\Delta H_{298}(\text{Ni}_a\text{Al}_b)m_{\text{Ni/Al}} + Q_{\text{Ni}_a\text{Al}_b}^T + Q_{\text{Cu}}^T = 0,$$

где $\Delta H_{298}(\text{Ni}_a\text{Al}_b)$ — удельное тепловыделение, обусловленное формированием соединения Ni_aAl_b (для однофазного состояния продукта реакции СВС удельное тепловыделение соответствует удельной энтальпии образования этого соединения); $m_{\text{Ni/Al}}$ — масса микрослойной фольги;

$Q_{\text{Ni}_a\text{Al}_b}^T = m_{\text{Ni}_a\text{Al}_b} \int_{T_R}^T C_p(\text{Ni}_a\text{Al}_b)dT$ — теплота, необхо-

димая для нагрева соединения Ni_aAl_b от комнатной температуры до температуры T ; $C_p(\text{Ni}_a\text{Al}_b)$ — теплоемкость соединения Ni_aAl_b ; $m_{\text{Ni}_a\text{Al}_b}$ — масса образующегося в результате СВС соединения

Ni_aAl_b ($m_{\text{Ni/Al}} = m_{\text{Ni}_a\text{Al}_b}$); $Q_{\text{Cu}}^T = m_{\text{Cu}} \int_{T_R}^T C_p(\text{Cu})dT$ —

теплота, необходимая для нагрева медной фольги («разбавителя») от комнатной температуры до температуры T ; m_{Cu} — масса медной фольги; $C_p(\text{Cu})$ — теплоемкость меди.

Определяя температуру, до которой нагревался пакет в результате протекания реакции СВС в микрослойной фольге, и задавая значения масс микрослойной и медной фольг, по приведенному выше уравнению рассчитывали удельную теплоту, выделившуюся при формировании Ni_aAl_b .

Для оценки применимости предлагаемой методики была отобрана микрослойная фольга, соотношение никеля и алюминия в которой соответствует однофазной области Ni_3Al_2 на равно-

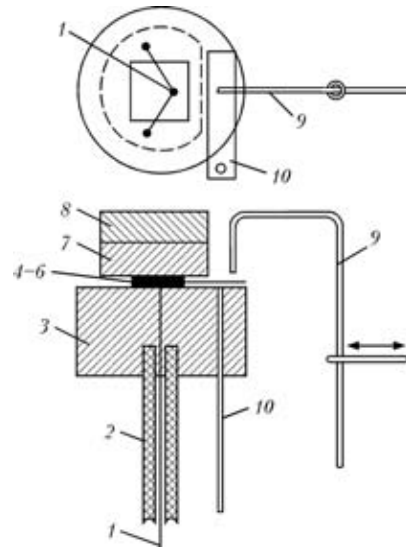


Рис. 5. Схема измерительного блока с электроискровым поджигом: 1 — термопара; 2 — керамическая стойка; 3, 7 — блок из пеннокварца; 4–6 — пакет из медной фольги с образцом; 8 — крышка-груз; 9, 10 — подвижный и неподвижный электроды для поджига

весной диаграмме состояний системы Ni–Al. При массе микрослойной и медной фольг соответственно 0,0265 и 0,0865 г в процессе СВС пакет разогрелся до температуры 700 °С. Подставляя эти значения в приведенное выше уравнение и проведя расчеты, получаем¹ удельное тепловыделение микрослойной фольги, равное $268,2 \cdot 10^6$ Дж/(кг·моль). По данным [13] значение удельной энтальпии реакции синтеза соединения Ni_2Al_3 составляет $282,4 \cdot 10^6$ Дж/(кг·моль). Приняв во вни-

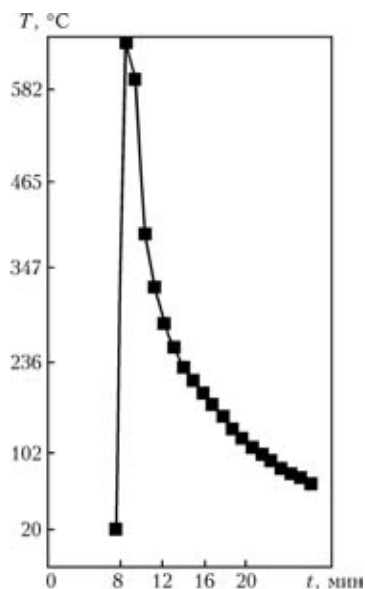


Рис. 6. Термограмма реакции СВС в образце Ni–Al (61,2 ат. % Al)

¹ При расчете $Q_{\text{Ni}_a\text{Al}_b}^T$ значение теплоемкости соединения Ni_2Al_3 при температуре T определяли с помощью аналитической зависимости, приведенной в работе [13].



мание отклонение исследованной фольги от стехиометрического состава и возможность частичного протекания РД по границам слоев в слоистом материале до начала процесса СВС, можно заключить, что полученные значения удельного тепловыделения в микрослойной фольге удовлетворительно согласуются со значением удельной энтальпии реакции синтеза соединения в условиях, когда это взаимодействие практически исключается.

На этом основании данные об удельном тепловыделении, обусловленные протеканием реакции СВС, инициированные электроискровым поджигом в микрослойной фольге и полученные с помощью описанной выше методики, могут быть использованы для оценки характеристик тепловыделения в микрослойных фольгах.

С точки зрения практического использования таких материалов в виде присадок для активации диффузионных процессов при сварке в режиме инициирования реакции СВС экспериментальное определение удельного тепловыделения слоистых материалов с помощью предложенного метода может обеспечить экспрессную оценку энергетической характеристики присадок.

Выводы

1. Методом ДТА с «разбавителем» установлено, что РД при нагреве микрослойных фольг на основе системы Ni/Al протекает с выделением тепла в несколько стадий, отличающихся температурными интервалами, при которых наблюдается немонотонное изменение скорости протекания РД.

2. Показано, что скорость нагрева микрослойных фольг в диапазоне 50...400 °С/с существенно влияет на интенсивность протекания РД на всех стадиях процесса. При этом с увеличением скорости нагрева начало протекания реакций превращения, соответствующих второй и третьей стадиям, смещается в область более высоких температур. Начало протекания первой стадии процесса РД в микрослойных пленках Ni/Al практически не зависит от скорости нагрева фольги. Процесс выделения тепла при непрерывном нагреве микрослойных фольг завершается при разогреве образца до 500...550 °С.

3. Предложен метод определения удельного количества тепла, выделяющегося в микрослойной фольге, который основан на определении тем-

пературы разогрева микрослойной фольги с «разбавителем» при инициировании в ней реакции СВС с помощью электрического разряда. На примере микрослойной фольги Ni/Al показано, что удельная энтальпия образования соединения Ni₂Al₃ в процессе реакции СВС в микрослойной фольге, сформированной электронно-лучевым методом, составляет около 95 % теоретически рассчитанной для этого соединения.

Работа выполнена при финансовой поддержке по программе НАН Украины «Наностистемы. Наноматериалы. Нанотехнологии» (Проект № 106).

1. Merzhanov A. G. Theory and practice of SHS: worldwide state-of-the-art and the newest results // Int. J. SHS. — 1993. — 2, № 2. — P. 113–158.
2. *In-situ* joining of nickel monoaluminide to iron by reactive sintering / K. Matsuura, K. Ohsasa, N. Sueoka, M. Kudoh // ISIJ International. — 1998. — 38, № 3. — P. 310–315.
3. Pascal C., Martin-Ayrel R. M., Tedenac J. C. Joining of nickel monoaluminide to a superalloy substrate by high pressure self-propagating high-temperature synthesis // J. Alloys and Compounds. — 2002. — 337. — P. 221–225.
4. Применение наноструктурных материалов при диффузионной сварке жаропрочных никелевых сплавов / К. А. Ющенко, Б. А. Задерий, А. В. Звягинцева и др. // Автомат. сварка. — 2006. — № 11. — С. 3–11.
5. Диффузионная сварка композитов АМг5-27% Al₂O₃ с применением нанослойной фольги Ni/Al / А. Я. Ищенко, Ю. В. Фальченко, А. И. Устинов и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 7. — С. 5–9.
6. Чащина А. А., Князева А. Г. Режимы соединения материалов с использованием синтеза в твердой фазе // Химия в интересах устойчивого развития. — 2005. — 13. — С. 343–350.
7. Безгазовое горение многослойных биметаллических нанопленок Ti/Al / А. С. Рогачев, А. Э. Григорян, И. Г. Илларионова и др. // Физика горения и взрыва. — 2004. — 40, № 9. — С. 45–51.
8. *In situ* synchrotron characterization of mechanically activated self-propagating high-temperature synthesis applied in Mo–Si system / C. H. Gras, F. Charlton, E. Gaffet et al. // Acta Mater. — 1999. — 47, № 7. — P. 2113–2123.
9. Ma E., Thompson C. V., Clevenger L. A. Nucleation and growth during reactions in multilayer Al/Ni films: The early stage of Al₃Ni formation // J. Appl. Phys. — 1991. — 69, № 4. — P. 2211–2218.
10. Кочержинский Ю. А. Опыт-промышленные образцы аппаратуры для физико-химического анализа при высоких температурах // Приборы для исследования физических свойств материалов. — Киев: Наук. думка, 1974. — С. 134–141.
11. Вилюнов В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ. — Новосибирск: Наука, 1984. — 190 с.
12. Шмыков А. А. Справочник термиста. — М.: Машгиз, 1961. — 368 с.
13. Morsi K. Review: reaction synthesis processing of Ni–Al intermetallic materials // Mater. Sci. and Eng. — 299. — 2001. — P. 1–15.

The case of microlaminate Ni/Al fillers was used to determine by the method of differential thermal analysis the temperature intervals and intensity of running of the processes of reaction diffusion, depending on their heating rate, and evaluation of the specific amount of heat evolving at running of the reaction of high-temperature self-propagating synthesis triggered by an electric spark discharge in these materials is performed.

Поступила в редакцию 14.05.2007

МОСТ ИМ. Е. О. ПАТОНА СПУСТЯ ПОЛВЕКА

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

Приведены сведения, отражающие требования к стали, технологиям соединения и сварочному оборудованию, заложенные проектировщиками для изготовления цельносварного автодорожного моста. Предстоящая реконструкция моста базируется на современных достижениях металлургии и сварочного производства.

Ключевые слова: дуговая сварка, низколегированные стали, автодорожный мост, цельносварная конструкция, пролетные строения, технология, оборудование, монтаж

Более пятидесяти лет назад был построен первый цельносварной автодорожный мост им. Е. О. Патона. За это время нагрузки на его конструкции возросли в семь раз. Дальнейшая эксплуатация моста возможна только при его серьезной реконструкции.

Созданию цельносварной конструкции предшествовал большой объем поисковых и научно-исследовательских работ, который был успешно выполнен под руководством ученого-мостостроителя академика Евгения Оскаровича Патона.

Необходимо было обосновать и доказать, что сварная конструкция не может быть подражанием клепаной. Не только принципы проектирования, расчета и конструирования, но и выбор материалов отличались иными, принципиально новыми подходами.

Первоначально для изготовления пролетных строений моста использовали обычную низкоуглеродистую кипящую сталь, применяемую для клепаных мостов. Контроль металла, идущего на изготовление сварных пролетных строений, не уделялось достаточно внимания. Имевшие место случаи образования трещин в металле шва, а иногда и в основном металле обусловили необходимость разработки специальной стали для сварных мостов.

Основные требования, предъявляемые к сталям, применяемым для пролетных строений мостов, сводились к следующему:

сталь должна быть менее склонна к переходу в хрупкое состояние в условиях низких температур и при наличии концентрации напряжений, что обусловлено эксплуатацией мостов при температуре до -40°C , а также невозможностью создания конструкций без достаточно резких изменений сечений и других концентраторов;

для пролетных строений мостов необходима сталь, не склонная к старению, т. е. к изменению прочностных и пластических свойств от наклепа, под воздействием температурного цикла сварки и времени эксплуатации;

сталь должна обеспечивать возможность получения сварного соединения, которое отличалось бы высокой стойкостью против образования трещин в шве, зоне термического влияния и основном металле. Сварное соединение должно иметь достаточную прочность и пластичность.

Созданная и использованная в конструкциях моста им. Е. О. Патона сталь 16Д в основном отвечала этим требованиям и была включена в ГОСТ 6713 «Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения».

В 1950-х годах основными технологическими процессами сварки были ручная дуговая сварка покрытыми электродами и автоматическая (полуавтоматическая) сварка под флюсом. Период подготовки к строительству моста характеризовался интенсификацией конструкторских работ по созданию аппаратуры для выполнения сварки при изготовлении и монтаже металлоконструкций, совершенствованием технологии сварки и сварочных материалов.

Основные требования к качеству сварочной аппаратуры включали:

стабильность заданного режима в производственных условиях (корректировка режима в процессе сварки обычно приводит к ухудшению качества сварного шва);

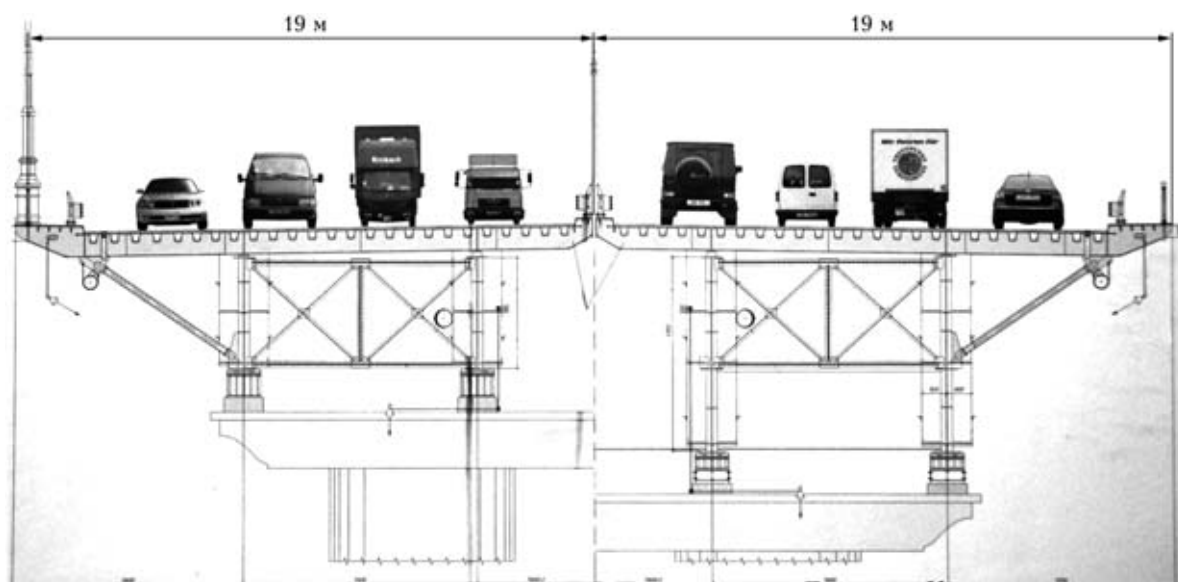
возможность точного направления электрода по шву (зависит от режима сварки, типа шва и других условий);

возможность сварки угловых и стыковых швов;

надежность аппаратуры в эксплуатации и простота в обслуживании;

легкость и транспортабельность сварочного автомата, отсутствие необходимости в сложных и громоздких устройствах для его передвижения.

Наиболее полно в 1950-е годы этим требованиям удовлетворяли трактор ТС-17-М, держатели полуавтоматические ДШ-5 и ДШ-27, которые широко применяли для сварки пролетных строений на заводах и монтажных площадках. Трактор ТС-17-М для сварки под флюсом благодаря надежности и простоте в обслуживании и сейчас достаточно распространен в машиностроении и строительстве.



Схематическое изображение моста после реконструкции

Впервые в мировой практике применительно к выполнению монтажных вертикальных стыков был разработан новый способ сварки под флюсом, получивший название способ сварки с принудительным формированием, что дало возможность механизировать сварку вертикальных и наклонных швов.

К настоящему времени подходы, используемые при создании автодорожных и железнодорожных мостовых конструкций с помощью сварки, разработанные в 1950-х годах, не потеряли своей актуальности.

Низкоуглеродистые стали с низкими прочностными и технологическими свойствами сегодня уступают место новому поколению низколегированных сталей повышенной и высокой прочности. Прошли промышленную проверку и внедряются в мостостроении новые экономнолегированные стали марок 06ГБД, 06Г2БД, 09Г2СЮЧ.

При изготовлении металлоконструкций мостов и на монтаже наряду с автоматической сваркой под флюсом применяется сварка в углекислом газе (CO_2) или в смеси газов ($\text{CO}_2 + \text{Ar}$) проволокой сплошного сечения или порошковой, контактно-дуговая сварка для приварки гибких упоров в сталежелезобетонных пролетных строениях.

В монтажных условиях делается попытка (где это целесообразно) применять электрошлаковую сварку. Арматуру железобетонных конструкций соединяют с помощью сварки взрывом. Сварка и родственные технологии стали незаменимыми процессами при создании практически всех видов металлических конструкций.

Значительный прогресс в области мостостроения приходится на полувековой юбилей эксплуатации моста им. Е. О. Патона. В ближайшее время будет начата его реконструкция при непосредственном участии специалистов Института электросварки им. Е. О. Патона. С целью сокращения сроков реконструкции предлагается на монтаж подавать максимально укрупненные блоки. Мост будет разделен вдоль на две половины. На одной будут производиться работы по замене проезжей части, а на другой движение транспорта будет продолжаться, а затем наоборот. Ширина моста будет увеличена с 28 до 38 м, что позволит организовать движение в четыре ряда в каждом направлении (рисунок). Мост станет шире, будет способен выдерживать современные нагрузки и интенсивность движения, сохранив при этом величественный архитектурный облик.

Presented is the information on requirements to steel, joining technologies and welding equipment, which were used by designers for the fabrication of an all-welded road bridge. The forthcoming reconstruction of the bridge is based on the up-to-date achievements of metallurgy and welding engineering.

Поступила в редакцию 16.10.2007

ДВУХПОСТОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТИГ СВАРКИ МЕДИ

Н. А. ГРАНОВСКИЙ, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
В. В. ТИМЧЕНКО, инж. (ГП «УкрНИИметаллургмаш», г. Славянск),
В. М. ИЛЮШЕНКО, **Г. А. БУТАКОВ**, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана двухпостовая установка для ТИГ сварки меди в гелии, состоящая из основного блока (источника питания) и двух выносных блоков, питающихся напряжением 3×36 В и имеющих автономную систему охлаждения антифризом. Установка обеспечивает независимое друг от друга регулирование тока сварки каждого из двух постов, стабилизацию сварочного тока, надежное и быстрое возбуждение и стабильное горение дуги в гелии при сварке меди.

Ключевые слова: сварка ТИГ, медь, гелий, импульсы тока, силовой транзистор, дроссель, индуктивное сопротивление, регулировка тока сварки, двухпостовой источник питания

В современной технике изделия из меди и ее сплавов применяются при производстве кристаллизаторов установок электрошлакового переплава (ЭШП), машин непрерывного литья заготовок и др. Изделия больших габаритов целесообразно изготавливать в сварном варианте, что позволяет экономить дорогостоящую медь. Для сварки меди применяют различные способы — автоматическую сварку под слоем флюса [1], электрошлаковую [2], плазменную [3], а также сварку в среде защитных газов — аргона, азота или гелия неплавящимся вольфрамовым электродом (ТИГ) [4].

Сварку ТИГ целесообразно применять для швов небольшой протяженности, при сварке изделий сложной конфигурации, а также при соединении деталей небольшой толщины (до 12 мм). Простота процесса сварки, возможность визуального контроля делают этот процесс предпочтительнее других способов. В то же время при сварке ТИГ массивных изделий из меди необходим предварительный подогрев, что снижает производительность процесса сварки. Повысить его эффективность можно с помощью защитного газа — азота или гелия. Однако в швах, выполненных дуговой сваркой в азоте, часто наблюдаются поры [5]. В связи с этим при изготовлении медных изделий применяют гелиево-дуговую сварку неплавящимся вольфрамовым электродом. Промышленность не выпускает специализированного оборудования для сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом в гелии. На предприятиях для этих целей обычно применяют оборудование, предназначенное для аргонодуговой сварки (УПС 301, УДГУ 501), либо источники питания постоянного тока доукомплектовывают горелками для сварки неплавящимся (вольфрамовым) элек-

тродом. Большие токи, необходимые при сварке меди толщиной более 10 мм, вызывают необходимость применения водоохлаждаемых горелок, что не всегда возможно зимой в цехах, не имеющих отопления. Большие размеры свариваемых деталей требуют создания оборудования, позволяющего вести сварку на значительном удалении от места подключения его к сети 380 В, при этом необходимо обеспечить регулировку сварочного тока дистанционно, непосредственно с места проведения работ. Следует отметить, что кабель управления, соединяющий сварочный пост с источником питания, должен иметь по возможности меньший диаметр по сравнению с силовым кабелем, быть легким и гибким, что важно при его большой длине. В связи с изложенным выше актуальной задачей является разработка установки для гелиево-дуговой сварки меди, удовлетворяющей перечисленным требованиям.

Описанная ниже установка предназначена для приварки фланцев из меди толщиной 60 мм к кристаллизатору ЭШП, имеющему толщину стенки 30 мм. С целью ускорения работ по изготовлению кристаллизатора установка была выполнена по двухпостовой схеме, что позволяет вести сварку одновременно в двух различных местах, при этом достигается экономия энергоресурсов на подогрев корпуса кристаллизатора как за счет сокращения времени сварки, так и за счет увеличения тепловложения в кристаллизатор от двух одновременно горящих сварочных дуг.

Установка имеет основной (рис. 1) и два выносных блока (рис. 2), которые могут быть удалены от основного блока на расстояние до 50 м каждый. Основной блок (рис. 3) включает силовой сварочный трансформатор, выпрямительный блок, два дросселя, два токоограничивающих балластных резистора и вспомогательный трехфазный трансформатор 380/36 В для питания цепей управления и систем охлаждения выносных блоков.



Рис. 1. Основной блок установки



Рис. 2. Выносной блок установки

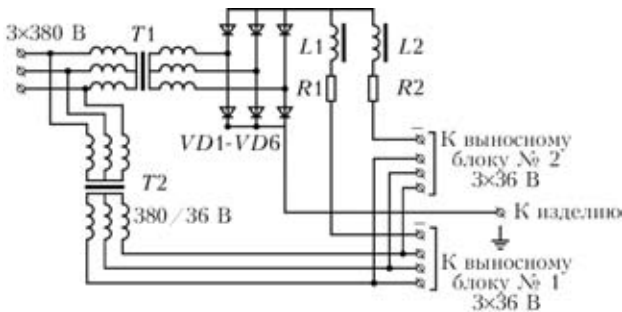


Рис. 3. Упрощенная принципиальная схема основного блока: $T1, T2$ — соответственно силовой и вспомогательный трансформатор; $VD1-VD6$ — трехфазный мостовой выпрямительный блок; $L1, L2$ — дроссели; $R1, R2$ — токоограничивающие резисторы

Установка реализует принцип регулирования тока за счет изменения индуктивного сопротивления, включенного последовательно в сварочную цепь. Оба выносных блока собраны по одной схеме (рис. 4). Они имеют автономную систему охлаждения антифризом, циркуляция которого осуществляется центробежным насосом, приводимым в движение двигателем MI . Последний также приводит в действие вентилятор, продувающий воздух через радиатор охлаждения.

В сварочную цепь последовательно включен силовой транзистор $VT1$, работающий в ключевом режиме. Регулировка тока осуществляется изменением частоты следования импульсов, отпира-

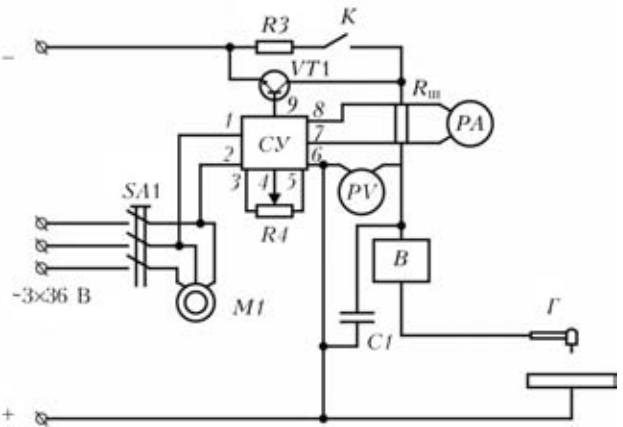


Рис. 4. Упрощенная схема выносного блока: $SA1$ — автоматический выключатель; MI — асинхронный двигатель 3×36 В системы автономного охлаждения; $R3$ — балластный резистор; $VT1$ — силовой транзистор; $R4$ — потенциометр задания тока сварки; CV — схема управления; $R_{ш}$ — шунт; $C1$ — защитный конденсатор; B — возбудитель дуги; PV — вольтметр; PA — амперметр; G — горелка

ющих транзистор, при этом изменяется индуктивное сопротивление дросселей.

Под стабилизацией тока I_{CT} подразумевается стабилизация усредненного интегрального значения импульсного тока сварки.

Для переменного синусоидального тока справедливо соотношение

$$X_L = 2\pi fL, \quad (1)$$

где X_L — индуктивное сопротивление дросселя; f — частота тока; L — индуктивность дросселя.

В случае импульсного тока для использования формулы (1) необходимо разложить измеряемый сигнал в ряд Фурье и определить составляющие индуктивного сопротивления по каждой гармонике отдельно. Очевидно, что при изменении частоты следования импульсов индуктивное сопротивление дросселя также будет изменяться, причем при увеличении частоты I_{CT} будет уменьшаться, и наоборот.

Для стабилизации тока сварки использован простой пропорциональный закон регулирования:

$$\Delta f = k(I_{CT} - I^*), \quad (2)$$

где I^* — заданное значение усредненного тока сварки (резистор $R4$ на рис. 4); k — коэффициент усиления регулятора, подобранный экспериментально из соображений устойчивости системы.

Изменение частоты импульсов сварочного тока с помощью силовых транзисторов позволяет изменять частоту f , что дает возможность получить необходимое значение X_L при меньших значениях индуктивности дросселя L , т. е. существенно уменьшить массу, габариты и стоимость дросселя. С целью улучшения стабильности горения дуги в гелии [6] силовой транзистор $VT1$ зашунтирован балластным резистором $R3$, через

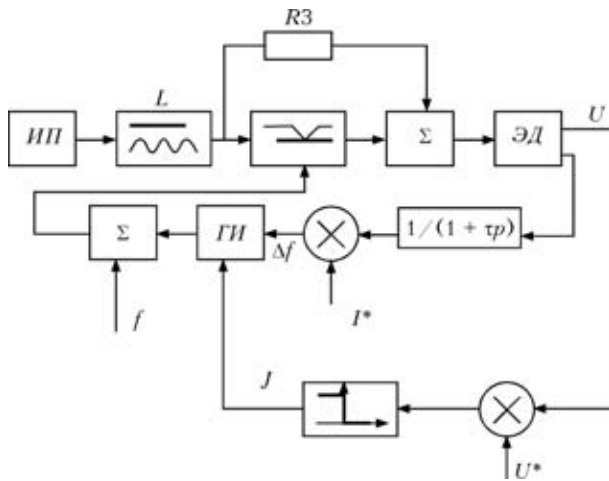


Рис. 5. Структурная схема системы управления процессом

который проходит постоянная составляющая тока дуги. Во время перерывов в сварке контактор *K* обрывает цепь дежурной дуги, а схема управления *СУ* не выдает на транзистор *VT1* управляющие импульсы, что приводит к обесточиванию горелки *Г* (см. рис. 4). В качестве последней используются горелки германской фирмы «Абикор Бинцель» с водяным охлаждением, рассчитанные на постоянный ток до 450 А, необходимый для сварки меди [4, 5]. Управление транзистором *VT1* осуществляется с помощью схемы управления *СУ*, сварочный ток задается потенциометром *R4*. Обратная связь по току осуществляется за счет напряжения, снимаемого со стандартного (500 А, 75 мВ) шунта.

В моменты случайных коротких замыканий вольфрамового электрода на изделие напряжение между выводами 6 и 7 схемы управления *СУ* падает до нескольких вольт. При этом схема блокируется и перестает выдавать отпирающие импульсы на транзистор *VT1*, что предохраняет последний от выхода из строя, балластные резисторы *R1* и *R2* служат для ограничения тока короткого замыкания, если оно произошло в момент времени, когда транзистор *VT1* открыт.

Структурная схема системы управления процессом (рис. 5) состоит из двух контуров: контура стабилизации среднего интегрального значения тока дуги и контура контроля напряжения для определения случайных коротких замыканий вольфрамового электрода на изделии. Снимаемый с *R_ш* сигнал обратной связи $I_{св}(t)$ после интегрирующего блока (формула (1)) сравнивается с заданным значением I^* и в зависимости от значения и знака рассогласования ΔI генератор импульсов *ГИ* вырабатывает поправку Δf , суммирующуюся с несущей частотой *f*. Изменение частоты следования импульсов приводит к изменению индуктивного сопротивления дросселя, т. е. к стабилизации тока в сварочной цепи.

Контур контроля напряжения сварки предназначен для предохранения силового транзистора

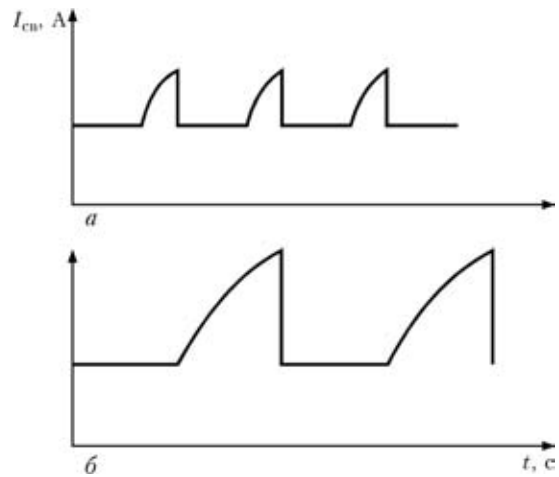


Рис. 6. Осциллограммы сварочного тока: а — $I_{св} = 240$; б — 420 А

VT1. При коротких замыканиях электрода на изделие ток сварки возрастает, что может привести к резкому увеличению частоты импульсов. Функция выключения генератора импульсов *J* может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} J &= 1 \text{ при } U \leq U^*, (U - U^*) \leq 0, \Delta U \leq 0, \\ J &= 0 \text{ при } U > U^*, (U - U^*) > 0, \Delta U > 0. \end{aligned} \quad (3)$$

На рис. 6 приведены осциллограммы сварочного тока при сварке на средних и больших токах.

Необходимо отметить, что в моменты случайных коротких замыканий транзистор *VT1* закрыт, но в сварочной цепи продолжает протекать ток, определяемый последовательно соединенными балластными резисторами *R1* и *R3*, поэтому при отрыве вольфрамового электрода от свариваемого изделия происходит возбуждение дуги.

Первоначальное возбуждение дуги осуществляется с помощью возбудителя дуги *B*. Экспериментально установлено, что для надежного возбуждения дуги необходима энергия поджигающего импульса 0,8 Дж, что значительно выше требований (0,2 Дж) для дуги в аргоне [7], последнее объясняется более высоким потенциалом ионизации гелия [8] и большими значениями приэлектродных падений напряжения в гелии [6], обусловленных более высокими энергетическими характеристиками сварочной дуги в гелии [4, 6].

Установка прошла проверку при изготовлении медных кристаллизаторов ЭШП на ГП «УкрНИИ-металлургмаш» (г. Славянск, Донецкой области). Ее отличают надежность в работе и хорошие сварочно-технологические характеристики. Необходимо отметить, что в качестве кабеля управления при выбранной схеме установки используется обычный трехжильный кабель сечением $3 \times 4 \text{ мм}^2$, что позволяет легко транспортировать выносные блоки, смонтированные в виде тележек, по цеху. Оснащение установки горелками с длиной шлангового пакета 8 м позволило сваривать верхние



швы на кристаллизаторе высотой 2870 мм без подъема выносного блока.

Выводы

1. Для сварки ТИГ в гелии массивных изделий целесообразно применять двухпостовые установки, имеющие общий источник питания, что снижает их стоимость, повышает производительность изготовления свариваемого изделия и уменьшает энергозатраты на подогрев.

2. Стабилизация усредненного интегрального значения импульсного тока при сварке меди неплавящимся электродом в гелии осуществлена путем изменения частоты импульсов сварочного тока, формируемых силовым транзистором, что позволяет изменять индуктивное сопротивление дросселя, включенного последовательно в сварочную цепь, не меняя его индуктивности.

3. Для эффективного возбуждения дуги при сварке меди вольфрамовым электродом в гелии энергия поджигающего импульса должна быть не менее 0,8 Дж.

4. Благодаря размещению транзисторного генератора импульсов в выносном блоке, а токо-

ограничивающего балластного резистора и дросселя в источнике питания уменьшается масса и габариты выносного блока, что позволяет обойтись без дистанционного управления источником питания, увеличивает мобильность выносного блока.

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавления / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
2. *Лычко И. И., Илюшенко В. М., Алексеев А. П.* Электрошлаковая сварка толстолистовой меди // Автомат. сварка. — 1967. — № 10. — С. 80–83.
3. *Vennekens R., Shevers A. A.* Plasma MIG welding of copper alloys // Weld. and Metal Fabr. — 1977. — 45, № 4. — P. 227–235.
4. *Сварка в машиностроении: Справочник* / Под ред. А. И. Акулова. — М.: Машиностроение, 1978. — Т. 2. — 462 с.
5. *Гуревич С. М.* Справочник по сварке цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1981. — 607 с.
6. *Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н.* Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989. — 263 с.
7. *Белинский С. М., Каганский Б. А., Темкин Б. Я.* Оборудование для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. — Л.: Энергия, 1975. — 100 с.
8. *Свойства элементов* / Под ред. Г. В. Самсонова. — М.: Металлургия, 1976. — 598 с.

The two-post machine has been developed for TIG welding of copper in helium atmosphere. The machine consists of the main unit, i.e. power supply, and two remote units powered from voltage of 3x36 V and having an independent antifreeze cooling system. In welding of copper, the machine provides independent regulation of the welding current for each post, stabilisation of the welding current, reliable and quick ignition of the arc, and its stable burning in helium.

Поступила в редакцию 26.04.2007



XII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СВАРКА-2008

24–27 июня 2008

г. Нижний Новгород

Выставка проводится одновременно со специализированной выставкой «Машиностроение. Станки. Инструменты».

Организатор: ЗАО «Нижегородская ярмарка»
тел. (831) 277-54-96, факс: 277-55-86, 277-66-89
E-mail: kaa@yarmarka.ru; levin@yarmarka.ru

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРАМВАЙНЫХ РЕЛЬСОВ

Я. П. ЧЕРНЯК, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Оценены триботехнические характеристики металла, наплавленного порошковыми проволоками аустенитного (ПП-АН202) и ферритного (ПП-АН203) классов, и стали М76. Установлено, что при сухом трении скольжения металла по металлу наилучшим комплексом эксплуатационных свойств отличается наплавленный металл аустенитного класса, способный к тому же упрочняться в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковые проволоки, триботехнические характеристики, износостойкость, восстановление трамвайных рельсов

В процессе эксплуатации трамвайных колес и рельсов, работающих в паре, в основном изнашиваются внутренние боковые поверхности головки или губы рельсов. Наиболее интенсивно процесс изнашивания происходит на криволинейных участках пути, где обычно устанавливаются желобчатые рельсы, срок эксплуатации которых в зависимости от интенсивности движения составляет 5–8 лет.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология восстановления рельсов непосредственно в пути [1], что значительно сокращает расходы на их эксплуатацию. Это стало возможным благодаря созданию новых порошковых проволок аустенитного (ПП-АН202) и ферритного (ПП-АН203) классов для наплавки трудносвариваемых высокоуглеродистых сталей без подогрева.

Требования, которые предъявляются к трамвайным рельсам, весьма противоречивы. Так, они должны иметь достаточную прочность, повышающуюся по мере увеличения площади поперечного сечения, и в то же время из соображений экономичности целесообразно добиваться снижения массы рельса. Для улучшения сцепления колес с рельсом поверхность катания должна быть достаточно шероховатой, хотя для уменьшения сопротивления движению она должна быть гладкой. Для лучшего сопротивления изгибу необходима жесткость рельса, а для снижения ударно-динамического воздействия колес — гибкость. Металл рельсов должен быть твердым, чтобы противостоять смятию и истиранию, но при этом вязким, чтобы не было изломов [2].

Определив характеристики износостойкости разработанных электродных материалов, можно в первом приближении оценить их работоспособ-

ность, не прибегая к длительным и дорогостоящим эксплуатационным испытаниям. С этой целью проведены исследования триботехнических характеристик металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-АН202, ПП-АН203, и стали М76, применяемой для изготовления трамвайных рельсов и колес.

Для оценки износостойкости и фрикционных свойств наплавленного металла использовали универсальный узел машины трения, предназначенный для лабораторно-экспериментальной оценки триботехнических характеристик пар трения при комнатной температуре [3]. Испытания проводили методом истирания лунок по схеме вал–плоскость без дополнительной подачи смазки в зону трения. Образцы для испытаний, вырезанные из верхних валиков наплавленного металла, имели размер 3×20 мм. Контртело диаметром 40 мм и шириной 12 мм изготовлено из стали М76, имеющей твердость *НВ* 180. При испытаниях образца определяли его износ по объему вытертой лунки, износ контртела — по разнице его массы до и после испытания, а также силу трения между образцом и контртелом.

По результатам предварительных экспериментов выбран следующий режим испытаний: скорость скольжения 0,06 м/с, нагрузка 29,5 Н, продолжительность испытания после приработки 35 мин. Такой режим обеспечивал стабилизацию триботехнических характеристик всех исследуемых металлов. Использование системы позиционирования образцов позволило повторять испытания каждого образца не менее трех раз на новом участке поверхности трения образца и новой дорожке трения контртела.

Образцы вырезали из металла, наплавленного модельными порошковыми проволоками ПП-Нп-ОП1, ПП-Нп-ОП2 диаметром 2,6 мм (таблица) на режимах, обеспечивающих хорошее формирование валиков непосредственно при наплавке рельсов (ток 400...450 А, напряжение 24...26 В, ско-



Химический состав (мас. %) рельсовой стали М76 и металла, наплавленного экспериментальными проволоками

Материал (марка проволоки)	C	Si	Mn	Cr	Ni+Mo+V	Ti
Основной металл (сталь М76)	0,780	0,20	1,00	—	—	—
Наплавленный металл:						
аустенитный (ПП-Нп-ОП1)	0,450	1,28	1,10	—	1,31	2,55
ферритный (ПП-Нп-ОП2)	0,504	0,45	10,04	9,82	2,15	—

рость наплавки не менее 30 м/ч). Экспериментальные проволоки обеспечивали состав металла, аналогичный получаемому при однослойной наплавке рельсов из стали М76 проволоками ПП-АН202 (ПП-Нп-ОП1) и ПП-АН203 (ПП-Нп-ОП2). Образцы стали М76 вырезали из головки трамвайного рельса.

Проанализировав полученные результаты, представленные на рис. 1–3, можно заключить, что наиболее высокие показатели износостойкости имеет металл аустенитного класса, наплавленный порошковой проволокой ПП-Нп-ОП1. Износ контртела при его испытании минимальный.

Износостойкость металла ферритного класса, наплавленного проволокой ПП-Нп-ОП2, близка к износостойкости рельсовой стали М76. Однако износ контртела в паре с образцом наплавленного металла в 4...5 раз меньше, чем контртела в паре с образцом из стали М76. Можно предположить, что при использовании для наплавки проволоки ПП-АН203 износостойкость восстановленных деталей из стали М76, работающих при трении металл по металлу, будет на уровне новых, при этом существенно уменьшится износ сопряженной детали.

Результаты исследований свидетельствуют об отсутствии прямой зависимости между коэффициентом трения и износостойкостью. С точки зрения улучшения сцепления трамвайных колес и рельсов наилучший результат дает наплавленный металл аустенитного класса, полученный с использованием порошковой проволоки ПП-Нп-ОП1, поскольку имеет наибольший коэффициент трения в паре с металлом из стали М76.

Сравнение поверхностей трения после испытаний показало, что существенных отличий между образцами из стали М76 и наплавленными проволоками ферритного класса нет. Поверхности износа имеют глубокие царапины (рис. 4, а, б). Шероховатость поверхностей, измеренная шуповым оптико-механическим профилометром, составляет 50...60 мкм.

На образцах, наплавленных проволокой аустенитного класса ПП-Нп-ОП1 и имеющих высо-

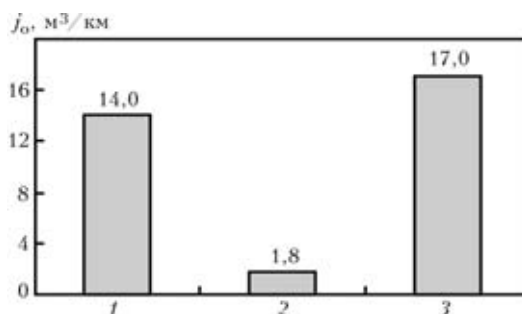


Рис. 1. Износостойкость образцов из стали М76 (1), наплавленного металла аустенитного (2) и ферритного (3) классов в паре с контртелом из стали М76

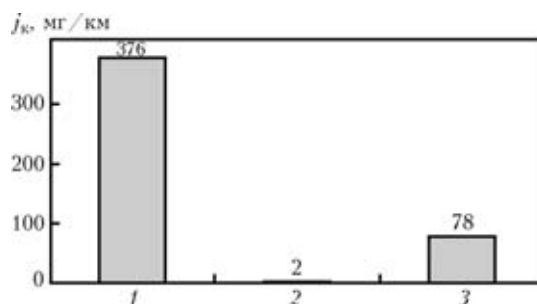


Рис. 2. Износостойкость контртела j_k : 1 — М76+М76; 2 — М76+аустенитный металл; 3 — М76+ферритный металл

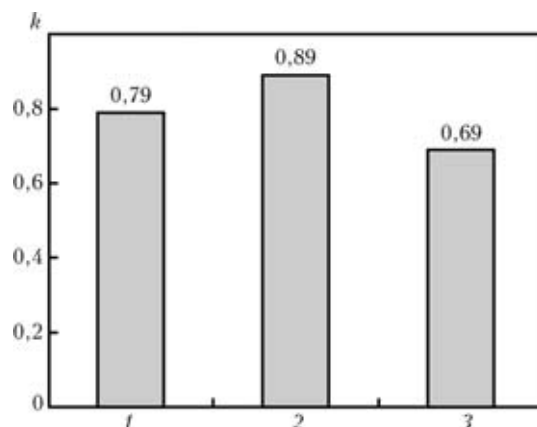


Рис. 3. Коэффициенты трения контртела из стали М76+М76 (1), М76+аустенитный металл (2) и М76+ферритный металл (3)

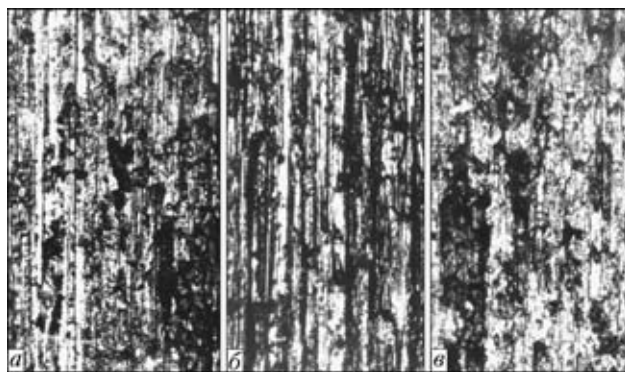


Рис. 4. Вид (X80) поверхности трения образцов из стали М76 (а), наплавленного металла ферритного (б) и аустенитного (в) классов

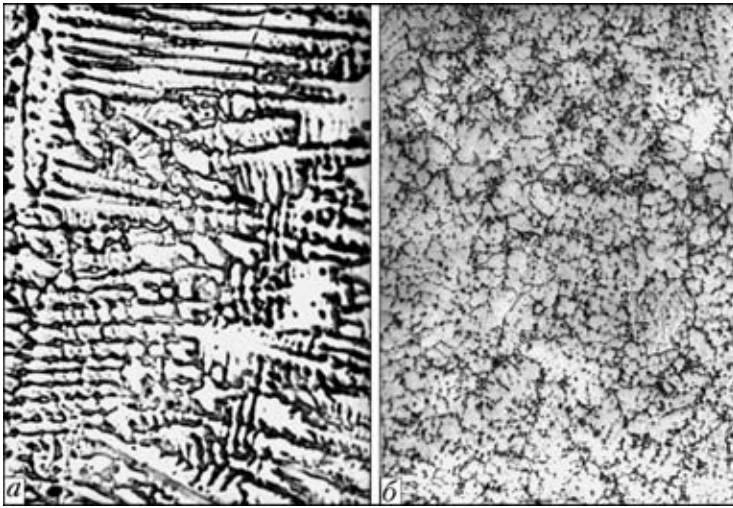


Рис. 5. Микроструктура ($\times 500$) металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-ОП1 (а) и ПП-Нп-ОП2 (б)

кую износостойкость, обнаружено минимальное количество царапин на поверхности трения (рис. 4, в), а их шероховатость — на уровне 5...10 мкм.

Исследования показали, что металл, наплавленный проволокой ПП-Нп-ОП1, имеет аустенитную структуру (рис. 5, а), а проволокой ПП-Нп-ОП2 — ферритную структуру с включениями мелких карбонитридов титана (рис. 5, б).

Tribotechnical characteristics of the metal deposited with flux-cored wire of austenitic (PP-AN202), and ferritic (PP-AN203) classes and steel M76 have been evaluated. It is established that at dry friction at metal sliding over metal the best set of service properties is found in the deposited metal of the austenitic class, which is, moreover, capable of strengthening during operation.

Твердость аустенитного наплавленного металла составляет $HV\ 200...230$, но под действием ударных нагрузок при эксплуатации рельсов она возрастает до $HV\ 500...530$. Ферритный наплавленный металл имеет твердость $HV\ 170...195$ и после воздействия ударных нагрузок ее значения не изменяются. Возможно, более высокая износостойкость аустенитного наплавленного металла объясняется способностью упрочняться в процессе эксплуатации.

Таким образом, исследования трибо-технических характеристик при сухом трении скольжения металла по металлу показали, что наилучшим комплексом свойств отличается наплавленный металл аустенитного класса. Возможной причиной более высокой износостойкости аустенитного металла является его способность к упрочнению в процессе эксплуатации.

1. Каленский В. К., Черняк Я. П., Прутула С. И. Восстановительная наплавка изношенных трамвайных рельсов // Сварщик. — 1999. — № 2. — С. 5.
2. Сосянц В. Г. Городские рельсовые пути и дороги. — М.: Стройиздат, 1965. — 335 с.
3. Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В. Блочно-модульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–19.

Поступила в редакцию 13.06.2007

ПЕРЕНОСНЫЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ АГРЕГАТЫ ТЕМП-НВ И ТЕМП-НВ-М

Совместная разработка ИЭС им. Е. О. Патона и МНТЦ «ТЕМП»

Агрегаты обеспечивают эффективное удаление вредных веществ, образующихся при сварке, из труднодоступных мест и замкнутых объемов (трюмов судов, цистерн, емкостей и т.п.), используются также для подачи чистого воздуха в рабочую зону при проведении сварочных работ. Могут работать в полевых условиях от бортовой сети автомобиля или других источников питания от 14 до 24 В без преобразователя. Производительность удаления воздуха ПВА ТЕМП-НВ — не менее $1500\text{ м}^3/\text{ч}$, ТЕМП-НВ-М — $3500\text{ м}^3/\text{ч}$, масса — 16 кг.



Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 60
Тел.: (38044) 287 12 77; факс: (38044) 528 04 86
E-mail: levchenko.o@paton.kiev.ua



САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **О. Г. ЛЕВЧЕНКО**, д-р техн. наук, **А. В. БУЛАТ**, канд. техн. наук,
О. Н. БЕЗУШКО, **В. И. САМОЙЛЕНКО**, **В. В. МИСЕЧКО**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследований гигиенических характеристик аэрозолей, образующихся при сварке покрытыми электродами высоколегированных хромоникелевых сталей. Показано, что они определяются содержанием легирующих элементов в стержне и покрытии электродов, видом электродного покрытия, способом раскисления-легирования металла шва и составом газошлакообразующей основы покрытия. Изменив эти факторы, можно снижать уровень выделений и токсичность сварочных аэрозолей.

Ключевые слова: дуговая сварка, высоколегированные стали, покрытые электроды, сварочные аэрозоли, химический состав, токсичность

Дуговая сварка высоколегированных хромоникелевых сталей характеризуется загрязнением воздуха рабочей зоны сварочными аэрозолями (СА), содержащими вредные для организма человека вещества различных классов опасности (ГОСТ 12.1.005–88): I — шестивалентный хром и никель; II — марганец и фториды растворимые; III — трехвалентный хром и фториды нерастворимые. Минимизация выделений СА и наиболее токсичных компонентов в их составе является актуальной задачей, которую необходимо решать как на стадии разработки новых сварочных электродов, так и в процессе их использования.

Настоящая работа посвящена гигиенической оценке известных и новых марок покрытых электродов, предназначенных для сварки высоколегированных сталей, а также поиску способов снижения токсичности СА.

Отбор проб СА для гигиенической оценки электродов осуществляли в процессе наплавки валиков исследуемыми электродами на пластины из стали X18N10T. В качестве источника питания сварочной дуги использовали выпрямитель ВДУ-504. Наплавку выполняли постоянным током обратной полярности на оптимальных режимах. Улавливание СА осуществлялось с помощью специального укрытия, изолирующего зону сварки. При этом, согласно методическим указаниям [1, 2], СА осаждались на фильтры из ткани ФПП-15-1,5 при оценке уровней выделений и на фильтры АФА-ХА-18 для последующего химического анализа проб СА. Массу выделяющихся СА и их компонентов определяли весовым методом. Для этого отбирали не менее пяти проб СА. Резуль-

таты исследований подвергали статистической обработке [3].

Уровень выделений СА определяется двумя показателями: интенсивностью их образования V_a (г/мин) и их удельным выделением G_a (г/кг). Токсичность СА рассчитывали по методике МИС [4, 5] с использованием такого показателя, как предельно допустимая концентрация СА TLV_f (мг/м³):

$$TLV_f = \frac{100}{\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_i}{TLV_i}}$$

где C_1, C_2, \dots, C_i — содержание 1-го, 2-го, ..., i -го компонентов в СА, мас. %; $TLV_1, TLV_2, \dots, TLV_i$ — предельно допустимая концентрация этих компонентов в воздухе рабочей зоны (показатель токсичности), мг/м³. Отметим, что с увеличением TLV_f токсичность СА снижается. В качестве общего критерия уровня выделения СА и их токсичности использовали такой показатель, как номинальное гигиеническое требование к воздухообмену NHL (м³/ч):

$$NHL = V_a / TLV_f$$

В соответствии с методическими указаниями [2] наличие в составе СА веществ, содержащих марганец, никель, титан, представлено в виде химических элементов, соединений хрома в пересчете на CrO_3 и Cr_2O_3 , и фторидов растворимых $F_{\text{раств}}$ и нерастворимых $F_{\text{нераств}}$ в пересчете на фтор. В связи с тем, что указанная в [2] методика не позволяет определить содержание всех компонентов СА, для приведения их состава к 100 % сделано следующее допущение: кроме выявленных компонентов, остаток СА представляют собой оксиды железа.

Таблица 1. Конструктивные особенности покрытия электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных коррозионностойких сталей и соединений разнородных сталей

Марка электрода (диаметр, мм)	Тип электрода (ГОСТ 10052-75)	Вид электродного покрытия (ГОСТ 9466-75)	Способ раскисления-легирования металла шва	Газошлакообразующая основа покрытия
ОЗЛ-6 (3) АНВ-70Б (3) АНВ-70Б (4) FOX FF (4) FOX FFA (4)	Э-10Х25Н13Г2	Основной » » » Рутил-основной	Через электродный стержень и покрытие	CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ TiO ₂ -CaF ₂ -CaCO ₃
АНВ-66 (3) АНВ-66 (4) НИИ-48Г (4)	Э-10Х20Н9Г6С	Основной	Хромом и никелем через стержень и покрытие, марганцем через покрытие хромом, никелем и марганцем через стержень	CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃
АНВ-17у (3) АНВ-17 (3) НЖ-13 (3) ЭА-400/10у (3)	Э-02Х19Н18Г5АМ3 Э-02Х19Н18Г5АМ3 Э-09Х19Н10Г2М2Б Э-07Х19Н11М3Г2Ф	Рутил-основной » Основной »	Через электродный стержень » »	TiO ₂ -CaF ₂ -Cr ₂ O ₃ TiO ₂ -CaF ₂ -Cr ₂ O ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃
АНВ-65у (3) ЦЛ-11 (3) INOX В 19/9Nb (3,25)	Э-08Х20Н9Г2Б	Основной » Рутил-основной	Через электродный стержень и покрытие	CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ TiO ₂ -CaF ₂ -CaCO ₃
ОЗЛ-8 (3) АНВ-57 (3) АНВ-29 (3)	Э-07Х20Н9	Основной » Рутил-основной	Через электродный стержень и покрытие Через электродное покрытие Через электродный стержень и покрытие	CaF ₂ -CaCO ₃ CaF ₂ -CaCO ₃ TiO ₂ -CaF ₂ -CaCO ₃

Примечание. Электроды НЖ-13 и ЭА-400/10у по своему назначению аналоги электродов АНВ-17.

Для удобства интерпретации результатов исследований характеристики электродов, приведенные в табл. 1, разделены по типу наплавленного металла, виду газошлакообразующей основы покрытия и способу раскисления-легирования металла шва.

Результаты определения химического состава, интенсивности и удельных выделений СА (табл. 2-4) показали, что суммарное содержание трех- и шестивалентного хрома, никеля, марганца и фторидов в составе СА повышается с увеличением содержания указанных элементов в составе электродов. Вместе с тем обнаружено, что, чем больше в наплавленном металле и соответственно в СА марганца (III класс опасности), тем меньше в составе СА канцерогенного шестивалентного хрома (I класс опасности). Это, по-видимому, можно объяснить восстанавливающим действием марганца по реакции: $CrO_3 + 3Mn \rightarrow Cr_2O_3 + 3MnO$. На примере электродов АНВ-17 и АНВ-17у видно, что при легировании металла шва марганцем только через электродный стержень, его содержание в СА достигает максимальных значений (соответственно 6,50 и 6,82 мас. %), а шестивалентного хрома — минимально (1,56 мас. %).

Анализ полученных результатов показал (табл. 2-4), что на уровень выделения фторидов существенное влияние оказывает вид электродного покрытия: у электродов с покрытием рутил-основного вида содержание фторидов, особенно нерастворимых, снижается. Например, при сварке электродами АНВ-2у, АНВ-17у, АНВ-17 содержание нерастворимых фторидов и показатели уровня их выделений минимальны.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) СА

Марка электрода (диаметр, мм)	CrO ₃	Cr ₂ O ₃	Mn	Ni	F _{раств}	F _{нераств}
ОЗЛ-6 (3)	4,01	4,30	2,36	0,90	5,57	4,50
АНВ-70Б (3)	4,23	6,53	3,10	0,50	5,83	4,90
АНВ-70Б (4)	—	—	—	—	—	—
FOX FF (4)	4,35	2,95	1,71	0,36	6,23	5,60
FOX FFA (4)	8,07	2,52	1,86	2,52	5,36	0,24
АНВ-66 (3)	3,45	4,52	4,16	0,50	6,96	3,41
АНВ-66 (4)	—	—	—	—	—	—
НИИ-48Г (4)	4,65	0,47	5,14	1,73	6,50	6,25
АНВ-17у (3)	1,56	4,40	6,50	1,70	5,23	1,26
АНВ-17 (3)	1,56	4,65	6,82	3,40	4,01	2,73
НЖ-13 (3)	5,23	1,68	2,42	1,83	4,43	5,86
ЭА-400/10у (3)	3,92	2,40	4,14	1,44	4,41	5,59
АНВ-65у (3)	3,56	4,66	3,86	0,50	6,21	4,67
ЦЛ-11 (3)	4,61	2,49	2,93	2,44	4,77	4,87
INOX В 19/9Nb (3,25)	5,10	1,32	2,84	1,43	6,27	3,78
ОЗЛ-8 (3)	3,80	4,25	3,30	0,49	4,94	5,70
АНВ-57 (3)	4,00	4,20	5,87	1,21	7,50	4,71
АНВ-29 (3)	2,90	4,21	4,03	1,26	5,94	1,66



Таблица 3. Интенсивность образования (г/мин) СА и их компонентов

Марка электрода (диаметр, мм)	СА	CrO ₃	Cr ₂ O ₃	Mn	Ni	F _{раств}	F _{нераств}
ОЗЛ-6 (3)	0,397	0,016	0,017	0,009	0,004	0,014	0,018
АНВ-70Б (3)	0,362	0,015	0,023	0,011	0,002	0,021	0,018
АНВ-70Б (4)	0,507	0,021	0,033	0,016	0,003	0,030	0,025
FOX FF (4)	0,458	0,020	0,014	0,008	0,0016	0,029	0,026
FOX FFA (4)	0,624	0,051	0,016	0,012	0,016	0,040	0,0015
АНВ-66 (3)	0,385	0,013	0,017	0,027	0,002	0,027	0,013
АНВ-66 (4)	0,550	0,019	0,025	0,023	0,003	0,038	0,019
НИИ-48Г (4)	0,462	0,021	0,003	0,028	0,001	0,036	0,034
АНВ-17у (3)	0,305	0,005	0,013	0,020	0,005	0,016	0,003
АНВ-17 (3)	0,369	0,006	0,017	0,025	0,013	0,015	0,010
НЖ-13 (3)	0,309	0,016	0,005	0,007	0,006	0,014	0,018
ЭА-400/10у (3)	0,343	0,013	0,008	0,014	0,005	0,015	0,019
АНВ-65у (3)	0,318	0,011	0,015	0,012	0,002	0,020	0,015
ЦЛ-11 (3)	0,257	0,012	0,006	0,007	0,006	0,012	0,013
INOX В 19/9Nb (3,25)	0,319	0,016	0,004	0,009	0,005	0,020	0,012
ОЗЛ-8 (3)	0,293	0,011	0,012	0,009	0,001	0,014	0,017
АНВ-57 (3)	0,400	0,016	0,017	0,023	0,005	0,030	0,019
АНВ-29 (3)	0,315	0,009	0,013	0,012	0,004	0,019	0,003

Таблица 4. Удельные выделения (г/кг) СА и их компонентов

Марка электрода (диаметр, мм)	СА	CrO ₃	Cr ₂ O ₃	Mn	Ni	F _{раств}	F _{нераств}
ОЗЛ-6 (3)	17,16	0,68	0,73	0,40	0,15	0,61	0,77
АНВ-70Б (3)	13,58	0,57	0,88	0,42	0,07	0,79	0,66
АНВ-70Б (4)	13,40	0,57	0,88	0,42	0,07	0,78	0,66
FOX FF (4)	11,40	0,50	0,34	0,19	0,04	0,71	0,64
FOX FFA (4)	14,54	1,17	0,37	0,27	0,37	0,92	0,035
АНВ-66 (3)	12,98	0,45	0,59	0,93	0,06	0,90	0,44
АНВ-66 (4)	13,61	0,47	0,62	0,57	0,07	0,95	0,46
НИИ-48Г (4)	11,98	0,63	0,064	0,70	0,24	0,88	0,85
АНВ-17у (3)	10,47	0,17	0,46	0,68	0,17	0,55	0,09
АНВ-17 (3)	12,18	0,19	0,57	0,83	0,41	0,49	0,33
НЖ-13 (3)	10,63	0,56	0,18	0,26	0,19	0,47	0,62
ЭА-400/10у (3)	12,05	0,47	0,29	0,50	0,17	0,53	0,67
АНВ-65у (3)	10,81	0,38	0,50	0,42	0,05	0,67	0,50
ЦЛ-11 (3)	10,48	0,48	0,26	0,31	0,26	0,50	0,51
INOX В 19/9Nb (3,25)	11,85	0,60	0,16	0,34	0,17	0,74	0,45
ОЗЛ-8 (3)	10,44	0,40	0,44	0,34	0,05	0,52	0,59
АНВ-57 (3)	17,36	0,69	0,73	1,02	0,21	1,30	0,82
АНВ-29 (3)	11,39	0,33	0,48	0,46	0,14	0,67	0,06

Применение электродов одной и той же марки, но большего диаметра, а также увеличение сварочного тока приводят к более интенсивному образованию СА (см. табл. 2, электроды АНВ-70Б и АНВ-66 диаметром 3 и 4 мм).

Анализ результатов оценки токсичности СА по показателю TLV_f (табл. 5) показал, что для различных марок электродов его значения изменяются от 0,10 до 0,35 мг/м³. Максимальную токсичность имеют СА, образующиеся при сварке электродами марки FOXFFA ($TLV_f = 0,10$ мг/м³), а минимальную — электродами АНВ-17у и АНВ-17 ($TLV_f = 0,35$ мг/м³). Исходя из состава наплавленного металла это объясняется,

во-первых, более низким содержанием хрома в составе электродов АНВ-17у и АНВ-17, чем в составе электродов FOX FFA. Результаты химического анализа (см. табл. 2) подтверждают, что и в составе СА, образующихся при использовании электродов АНВ-17у и АНВ-17, содержание шестивалентного хрома, влияющего на токсичность аэрозолей, минимально. Кроме того, значимой закономерностью [6], определяющей переход легирующих элементов в СА, является способ раскисления-легирования металла шва. Он заключается в том, что легирование через электродный стержень обеспечивает более низкий, чем при легировании через электродное покрытие, переход

Таблица 5. Показатели токсичности TLV_f СА и воздухообмена NHL

Марка электрода (диаметр, мм)	TLV_f , мг/м ³	NHL , м ³ /ч
ОЗЛ-6 (3)	0,20	1780
АНВ-70Б (3)	0,20	1840
АНВ-70Б (4)	0,20	2570
FOX FF (4)	0,20	2340
FOX FFA (4)	0,10	5670
АНВ-66 (3)	0,20	1670
АНВ-66 (4)	0,20	2390
НИИ-48Г (4)	0,15	2700
АНВ-17у (3)	0,35	820
АНВ-17 (3)	0,35	1110
НЖ-13 (3)	0,15	1920
ЭА-400/10у (3)	0,20	1680
АНВ-65у (3)	0,20	1410
ЦЛ-11 (3)	0,15	1480
INOX В 19/9Nb (3,25)	0,15	1930
ОЗЛ-8 (3)	0,20	1340
АНВ-57 (3)	0,20	2060
АНВ-29 (3)	0,25	1220

указанных элементов в СА. При использовании электродов АНВ-17у и АНВ-17 легирование металла шва осуществляется через стержень, а FOX FFA — через стержень и покрытие.

Поскольку электроды одной марки, например АНВ-66, разных диаметров (3 и 4 мм) имеют одинаковый показатель токсичности TLV_f (табл. 5), но различные показатели уровней выделений V_a и G_a , то для более корректной сравнительной гигиенической оценки целесообразно пользоваться обобщенным показателем токсичности и уровня выделений СА — NHL [4, 5]. Поэтому этот показатель (табл. 5) для электродов одной марки (АНВ-66) диаметром 3 мм составляет 1670 м³/ч, а при диаметре 4 мм имеет более высокое значение — 2390 м³/ч. Для электродов АНВ-17у и АНВ-17, имеющих одинаковую относительную токсичность ($TLV_f = 0,35$ мг/м³), показатель NHL меньше для электродов первой марки (1110 м³/ч), чем для второй (820 м³/ч).

Таким образом, учитывая все гигиенические показатели изученных электродов, можно сделать вывод, что среди испытанных электродов лучшими гигиеническими характеристиками отличаются электроды типа АНВ-17у.

Results of investigation of hygienic characteristics of aerosols forming in coated-electrode welding of high-alloy chromium-nickel steels are presented. It is shown that they are determined by the content of alloying elements in the electrode rod and coating, type of electrode coating, method of deoxidizing-alloying of weld metal and composition of gas-slag forming base of the coating. By changing these factors it is possible to lower the level of evolutions and toxicity of welding aerosols.

Выводы

1. Новые электроды марок АНВ-17у, АНВ-65у, АНВ-70Б и АНВ-66 по гигиеническим характеристикам находятся на уровне лучших отечественных и зарубежных аналогов.

2. При сварке высоколегированных хромоникелевых сталей наилучшими гигиеническими характеристиками отличаются электроды с покрытием рутил-основного вида при легировании металла шва через стержень.

3. Повышение массовой доли марганца в составе электродных стержней способствует снижению в СА содержания канцерогенного шестивалентного хрома (I класс опасности), что обусловлено его восстановлением марганцем до трехвалентного состояния (III класс опасности).

4. С увеличением диаметра электродов и соответственно сварочного тока интенсивность образования СА повышается.

5. Выбор и разработка новых марок электродов для сварки высоколегированных сталей должны осуществляться на основе обязательной первичной гигиенической оценки по методике МИС с учетом показателей химического состава, уровней выделений и токсичности образующихся СА.

6. Обязательными условиями применения электродов для сварки высоколегированных хромоникелевых сталей является наличие систем местной и общеобменной механической вентиляции. Приведенные результаты гигиенической оценки электродов следует учитывать при выборе и расчете производительности систем вентиляции.

1. МУ 1927–78. Методические указания. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
2. МУ 4945–88. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
3. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Пер. с англ. В. С. Занадворова; под ред. Е. М. Четыркина. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 344 с.
4. Criteria for classification of MMA welding electrodes regarding fume. — S.I., S.a. — 13 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-E-820–77; Doc. II-E-256–78).
5. Magnusson E. J., Rosendahl C. H. Studies of the possibilities of classifying welding electrodes according to fume generation. — S.I., S.a. — 7 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-E-301–80).
6. Головатюк А. П., Липодаев В. Н., Захаров Л. С. Сравнительная гигиеническая оценка электродов для сварки высоколегированных сталей // Автомат. сварка. — 1976. — № 3. — С. 61–63.

Поступила в редакцию 12.06.2007



РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СВАРКИ ШАРОВЫХ КРАНОВ В СМЕСИ ГАЗОВ Ar + CO₂

В. М. ИЛЮШЕНКО, Г. А. БУТАКОВ, кандидаты техн. наук, А. В. ГАНЧУК, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описан робототехнологический комплекс для сварки шаровых кранов, в состав которого входит вращатель изделия. Синхронизация работы вращателя с манипулятором робота РМ-01 обеспечена средствами системы управления «Сфера-36». Комплекс прошел испытания в ИЭС им. Е. О. Патона.

Ключевые слова: дуговая сварка, робототехнологический комплекс, вращатель изделия, система управления, шаровой кран

При изготовлении шарового крана необходимо выполнение пяти кольцевых швов. При серийном производстве кранов ручные способы сварки не обеспечивают требуемой производительности и качества изготовления конструкции. Так как соединения находятся в различных пространственных положениях, а технология предполагает выполнение сварки с колебаниями дуги поперек стыка с небольшой амплитудой, целесообразно применение роботизированных технологических комплексов. В настоящее время на предприятиях имеется достаточно большое количество сварочных роботов РМ-01 с системой управления «Сфера-36». Недостатком данного типа роботов является отсутствие возможности круговой интерполяции. Однако в данном случае этот недостаток несуществен, так как выполнение сварки предполагается с ориентацией поверхностей деталей под углом 45° к сварочному инструменту с вращением самого изделия (сварка «в лодочку»), при этом горелка находится в фиксированном пространственном положении и выполняет колебания поперек стыка с амплитудой 1,5 мм и частотой 3 Гц.

Манипулятор изделия (вращатель) оснащен зажимом патронного типа. Вращение обеспечивается двигателем постоянного тока мощностью 250 Вт. Скорость вращения регулируется и устанавливается вручную перед началом сварки.

Согласование моментов начала и окончания сварки с включением и выключением вращения изделия обеспечивается через систему управления роботом. В качестве датчика углового положения изделия используется индуктивный датчик типа TSL. Для этого на вал двигателя вращателя изделия установлен металлический диск с четырьмя прорезями. При прохождении лопасти диска в зоне чувствительности индуктивного датчика вырабатывается импульсный сигнал, который посту-

пает на инициативный вход системы управления роботом и обрабатывается как сигнал прерывания. Частота следования импульсов прямо пропорциональна скорости вращения вала двигателя вращателя, а их количество — углу поворота изделия относительно точки начала сварки. При коэффициенте передачи понижающего редуктора от вала двигателя к зажимному патрону (64/1) количество импульсов на полный оборот составляет 256, т. е. ошибка в определении углового положения не более 1,4°. Наибольший диаметр кольцевого шва в данной конструкции крана 60 мм. Таким образом, погрешность определения линейного перемещения не превышает 0,75 мм, что обеспечивает требуемую точность для выполнения заданного значения перекрытия. При накоплении заданного количества импульсов, соответствующего повороту изделия на 365° (5° — перекрытие), система управления робота выключает сварку, останавливает вращатель и отводит сварочный инструмент от изделия в исходное положение. Структурная схема системы «вращатель изделия — «Сфера-36» приведена на рис. 1.

Сварка шарового крана выполняется в следующем порядке (рис. 2): сварка фланцев *A* с вкладными трубками *B* (швы № 1); сборка крана и свар-

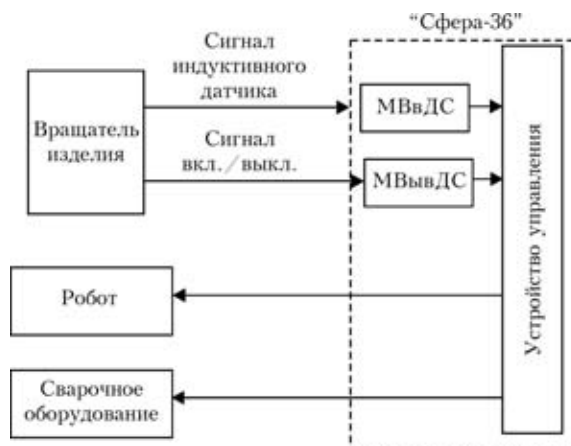


Рис. 1. Структурная схема системы «вращатель изделия — «Сфера-36» (МВвДС, МВывДС — соответственно модуль ввода и вывода дискретных сигналов)

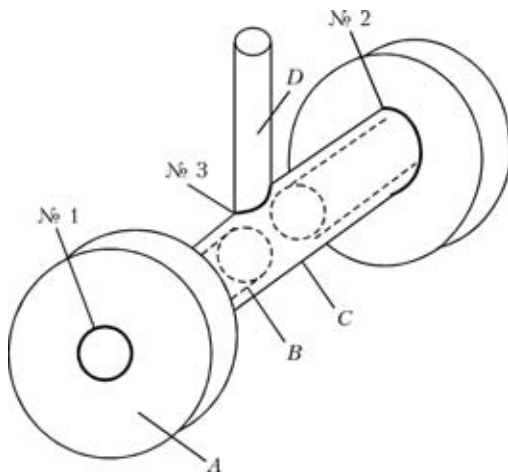


Рис. 2. Схематическое изображение шарового крана и мест соединения в нем

ка поочередно швов № 2 (сварка фланцев *A* с корпусной трубкой *C*); вварка запорного механизма *D* в корпусную трубку *C* (шов № 3).

Наибольшие трудности при роботизированной сварке вызывает выполнение шва № 3. Линия стыка представляет собой сложную пространственную кривую — пересечение двух цилиндров разного диаметра. Как уже отмечалось выше, робот РМ-01 обеспечивает только линейную интерполяцию при движении от точки к точке. Поэтому на траектории стыка № 3 выбирали для обучения 12 равноотстоящих точек и применяли линейную интерполяцию при движении от точки к точке. При сварке с колебаниями поперек линии стыка ошибка при движении по линейно интерполиро-



Рис. 3. Внешний вид соединения вкладной трубки с фланцем

ванной траектории на конечном результате практически не сказывается.

В комплектации робототехнологического комплекса использовано следующее сварочное оборудование: источник питания ВД-506 ДК, механизм подачи электродной проволоки ПДГО-511 со сварочной горелкой фирмы «Vincel», устройство местного отсоса дыма «Фильтр-200». Сварку всех швов выполняли на одном режиме: ток 180 А, диаметр электродной проволоки 1 мм, амплитуда колебаний 1,5 мм, частота колебаний 3 Гц, скорость сварки 12 м/ч.

Робототехнологический комплекс РМ-01 прошел испытания в ИЭС им. Е. О. Патона при сварке шаровых кранов (рис. 3) и показал приемлемое качество всех сварных швов. Время сварки одного крана примерно 10 мин.

A robotic station for welding ball cocks is described, which includes an item rotator. Synchronizing the rotator operation with PM-01 robot manipulator is provided by control means «Sphera-36». The station has been tested at the E.O.Paton Electric Welding Institute.

Поступила в редакцию 02.10.2007

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Национальный институт кораблестроения им. Адмирала Макарова

О. Н. Друзь (Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля) защитил 9 октября 2007 г. кандидатскую диссертацию на тему «Регулирование свойств сварного соединения с помощью комплексной защитной среды».

Диссертация посвящена вопросу регулирования размеров зоны пластических деформаций, ЗТВ, геометрии сварного шва, уровня остаточных деформаций, свойств сварного соединения с помощью использования комплексной защитной среды (КЗС). В работе рассмотрена возможность использования КЗС в виде дисперсной системы

в качестве хладагента и в качестве защитной среды. Исследованы сварочно-технологические свойства КЗС, состоящей из 25...10 % водного раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) и 75...90 % газа-наполнителя. В качестве ПАВ использовано вещество «ПЕГАС» (ГОСТ 3789-98), содержащее олеинсульфонат натрия — 1,5 %, ингибиторы коррозии (дву- и трехзамещенные фосфаты натрия) — 0,2...0,4 %, карбамиды — 16 %. В качестве газа-наполнителя использовали воздух, CO₂, Ar, O₂, их смеси. В раствор ПАВ вводили водорастворимые минералы NaCl, KCl, KCl·NaCl, CaCl₂, Na₂CO₃, K₂CO₃ с целью повышения устойчивости дуги.



На основе диспергированного аппарата Л. В. Иванова разработано оборудование для получения КЗС и оснастка для сварки в КЗС.

Для выбора оптимального состава КЗС использован комплексный показатель качества по ГОСТ 15467–79 с применением коэффициентов весомости каждого показателя сварочно-технологической характеристики КЗС.

Исследование свойств КЗС показало возможность ее использования в качестве эффективного хладагента за счет наличия в ее составе жидкой фазы. При этом скорость охлаждения металлической пластины с размерами 300×200×5 мм в интервале температур 800...500 °С составила 21...25 °С/с.

На основании экспериментальных исследований было получено уравнение коэффициента поверхностной теплоотдачи, которое было использовано для моделирования распространения тепла в пластине при сварке в КЗС с погрешностью не более 10%. Моделирование проводили при помощи пакета прикладных программ, основанных на методе конечных элементов. Экспериментально установлено, что коэффициент поверхностной теплоотдачи в КЗС находится в диапазоне от 0,006 до 0,025 Вт/(см²·°С) в зависимости от кратности.

Выявлены расчетные зависимости между свойствами сварного соединения и твердостями различных его участков. Для моделирования твердостей участков ЗТВ при сварке в КЗС была усовершенствована модель Б. Д. Лебедева, которая имела погрешность не более 2,5 %.

Разработана и исследована технология автоматической сварки в КЗС. Установлено, что КЗС является активной окислительной средой.

Охлаждающий эффект КЗС позволяет уменьшать ширину зоны пластических деформаций на 30 % при одностороннем подводе КЗС. При сварке электрозаклепок в КЗС размеры ЗТВ уменьшаются в среднем на 14 %.

Исследован эффект активации проплавляющей способности дуги. Наибольшая глубина проплавления получена при КЗС кратностью 20...30 составов: № 1 8%-й водный раствор ПАВ, газ-наполнитель — воздух и № 11 8%-й водный раствор ПАВ, газ-наполнитель — Ar. Наименьшее значение ЗТВ получено на составах: № 13 10%-й водный раствор ПАВ + 5 %-й раствор Cl, газ-наполнитель — Ar и № 5 8%-й водный раствор ПАВ + 10 % Na₂CO₃ + 10 % KCO₃, газ-наполнитель — воздух. В соответствии с классификацией сварочных дуг по В. А. Ленивкину и по максимальному значению комплексного показателя качества установлены наиболее технологичные дуги, которые получены на составах: № 16 10%-й водный раствор ПАВ + 8%-й раствор Cl, газ-наполнитель — CO₂ и № 12 100%-й водный раствор ПАВ, газ-наполнитель — Ar.

Изучены механические свойства сварных соединений, полученных при сварке в КЗС. Установлено, что свойства соединений при сварке в КЗС не уступают свойствам соединений при сварке в CO₂.

Экономический эффект от использования КЗС прогнозируется за счет уменьшения расхода защитного газа и использования эффекта активации проплавляющей способности дуги, который позволяет увеличить глубину проплавления на 20 % без изменения технологических режимов сварки, уменьшения затрат на послесварочную правку.

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ управления процессом контактной точечной сварки, отличающийся тем, что измерение падения напряжения на электродах производят при максимальном значении сварочного тока, количество выделившегося за период тепла вычисляют с учетом проведенных измерений, сравнивают вычисленное количество тепла с заданным и в соответствии с результатами сравнения изменяют угол включения тиристор в следующем периоде, причем вычисление выделившегося за период количества тепла производят по формуле. Приведена формула и условия изменения угла включения тиристор. Патент РФ 2301729. А. С. Климов, А. А. Герасимов, Н. П. Анцибаров, М. С. Гончаров [18].

Устройство для ультразвуковой сварки содержит станину, на которой установлена опора для сварки, ультразвуковую головку, содержащую помещенный в корпус ультразвуковой

преобразователь с волноводной системой, концентратор, на конце которого установлен сварочный наконечник, опору для ультразвуковой головки и устройство для создания давления. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2301731. А. А. Новик (ООО «Ультразвуковая техника-инлаб») [18].

Способ диффузионной сварки труб из разнородных материалов, отличающийся тем, что перед свинчиванием у трубы из материала, имеющего большую пластичность при температуре диффузионной сварки срезают вершину резьбовой нитки. Патент РФ 2301732. А. Н. Семенов, С. Н. Новожилов (ФГУП «НИКИ энергетики им. Н. А. Доллежала») [18].

Противопригарное покрытие для защиты поверхности свариваемых изделий и технологического оборудования от брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит лигносульфонат технический порошкообразный, декстрин и фурацилин при следующем соотношении компонен-

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



тов, г на 1 л воды: 50 лигносульфоната технического порошкообразного; 40 кальцинированной соды; 50 декстрина; 30 фурацилина; 330 мыла жидкого. Патент РФ 2301733. С. Б. Сапожков, Е. А. Зернин, Д. Е. Колмогоров [18].

Способ устранения дефектов на чистовых поверхностях деталей, отличающийся тем, что перед наплавкой производят выборку дефекта и деформирование края выборки до образования на обрабатываемой поверхности буртика высотой 0,3...0,5 мм и шириной 2...3 мм, а наплавку производят с оплавлением половины ширины буртика. Патент РФ 2302323. С. И. Башкиров, В. Ф. Букриев (ОАО НПО «Искра») [18].

Автономный тигель для термического сварочного аппарата, отличающийся тем, что он содержит контейнер с верхним отверстием, плавким дном и облицованными жаростойким материалом боковыми стенками, экзотермический сварочный материал, расположенный в контейнере, воспламенитель, установленный выступающим внутрь контейнера с возможностью воспламенения сварочного материала, крышку, связанную с контейнером, и уплотнение крышки для предотвращения загрязнений сварочного материала, установленное по верхнему отверстию контейнера. Патент РФ 2302325. М. Э. Инг, Д. Т. Мур, Д. Флейхерти (Эрико Интэрнэшнл Корпорэйшн, США) [19].

Состав сварочной проволоки для сварки коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов на никелевой основе, отличающийся тем, что он дополнительно содержит кальций и церий при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,005...0,03 углерода; 0,10...0,30 кремния; 1,8...6,5 марганца; 18,0...22,0 хрома; 2,0...3,5 ниобия; 3,0...6,0 молибдена; 0,8...3,0 вольфрама; 0,001...0,1 кальция; 0,001...0,1 магния; 0,005...0,1 иттрия; 0,005...0,1 церия; остальное никель и примеси. Патент РФ 2302326. Г. П. Карзов, Э. И. Михалёва, Д. Э. Воловельский и др. (ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей») [19].

Электрод для сварки хладостойких низколегированных сталей, включающий стержень из проволоки марки Св-08А и электродное покрытие, отличающийся тем, что электродное покрытие дополнительно содержит диоксид титана и сурик железный при следующем соотношении компонентов, мас. %: 34...52 мрамора; 9...25 плавикового шпата; 6...15 кварцевого песка; 3...15 диоксида титана; 3...15 ферросилиция; 3...15 ферромарганца; до 5 сурика железного; 23...28 жидкого стекла натриевого (к массе сухой смеси). Патент РФ 2302327. В. А. Малышевский, А. В. Баранов, В. П. Леонов и др. (То же) [19].

Сварочный аппарат, отличающийся тем, что вход блока поджига дуги через разделительный конденсатор подключен к силовым выводам одного из ключей мостового инвертора, датчик исправности сети, предназначенный для контроля напряжения на входе мостового инвертора, подключен параллельно входу мостового инвертора, драйверы ключей мостового инвертора выполнены с возможностью обеспечения противофазной коммутации пар ключей каждого из его полумостов при постоянной частоте коммутации с фазовым сдвигом импульсов прямоугольной формы. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2302931. Ю. Ю. Ким, С. О. Кириков (Научно-исследовательская компания «ФАСТ») [20].

Способ изготовления припоя, отличающийся тем, что сначала смешивают серебро, медь и олово, добавляют к ним флюс на основе органических соединений и нагревают расплавленную смесь до температуры 600...800 °С, после чего

в расплав вводят флюс на основе солевых систем и германий, выдерживают полученный расплав при указанной температуре в течение 5...10 мин, перемешивая его, а затем охлаждают со скоростью не менее 10 °С/с, при этом количество компонентов выбирают из условия получения припоя, содержащего, мас. %: 1,5...3,5 серебра; 0,4...1,0 меди; 0,1...0,2 германия; остальное — олово. Патент РФ 2302932. Б. Н. Перевезенцев, М. Н. Курмаев (Тольяттинский госуниверситет) [20].

Центратор для соединения торцов труб под сварку, отличающийся тем, что устройство для закрепления конца стержня в одной из труб выполнено в виде трех шарнирных параллелограммов, равномерно закрепленных на стержне по окружности, при этом на конце нажимной трубки равномерно по ее наружному диаметру шарнирно закреплены одними концами три толкателя, соединенные шарнирно вторыми концами со звеньями параллелограммов, параллельных оси стержня. Патент РФ 2302933. А. Н. Семенов, В. П. Гордо, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев (ФГУП «НИКИ энерготехники им. Доллежала») [20].

Паяльная лампа-фонарь, отличающаяся тем, что снабжена вспомогательным топливозаборником, краном разогревочного устройства, горелкой, прикрепленной шарнирно стяжным винтом к топливному баку и соединенной с ним гибким армированным топливопроводом, сопло снабжено катализатором, а на сопло монтируется осветительная корпус-насадка, закрытая стеклянной колбой. Патент РФ 2304038. Н. В. Котенева [22].

Способ сварки рельсов железнодорожного пути, отличающийся тем, что при обрезке кромок рельсов или кромки одного из рельсов выполняют поперечный разрез по вертикальной плоскости от головки до начала подошвы рельса, горизонтальный разрез по торцевой поверхности рельса перпендикулярно по отношению к ранее произведенному разрезу и снимают на торцевой поверхности подошвы фаску под углом 45° с образованием у основания подошвы притупления, а электродугу сварку производят непрерывно по всей высоте рельса с использованием сварочного полуавтомата с электрододержателем, снабженным изолированным концевым наконечником, который вводят со сварочной проволокой в технологический зазор, при этом образование жидкой ванны в корне шва осуществляют за счет расплавления кромок основного металла рельсов. Патент РФ 2304495. Г. Г. Воробьев, Е. С. Куминов, А. Н. Пурехив, М. М. Берзин [23].

Головка горелки для дуговой сварки в среде защитных газов, содержащая закрепленную в корпусе кангу с отверстием под электрод и каналами для подвода газа, сопло и перегородку, размещенную внутри сопла и сформированную из пакета сеток, отличающаяся тем, что сетчатая перегородка выполнена выпуклой по отношению к каналам подвода газа. Патент РФ 2304496. О. П. Евпятьев, И. С. Галилов (ОАО «НИАИ «Источник») [23].

Удлинитель ввода плазменной дуговой горелки, предназначенный для подключения проксимального конца ввода горелки к источнику питания, который содержит по меньшей мере один трубопровод для подвода флюида и электрической энергии, причем трубопровод имеет проксимальный конец и дистальный конец, по меньшей мере один дистальный соединительный элемент, расположенный на дистальном конце трубопровода и выполненный с возможностью входа в зацепление с проксимальным концом ввода горелки. Патент РФ 2304497. Т. Н. Рэймонд, Ф. А. Роджерс, К. Конвэй, К. Д. Хорнер-Ричардсон (Термал Динамикс Корпорейшнл, США) [23].



Роботизированный модуль для контактной точечной сварки, отличающийся тем, что электроды сварочных клещей выполнены со сферической рабочей поверхностью и снабжены присоединительным элементом цилиндрической формы, расположенным в электрододержателе под углом к перпендикуляру, направленному к свариваемым поверхностям, многокулачковый патрон оснащен платформой с выполненными на ней обнижениями, а на губках, охватывающих периметр дистанционирующей решетки, выполнены пазы. Патент РФ 2304498. А. В. Чиннов, Н. А. Липухин, М. Г. Зарубин (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») [23].

Присадочный материал на основе никеля для сварки высокопрочных никелевых сплавов, отличающийся тем, что дополнительно содержит титан, цирконий, магний, лантан, при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,02...0,05 углерода; 10...18 хрома; 4...6 молибдена; 10...18 кобальта; 2...6 ниобия; 0,5...1,3 алюминия; 0,5...5 вольфрама; 0,3...1,0 титана; 0,5...1,0 циркония; 0,02...0,04 магния; 0,02...0,05 лантана; остальное никель. Патент РФ 2304499. В. И. Лукин, Л. Л. Старова, В. Г. Ковальчук и др. (ФГУП ВИАМ) [23].

Флюс для электродуговой сварки, отличающийся тем, что содержит компоненты при следующем соотношении, мас. %: 28...32 SiO₂; 28...32 MnO; 19...23 MgO; 9...11 CaO; 4...6 CaF₂; до 2 Al₂O₃; до 1,5 Fe₂O₃; до 0,2 S; до 0,6 P; при этом соотношение содержания основных и кислых оксидов выбрано из условия получения основности флюса 1,40...1,48. Патент РФ 2304500. В. К. Петряков, М. В. Ерюшев, А. Л. Нестеров и др. (ФГОУВО «Саратовский государственный аграрный университет») [23].

Флюс для электродуговой сварки, отличающийся тем, что он дополнительно содержит TiO₂ при следующем соотношении компонентов, мас. %: 28...34 SiO₂; 24...29 MnO; 18...22 MgO; 5...7 CaO; 5...7 CaF₂; до 5 Al₂O₃; до 2,5 Fe₂O₃; до 2,5 TiO₂; до 2,5 S; до 0,2 P; при этом основность флюса составляет 1,10...1,16. Патент РФ 2304501. В. К. Петряков, М. В. Ерюшев, А. В. Ланин и др. (То же) [23].

Способ пайки твердым припоем, отличающийся тем, что нанесение паяльной пасты осуществляют вблизи от участка контакта между первым и вторым элементом, причем материал-основу на участке контакта оставляют открытым для восстановительного газа в восстановительной атмосфере печи при нагреве, при этом паяльную пасту наносят в форме множества линий, разнесенных в направлении, перпендикулярном направлению участка контакта между первым и вторым элементом. Патент РФ 2305615. Х. Таруи, М. Такахаш, Ц. Симпо и др. (Денсо Корпорейшнл, Япония) [25].

Устройство для сварки и наплавки с программным управлением, отличающееся тем, что одна из стоек устройства выполнена стационарной и неподвижно соединена с основанием, а размещенный на ней позиционер выполнен в виде связанного с серводвигателем шпинделя с горизонтальной осью вращения, другая стойка выполнена подвижной и установлена с возможностью перемещения вдоль основания в направлении стационарной стойки и на ней размещены два позиционера. Приведены и другие отличительные признаки

устройства. Патент РФ 2305616. П. Б. Перегудин, С. Б. Перегудин, Б. П. Перегудин (ООО «Фирма «Директ») [25].

Устройство для холодной сварки давлением, отличающееся тем, что на боковой поверхности пунсона выполнены отверстия со вставленными в них кулачками, контактирующими с матрицедержателем через поворотные канавки с направляющими уступами, а на пуансоне установлена плита в виде кольца с возможностью поворота пуансона. Патент РФ 2305617. А. К. Евдокимов, М. В. Константинов (Тульский госуниверситет) [25].

Источник питания для механизированной сварки, отличающийся тем, что, по крайней мере, одна часть магнитопровода дросселя насыщения источника выполнена с возможностью механического перемещения относительно остальной неподвижной части магнитопровода без разрыва магнитной цепи дросселя. Патент РФ 2306212. Б. А. Качанский, Г. А. Качанский, Е. В. Карасев [26].

Инверторный источник питания для электродуговой сварки, отличающийся тем, что параллельно тиристорам, катоды которых соединены вместе, подключены ограничительные цепи, состоящие из последовательно соединенных тиристора и дросселя, причем катод тиристора ограничительной цепи подключен к аноду тиристора параллельной ветви, а свободный конец обмотки дросселя — к катоду того же тиристора параллельной ветви. Патент РФ 2306213. А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, К. И. Деменцев (Томский политехнический университет) [26].

Способ электроконтактной наплавки, отличающийся тем, что между присадочной проволокой и рабочей поверхностью наплавляющего ролика размещают защитную ленту из высокоэлектро- и теплопроводного металла, например меди, выполненную в форме бесконечного кольца. Патент РФ 2307009. М. З. Нафиков, М. Н. Фархшатов, И. И. Загиров (Башкирский государственный аграрный университет) [27].

Способ электроконтактной приварки металлических порошков, отличающийся тем, что на деталь предварительно контактной сваркой приваривают сетку с размером ячеек, обеспечивающим транспортировку порошка под роликовый электрод и не превышающим его ширину, на которую в процессе приварки дозируют подачу порошка. Патент РФ 2307010. Р. Н. Сайдуллин, М. Н. Фархшатов, И. Р. Баскаров (То же) [27].

Устройство для холодной сварки и снятия облоя, отличающееся тем, что в комплекте из двух пар матричных половин в плоскости разъема основного канала выполнен дополнительный сквозной канал с осью, параллельной оси основного канала, комплект матричных половин содержит четыре кулачка, при этом сквозные каналы образованы проточками, выполненными на внутренних прилегающих друг к другу и расположенных в одной плоскости поверхностях каждой пары кулачков, а диаметр проточки дополнительного канала в одной паре кулачков превышает диаметр проточки дополнительного канала, выполненного в другой паре кулачков. Патент РФ 2307011. В. Н. Соболев, Б. Н. Гордеев (ОАО НПО «Искра») [27].



По зарубежным журналам*

*BULETINUL INSTITUTULUI IN SUDURA SI INCERCARI DE MATERIALE —
BID ISIM (Румыния) 2007. — № 2 (рум. яз.)*

Cioclov D. D. Прочность и усталость наноматериалов. Ч. 1. Деформация и статическая прочность, с. 3–14.

Radu B. et al. Текучесть и пластическая деформация в процессе сварки трением с перемешиванием, с. 15–25.

Ilie M., Mattei S. Исследование свариваемости полимеров с помощью эквивалентного материала, с. 27–33.

Sandu L. et al. Использование лазера для частичного снятия зубных протезов с целью ремонта, с. 35–39.

*BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA W GLIWICACH (Польша) 2007. —
Rocznik 51, № 5 (пол. яз.)*

Matusiak J. et al. Современные процессы сварки MIG/MAG с небольшой энергией дуги в аспекте ограничения выделения вредных аэрозолей, с. 49–55.

Lehrich W. et al. Термитная сварка кабельных присоединений катодной защиты трубопроводов, с. 56–62.

Winiowski A. Присадочные материалы для твердой пайки инструмента с режущими пластинками из быстрорежущей стали, с. 63–69.

Szubyrt M., Wincza M. Торговое качество действительное, с. 69–73.

DER PRAKTIKER (Германия) 2007. — № 5 (нем. яз.)

Rippel P. Доведенная до совершенства автоматизация, с. 133.

Vollrath K. Резка новой лазерной системой повышает производительность и качество, с. 140–145.

Niemert F. Более высокая гибкость и эффективность благодаря новому portalу для работа с использованием имеющихся узлов установок, с. 146–148.

Ярмарки в Штутгарте «Экспо-лист» и «Schweisstec» 13–16 июня 2007 г., с. 149.

Muller S. Применение твердотельных лазеров при изготовлении форсунок для европейских двигателей грузовых автомобилей, с. 150–152.

Aretz H.-G. Переносные огнетушители и возможности их применения, с. 154–161.

Lutz W. Превосходная «холодная» роботизированная сварка выхлопных элементов, с. 162–164.

DER PRAKTIKER (Германия) 2007. — № 6 (нем. яз.)

Удаление слоя и очистка диодным твердотельным Nd:YAG-лазером, с. 170.

Водорастворимая изоляционная пленка, с. 170–171.

Aretz H.-G. Мобильная и стационарная обработка кромок фрезерованием вместо шлифования, с. 171–172.

Aretz H.-G. Оснащение производства огнетушителями, с. 174–176.

* 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).



Nies H. et al. Проблематика образования трещин в стальных конструкциях с покрытиями, выполненными методом горячего цинкования, с. 178–185.

Schmidt J. Ремонт чугунных элементов и диоскур старого музея в Берлине, с. 186–195.

Springfeld P. Надежная техника закупорки и сборки грузовиков, сваренных роботами, с. 196–198.

DER PRAKTIKER (Германия) 2007. — № 7–8 (нем. яз.)

Первый интегрированный проект — подземное хранилище CO₂, с. 206.

Подъем в электропромышленности продлится и в 2008 г., с. 207–208.

Выставка «Schweissen und Schneiden» в мае 2007 г. в России, с. 217–218.

Профессор У. Дилтай стал 21-м президентом МИС, с. 218.

Schmidt J. Защита от коррозии металлических конструкций, с. 220–223.

Zwatz R. Можно ли на стальных деталях толщиной 50 мм варить стыковые швы сплошной плавящейся проволокой в среде активных газов, с. 224–227.

Lutz W. Роботизированная установка длиной 60 м для сварки железнодорожных вагонов из алюминия, с. 228–230.

Queren-Lieth W. Возможность снижения энергозатрат при сварке в смеси защитных газов — обмен опытом, апрель 2007 г., с. 232–235.

Von Strombeck A. Изготовление сваркой трением с перемешиванием заготовки из алюминия для спортивного автомобиля «Ауди R8», с. 238–241.

Tepest R. Тяжелые ожоги, полученные при сварочных работах, с. 244.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY (Япония) 2007. — Vol. 76, № 4 (яп. яз.)

Fukaya Y. Получение сварочного образования в частных университетах, с. 6–7.

Suzuki M. Материалы для сварки стали, содержащей 9% Ni, с. 8–9.

Специальный выпуск. Современные методы оценки усталостной долговечности сварных конструкций

Tagami M. Неразрушающий контроль сварных соединений стальных конструкций, с. 10–14.

Fujimoto Y., Shintaku E. Измерение напряжений с помощью пьезоэлектрической пленки, с. 15–20.

Kobayashi T., Nihei K. Сенсор усталости для оценки усталостной долговечности сварных конструкций, с. 21–25.

KimYou-Chul, Oku K. Мониторинг усталостных трещин и оценка эксплуатационной надежности с помощью сигнатурного анализа электрического поля, с. 26–29.

Курс лекций по ремонтным технологиям.

Saida K., Nishimoto K. Применение анализа кристаллизации в ремонтной сварке монокристаллических сплавов, с. 30–42.

Лекции для практикующих инженеров.

Uezono T., Tong H. Сварка МИГ с применением источника питания с цифровой фильтрацией, с. 43–46.

Matsuda Sh. Анализ сварочных явлений методом электромагнитного управления жидкой ванной, с. 47–51.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (Италия) 2007.

— № 2 (итал. яз.)

Costa G., Morra S. Анализ деятельности по аттестации/сертификации в Италии персонала, занятого оборудованием под давлением, с. 169–173.

Lanza M., Pagano S. Методы оценки поведения морских сварных конструкций, эксплуатирующихся при низких температурах, с. 179–191

Scialpi A. et al. Микросварка трением с перемешиванием сплавов алюминия 2024-6082, с. 193–200.

Camassa A., Piazza U. Токовихревая система на основе фазовой решетки с многокомпонентным датчиком для поверхностного контроля алюминиевых сплавов, сваренных плазмой, с. 203–208.

Scasso M. Основные принципы управления рисками — применение для контроля производственными процессами, с. 211–220.

Parodi G. C. Вид заболевания легких, вызванного вдыханием паров и дымов, выделяющихся при сварке, с. 223–228.

Brencich A., Gambarotta L. Процедура оценки состояния итальянского ж/д моста, построенного 90 лет тому назад в Кампассо, с. 231–238.

Galtier A., Duchet M. Усталостные характеристики соединений из тонколистовых высокопрочных сталей, с. 241–247.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (Италия) 2007.

— № 3 (итал. яз.)

Отчет Итальянского института сварки за 2006 г. и прогнозы на 2007 г., с. 319–333.

Molinari O. Применение упрочненных и конструкционных сталей согласно итальянским техническим нормам и определение их механических и химических свойств, с. 335–338.

Murgia M. Руководство Европейской сварочной федерации для аттестации сварщиков-подводников, с. 341–346.

Peri F. et al. Опыт Итальянского института сварки в области контроля эксплуатирующихся наземных трубопроводов, с. 349–360.

Boschini M., Magnabosco B. Важное значение технических газов при сварке легких сплавов, с. 363–368.

Martinello S. Численная оценка состояния разрушений мостов при техосмотре, с. 371–389.

Hasegawa K. Краткое описание и сравнение правил пригодности к эксплуатации конструктивных компонентов на мировом уровне, с. 391–397.

Специальные процессы сварки. Ч. 1. Сварка трением и взрывом, с. 399–409.



RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (Италия) 2007. — An. LIX, № 4 (итал. яз.)

Volpone L. M., Mueller S. Разные способы сварки алюминиевых сплавов — пределы возможного, с. 471–484.

Maggi S., Murgia M. Введение в определение металлургических характеристик новейших высокопрочных сталей, используемых в автомобильной промышленности, с. 487–495.

De Petris C. et al. Акустическая эмиссия — анализ результатов, полученных за первые 5 месяцев использования методики акустической эмиссии ISPESL, с. 497–505.

Esposito V., Nocchia S. Техобслуживание и ремонт итальянских железнодорожных подвижных составов, с. 509–516.

Lazzarin P. et al. Два подхода к оценке усталостной прочности сварных соединений: один — на основе фиктивного радиуса надреза, другой — на основе плотности энергии деформации в конечном объеме, с. 519–525.

Pettersson C. O. et al. Коррозионные испытания сварных швов — обзор методов, с. 529–552.

Специальные процессы сварки. Ч. 2. Диффузионная сварка, высокочастотная и термитная сварка, с. 555–564.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2007. — № 6 (нем. яз.)

Разработан новый способ окисления алюминия, с. 297–298.

Новый механический способ контроля для разработок и производства, с. 298–299.

Staubach M. et al. Выполнение смешанных соединений сталь–алюминий сваркой в смеси защитных газов с малым энерговыделением и с использованием присадочного материала на основе алюминия и цинка, с. 302–313.

Thurner S., Kusch M. Применение плазменной МИГ-технологии при соединении оцинкованных стальных материалов, с. 314–323.

Risse A., Klatt A. Исследование факторов влияния, определяющих качество изготовленных на фрезерном станке сваркой трением с перемешиванием пресованных профилей из AlMg0,7Si, с. 324–332.

Ji J. et. al. Технологические поры при гибридной сварке Nd:YAG — лазер + плавящимся электродом в смеси защитных газов алюминиевых сплавов — Ч. 1: Сварочные параметры, с. 334–337.

О работе службы информации. Обзор литературы, с. 338–344.

SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2007. — № 7–8 (нем. яз.)

Рынок промышленных роботов вырос на 30 %, с. 366–367.

В июне 2008 г. профессор Ульрих Дилтай займет пост президента МИС, с. 368–369.

Лазерный луч позволяет «видеть» дефекты, с. 373.

Cramer H. et al. Расчет и измерение внутренних напряжений в алюминиевых сварных соединениях, с. 380–386.

Nitschke-Pagel T., Dilger K. Внутренние напряжения в сварных соединениях. Ч. 3. Снижение внутренних напряжений. Посвящается 70-летию юбилею Г. Вольфарта, с. 387–395.

Fussel U. et al. Возможности экспериментального анализа дуги при сварке вольфрамовым электродом в защитном газе, с. 396–403.

Webs A. Динамическое взаимодействие асинхронного двигателя переменного тока и машины для контактной точечной и рельефной сварки, с. 404–414.

Muller-Lux A. et al. Применение новых методов исследования ранней диагностики заболеваний дыхательных путей вследствие сварки, с. 415–419.

Ahrens T. et al. CSP-паяные соединения, выполненные припоем без свинца — пористость и надежность, с. 420–425.

Zwatz R. Можно ли на стальных деталях толщиной 50 мм варить стыковые швы сплошной плавящейся проволокой в среде активных газов, с. 426–428.

О работе службы информации — Обзор литературы, с. 428–433.

Queren-Lieth W. Возможность уменьшения вложения энергии при сварке в смеси защитных газов, с. 435–438.

SCHWEISS-& PRUEFTECHNIK (Австрия) 2007. — № 6 (нем. яз.)

Фирма «Фрониус» открывает в Саттлезде (Австрия) новое производство и центр логистики, с. 83–86.

Отчет об обмене опытом в учебно-исследовательском центре в Мюнхене. Тема: «Сокращение вложения энергии при сварке в смеси защитных газов», с. 87.



WELDEX/РОССВАРКА-2007

С 30 октября по 2 ноября 2007 г. в Москве в КВЦ «Сокольники» прошла 7-я Международная специализированная выставка «Сварочных материалов, Оборудования и Технологий». Организатором выставки выступил ЗАО «Международная Выставочная Компания» при поддержке КВЦ «Сокольники», Национального агентства контроля и сварки (НАКС), Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков, Российского научно-технического сварочного общества (РНТСО), Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции и компании «Элсвар».

Традиционно в России осенью подводят итоги уходящего года и определяют перспективы развития на будущий. В этом аспекте очередная выставка WelDEX/Россварка отражает достижения за прошедший период и перспективные разработки в общей системе менеджмента качества сварочного производства, включающей материалы, конструкции, сварочное оборудование, сварочные технологии, контроль, персонал.

В 2006 г. выставка WelDEX/Россварка получила знак Российского союза выставок и ярмарок, подтверждающий высокий уровень организации выставки, ее серьезный вклад в развитие экономики регионов и внешнеэкономических связей России. Выставка 2007 г. продолжила развитие и продемонстрировала свое лидерство среди сварочных выставок России и СНГ. Она по праву относится к основным из самых крупных специализированных сварочных выставок в мире. По сравнению с 2006 г. общие экспозиционные площади выставки выросли более чем на 40 %, а среди ее участников были представлены практически все ведущие российские и многие зарубежные производители продукции сварочного на-



значения. Количество экспонентов на выставке составило число более 210 и они представляли 14 стран из СНГ, Европы и Азии. В их числе около 50 стендов средств массовой информации.

К общим впечатлениям от выставки следует отнести:

- ее хорошую организацию, разнообразие в оформлении стендов;
- высокую посещаемость, в том числе руководителями предприятий и фирм, руководителями и главными специалистами технических служб организаций, вузовскими преподавателями Москвы и многих регионов России;

- разнообразие и насыщенность программы мероприятий, включавших работу биржи труда рабочих, инженеров и ученых сварщиков; проведение конкурсов «Мисс сварка России», «Лучший сварщик», «Молодая звезда сварки», «Лучший инженер-сварщик»; демонстрацию художественно-декоративных изделий, выполненных методомковки и сварки и др.

Становится уже традиционным, что значительная доля экспонентов на выставке (более 20%) представлена торгующими фирмами и представительствами в России таких известных в сварочном мире брендов, как ЭСАБ, Авеста Велдинг (Швеция), Фрониус, Бёлер Велдинг (Австрия), Кука Роботер, Мессер Каттинг энд Велдинг, Меркле, Абибор Бинцель (Германия), Полисуд (Франция), Линкольн Электрик (США), Цебора, Телвин, Техна (Италия), Асканьяк (Турция), Кемппи (Финляндия) и др.

На прошедшей выставке широко были представлены производители разнообразного современного оборудования для дуговой сварки, резки и напыления и их торгующие представители. Среди них Абибор Бинцель, Вебер комеханик, Вэлдтэк, Газстройсервис, Инвертор-Плюс, Искра, НПФ ИТС, ЗОНТ, КЗЭСО,



Кемппи, Кука Роботер, Линде Газ, Навко-Тех, НГС-Комплект, Мида-сот, Сварка и Техника, Сварог, Спецэлектрод, Техмаш, ТехноТрон, Шторм ИТС, Электрик Микс, Электрик-комплект, ЭСАБ и др. Многие демонстрировали линейку современного сварочного оборудования для ручной, механизированной и автоматической дуговой сварки, установки для термической и плазменной резки, наплавки и напыления.

На стендах производителей сварочных материалов были представлены образцы высококачественных покрытых электродов, проволок и лент сплошного сечения, порошковых проволок и лент флюсов. Здесь следует отметить экспозиции Межгосметиз-Мценск, Вистек, Бёлер Велдинг, Волгодонского, Лосино-островского и Зелиноградского электродных заводов, СиБЭС, Судиславского и Уральского заводов сварочных материалов, УТП, Судокей и ЭСАБ.

Во время технического семинара на выставке была проведена презентация фирмы Судокей (Бельгия), специализирующейся в составе Бёлер Велдинг на научных исследованиях, производстве и продаже порошковых проволок широ-

кой номенклатуры для ремонтной и изготовительной упрочняющей наплавки деталей и механизмов в горнодобывающей, сталелитейной, цементной промышленности, кузнечно-штамповом производстве, а также разнообразных по химическому составу металлических лент для электрошлаковой наплавки и наплавки погруженной дугой для получения специальных свойств наплавленных поверхностей.

Украина на выставке была представлена экспозициями ИЭС им. Е. О. Патона, ЗОНТ и Техмаш (г. Одесса), Завода ДОНМЕТ (г. Краматорск), КЗЭСО (г. Каховка), Коммунар (г. Харьков), Навко-Тех (г. Киев), Вистек (г. Артемовск), Техвагонмаш (г. Кременчуг). Что касается стенда ИЭС им. Е. О.



Патона, то наибольший интерес посетители выставки проявили к таким технологическим разработкам: сварке трением с перемешиванием (СТП), ЭЛС, оборудованию для контактной сварки, сварке живых тканей, разработкам в области создания наплавочных материалов и др. Был обсужден ряд предварительных предложений по проведению контрактных работ с институтом.

1 ноября в рамках выставки состоялась отчетно-выборная конференция Российского научно-технического сварочного общества (РНТСО), на которой присутствовали представители почти всех регионов России. На конференции была проанализирована работа РНТСО за прошедший период, отмечены сильные и слабые места в этой работе и, что главное, определены основные задачи на будущее. Кроме того, на конкурентной основе был переизбран Президент РНТСО — им стал профессор О. И. Стеклов.

2 ноября в рамках выставки прошло заседание круглого стола НАКС, на котором в духе откровенных и деловых обсуждений коснулись проблем сертификации и аттестации сварочной техники, сварочных материалов и сварочного

персонала, а также проблем в разработке отечественных стандартов в сварке. По мнению всех участников круглого стола, это заседание было очень полезно.

В рамках выставки был проведен ряд конкурсов. Особо следует отметить достижение сварщика одного из подразделений ИЭС им. Е. О. Патона, художника в душе, Дмитрия Кушнирука. В конкурсе «Лучший сварщик-МистерЛуч2007» в номинации «ТИГ сварка» Дмитрий достойно занял 1-е место. Ему был вручен диплом победителя и ценный приз (инверторный источник питания фирмы ЭСАБ). Поздравляем Дмитрия Кушнирука! 2-е место присуждено Г. И. Груздовой (ОАО «Новокуйбышевский НПЗ»).



В номинации «Ручная дуговая сварка покрытыми электродами» победителями стали: 1-е место — В. В. Утешов («РН-Юганскнефтегаз», г. Нефтеюганск); 2-е место — В. А. Тудвасев (ОАО «Атоммашэкспорт», г. Волгодонск). В номинации «Мо-

лодая звезда сварки» победила Т. В. Предеина (Юргинский технологический институт).

Конкурс «Лучший инженер-сварщик» проводился в двух номинациях. В номинации «Лучший ученый-сварщик» победителем признан профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана А. В. Коновалов за разработку «Система компьютерного анализа свариваемости легированных сталей», а в номинации «Лучший разработчик-сварщик» — специалист МАТИ им. К. Э. Циолковского А. В. Бажанов за разработку малогабаритной светолучевой установки «Луч-3М».

В заключение следует отметить, что выставка-2007 в Сокольниках продемонстрировала очевидный прогресс в области сварочного производства России и возросший интерес к ней как со стороны посетителей, так и зарубежных фирм.

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

ПАМЯТИ О. А. ЕМЕЛЬЯНОВА



2 ноября 2007 г. ушел из жизни ведущий специалист Донбасской государственной машиностроительной академии (г. Краматорск), академик Академии подъемно-транспортных наук Олег Андреевич Емельянов.

Олег Андреевич родился в 1928 г. В 1943 г. был зачислен юнгой в ВМФ, участвовал в Великой Отечественной войне. После окончания с отличием в 1957 г. Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения работал на Новокраматорском машиностроительном заводе мастером, затем конструктором, ведущим инженером, начальником группы надежности. Участвовал в монтаже, диагностике и модернизации на местах эксплуатации горно-транспортных машин, изготовленных НКМЗ. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1976 г. — доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства Краматорского ин-

дустриального института (ныне ДГМА). О. А. Емельяновым в соавторстве подготовлены книги «Ремонт металлоконструкций электросваркой» и «Надежность и производительность комплексов горно-транспортного оборудования», глава в справочнике «Сварные строительные конструкции. Типы конструкций», монография «Мосты сварные крановые. Конструкция. Нагруженность. Диагностика. Обеспечение ресурса». Им опубликованы более 60 научных статей получено свыше 20 авторских свидетельств СССР и патентов Украины.

С 2000 г. О. А. Емельянов активно участвовал в обучении технических экспертов подъемных сооружений в Методическом центре Госназдорхрантруда Украины. В 2007 г. признан лучшим ученым академии.

Светлая память об Олеге Андреевиче надолго сохранится в сердцах тех, кто знал его и работал с ним.

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



Межотраслевой учебно-аттестационный центр
Института электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины



Программы профессиональной подготовки в МУАЦ на 2008 г.

Шифр курса	Наименование программы	Продолжительность	Сроки проведения	
1. Повышение квалификации инженерно-технических работников (с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций в т.ч. подведомственных государственным надзорным органам)				
101	Техническое руководство сварочными работами на объектах, за которыми осуществляется государственный надзор	подготовка и аттестация	3 недели (112 ч) март	
102		переаттестация	18 ч январь, март, июнь, ноябрь	
103	Техническое руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полиэтиленовых труб	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч) май, ноябрь	
104		переаттестация	1 неделя (32 ч) март, декабрь	
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)	3 недели (112 ч)	декабрь	
106	Аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков – экспертов УАКС (экзамен; расширение области аттестации)	8 ч	по мере поступления заявок и по согласованию с УАКС	
107	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	октябрь	
108	Подготовка членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (74 ч) ежеквартально	
109		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (74 ч) февраль	
110	Аттестация членов комиссий по аттестации сварщиков – специалистов технологических служб по сварке (экзамен; расширение области аттестации)	6 ч	по мере поступления заявок	
111	Подтверждение полномочий председателей комиссий - экспертов УАКС:	со стажем 3 года	16 ч сентябрь	
112		со стажем 6 лет	32 ч	
113		со стажем 9 лет	22 ч октябрь	
114		со стажем 12 лет	октябрь, ноябрь	
115	Подтверждение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков:	со стажем 3 года	16 ч февраль	
116		со стажем 6 лет	32 ч сентябрь	
117		со стажем 9 лет	22 ч октябрь	
118	специалистов по техническому контролю	8 ч	ежеквартально	
119	специалистов по техническому контролю (включая спец. подготовку)	28 ч		
120	специалистов по охране труда	16 ч	июнь	
121	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки с присвоением квалификации:	Международный инженер по сварке	441 ч (112 ч ¹)	
122		Международный технолог по сварке	340 ч (112 ч ¹)	
123		Международный специалист по сварке	222 ч (112 ч ¹)	
124		Международный практик по сварке	146 ч (76 ч ¹)	
125		Международный инспектор по сварке (1-го, 2-го и 3-го уровня)	108, 158 и 218 ч ²	
131	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)	2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиками	
132	Производство сварочных электродов: организация, технологии и системы управления качеством	3 недели (112 ч)		
133	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)	аттестация		2 недели (72 ч)
134		переаттестация		20 ч
135	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта	2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок	
136	Металлографические исследования металлов и сварных соединений	аттестация	2 недели (72 ч) июль	
137		переаттестация	22 ч февраль, июль, октябрь	
138	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений	повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч) май	
139		переаттестация	20 ч май, июнь	
140	Эмиссионный спектральный анализ (стилюскопирование) металлов и сплавов	аттестация	2 недели (74 ч) ноябрь	
141		переаттестация	22 ч	
142	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей методами наплавки	70 ч	по согласованию с заказчиком	

Тематические семинары (возможно проведение на базе заказчика)

143	Состояние нормативно-технической документации в области сварочного производства, тенденции и перспективы	16 ч	июнь, сентябрь
144	Современное сварочное оборудование на рынке Украины	1 день	ежеквартально
145	Новые технологии профессиональной подготовки сварщиков и дефектоскопистов		

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

201	Подготовка, повышение квалификации инструкторов и мастеров производственного обучения по сварке	5 недель (192 ч)	по согласованию с заказчиком
202	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин по сварке	3 недели (112 ч)	

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

301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	9 недель (352 ч)	постоянно, по мере поступления заявок
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	5 недель (192 ч)	
303	газовой сварки	3 недели (116 ч)	
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	3 недели (112 ч)	
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	
306	автоматической дуговой сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	по согласованию с заказчиком
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)	5 недель (196 ч)	февраль, апрель, июль, ноябрь
310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	5 – 12 недель ²	по согласованию с заказчиком
315	Специальная подготовка по технологии и оборудованию контактной сварки арматуры	2 недели (72 ч)	

Курсовая переподготовка сварщиков:

316	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	152 ч ³	постоянно, по мере поступления заявок
317		76 ч ³	
318	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	112 ч ³	
319		76 ч ³	
320	газовой сварки	76 ч	
321	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	76 ч	
323	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	76 ч	
325	автоматической дуговой сварки под флюсом	76 ч	
327	электрошлаковой сварки	76 ч	

Повышение квалификации сварщиков:

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

Курсовая подготовка дефектоскопистов:

340	ультразвукового контроля	196 ч	постоянно, по мере поступления заявок
341	рентгеновского и гамма контроля	188 ч	
342	магнитного контроля	180 ч	

Повышение квалификации дефектоскопистов

346	ультразвукового контроля	от 104 до 128 ч ⁴	постоянно, по мере поступления заявок
349	рентгеновского и гамма контроля	от 104 до 168 ч ⁴	
352	магнитного контроля	от 104 до 132 ч ⁴	

Целевая курсовая подготовка дефектоскопистов для железнодорожного транспорта:

355	ультразвукового контроля	160 ч	май, октябрь
-----	--------------------------	-------	--------------

356	магнитного контроля		120 ч	постоянно, по мере набора групп
357	Подготовка контролеров сварочных работ		154 ч	
Другие профессии				
367	Подготовка газорезчиков	газовой резки	3 недели (112 ч)	постоянно, по мере набора групп
368		ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)	
369		электродуговым напылением	3 недели (112 ч)	
370	Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы	газопламенным напылением	3 недели (112 ч)	
371		детонационным напылением	3 недели (112 ч)	
372		плазменным напылением	3 недели (112 ч)	
373	Переподготовка по профессии «Плавильщик металлов»		72 ч	

4. Аттестация персонала сварочного производства (в соответствии с национальными и международными нормами и стандартами)

401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, правилами Госназдорхрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		152 ч ⁵	постоянно, по мере поступления заявок
402			72 ч ⁵	
403	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно ДНАОП 0.00-1.16-96		24 ч	
404	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госназдорхрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч	
405	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287)		3 недели (112 ч)	
406			2 недели (72 ч)	
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287)		32 ч	
408	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международным стандартом ISO 14732 операторов автоматических установок дуговой сварки плавлением / наладчиков контактной сварки		2 недели (72 ч)	
409	Специальная подготовка и аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		3 недели (112 ч)	
410	Периодическая аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч	
413	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		проводится по окончании курса 309	
414	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		32 ч	январь, март, май, июнь, июль, сентябрь, декабрь
415	Специальная подготовка дефектоскопистов к аттестации в соответствии с ДНАОП 0.00-1.27-97	ультразвуковой контроль	24 ч ⁶	ежемесячно
416-418			60, 70 или 140 ч ⁶	ежеквартально
419			24 ч ⁶	ежемесячно
420-422		радиационный контроль	60, 70 или 140 ч ⁶	ежеквартально
423			24 ч ⁶	ежеквартально
424-425		магнитный контроль	30 или 60 ч ⁶	
426			110 ч ⁶	1 раз в полугодие
427		капиллярный контроль	24 ч ⁶	1 раз в полугодие
428-429			110 или 60 ч ⁶	
430		визуально-оптический контроль	24 ч ⁶	ежеквартально
431	70 ч ⁶			
432	Специальная подготовка и перееаттестация дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		36 ч	1 раз в полугодие
433	Специальная подготовка дефектоскопистов на право проведения работ в соответствии с РД 07.09-97		70 ч	
440	Профессиональное тестирование сварщиков дуговой сварки		от 4 до 8 ч	постоянно

1. - Обучение по альтернативному (более короткому) пути.

2. - Продолжительность обучения устанавливается Уполномоченным Национальным органом (УНО).

3. - Длительность программы определяется по результатам входного тестирования.

4. - Продолжительность обучения зависит от квалификации слушателя.

5. - Продолжительность подготовки устанавливается аттестационной комиссией.

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

По просьбе заказчика возможно проведение обучения в другие сроки или по другим программам, не вошедшим в данный перечень, а также на территории заказчика. На период обучения слушателю оказывается содействие в предоставлении жилья с оплатой за наличный расчет. Стоимость обучения определяется при заключении договора. Для приема на обучение необходимо направить заявку в адрес Центра с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовый реквизитов предприятия.

Украина, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. Тел. (+380 44) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09,

Факс (+380 44) 456-48-94; E-mail: paton_muac@ukr.net, http: www.paton-tc.kiev.ua

ABIPLAS[®] CUT НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПЛАЗМОТРОНОВ ОТ ABICOR BINZEL[®]



УСТАНОВКИ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ ЛАСКЛЕ, ГЕРМАНИЯ

	Plasma 33H	Plasma 60	Plasma 70S	Plasma 110i (MT)	Plasma 120S (MT)	Plasma 160 (MT)	Power Plasma 2 (MT)
Питающее напряжение, 3-х фазное	50 Hz, 400 V	50/60 Hz, 400 V	50/60 Hz, 400 V	50 Hz, 400 V	50/60 Hz, 400 V	50/60 Hz, 400 V	50 Hz, 400 V
Макс. потребляемая мощность	5,5 кВа	18 кВа	19 кВа	20 кВа	32 кВа	30 кВа	45 кВа
Предохранение	10 А, инертное	20 А, инертное	20 А, инертное	32 А, инертное	32 А, инертное	50 А, инертное	63 А, инертное
Сos phi				0,99		0,85	
Диапазон плавного регулирования	—	60 А / 20 А / 70 А	20 А / 70 А	20 – 100 А	20 – 120 А	20 – 160 А	20 – 210 А
Макс. напряж. холостого хода	230 V	290 V	250 V	250 V	250 V	345 V	345 V
Продолжительность включения (20°C)							
60%	30 А	60 А / 104 V	70 А / 110 V	110 А / 120 V	120 А / 130 V	160 А / 144 V	
100%			50 А / 100 V	70 А / 108 V	90 А / 120 V	130 А / 132 V	210 А / 164 V
Макс. толщина резки:							
качественный рез	7 мм	15 мм	20 мм	25 мм	35 мм	45 мм	60 мм
разделительный рез	10 мм	20 мм	25 мм	35 мм	45 мм	55 мм	75 мм
Вид защиты	IP 22	IP 22	IP 22	IP 23	IP 22	IP 22	IP 23
Класс изоляции	H (180°C)	H (180°C)	H (180°C)	F (155°C)	H (180°C)	H (180°C)	H (180°C)
Вид охлаждения	F	F	F	F	F	F	F
Вес	30 кг	75 кг	95 кг	29 кг	150 кг	150 кг	366 кг
Габариты	350x230x350	480x540x920	530x610x810	710x285x485	800x500x800	800x500x800	1020x575x1070
Подача сжатого воздуха (зависит от прим. резака)	5..10 бар 110 л/мин	6..10 бар 80..210 л/мин	6..10 бар 80..210 л/мин	5,5 бар 180 л/мин	6..10 бар 110..230 л/мин	6..10 бар 110..230 л/мин	3,5 бара 40 л/мин

MT – установки адаптированы под портальную резку (CNC-интерфейс)
 Все установки комплектуются плазменными резаками ABIPLAS[®] CUT

в комплекте с блоком принуд. охлаждения



поставка в регионы через сеть официальных и региональных дистрибьюторов



ПМ Бинцель Украина ГмбХ – предприятие группы ABICOR
 Тел./факс: + 38 (044) 403 1299; Интернет: www.binzel-abicor.com
 403 1399; 403 1499; 403 1599 E-mail: info@binzel.kiev.ua

Technology for the Welder's World

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ за 2007 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

АХОНИН С. В., ТОПОЛЬСКИЙ В. Ф., ПЕТРИЧЕНКО И. К., ВРЖИЖЕВСКИЙ Э. Л., МИЩЕНКО Р. Н. Влияние способа выплавки титановых сплавов на их свариваемость и служебные характеристики № 8

БЕЛОУС В. Ю., АХОНИН С. В. Влияние параметров управляющего магнитного поля на формирование сварных швов при аргонодуговой сварке титановых сплавов в узкий зазор № 4

БОРИСОВ Ю. С., **БОРИСОВА** А. Л., **ГОЛЬНИК** В. Ф., **ИПАТОВА** З. Г. Коррозионная стойкость газотермических покрытий из сплавов на основе AlCuFe, содержащих квазикристаллическую фазу № 2

БОРИСОВ Ю. С., **БОРИСОВА** А. Л., **ТУНИК** А. Ю., **КАРПЕЦ** М. В., **БОБРИК** В. Г., **ВОЙНАРОВИЧ** С. Г., **КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК** Е. К. Структура и свойства порошков для получения биокерамических покрытий способом плазменного напыления № 3

ГЕДРОВИЧ А. И., **ТКАЧЕНКО** А. Н., **ТКАЧЕНКО** С. А., **ЗЕЛЬНИЧЕНКО** А. Т., **АЛЕКСЕЕНКО** И. И., **БОНДАРЕНКО** В. Л. Особенности формирования структуры и свойств зоны сплавления стали 10X13Г18Д № 4

ГИРИДХАРАН П. К., **МУРУГАН** Н. Связь параметров процесса импульсной дуговой сварки с геометрией наплавленного валика на сталь AISI 304L № 4

ГРАБИН В. Ф., **ГОЛОВКО** В. В. Влияние распределения марганца между структурными составляющими на свойства металла низколегированных швов № 12

ДЯДИН В. П. Влияние предварительного деформирования на ударную вязкость образца Шарпи при разрушении № 1

ЖАДКЕВИЧ М. Л., **ТРЕТЯК** Н. Г., **КАВУНЕНКО** П. М., **ЗЕЛЕНИН** В. И., **МОХОРТ** В. А., **ЗЕЛЕНИН** Е. В. Сварка и наплавка трением с перемешиванием меди и ее сплавов № 11

ИГНАТЕНКО А. В. Математическая модель обратимой водородной хрупкости № 8

ИГНАТЕНКО А. В. Математическая модель переноса водорода краевой дислокацией № 9

ИЩЕНКО А. Я. Дуговая сварка алюминиевых сплавов (направления исследований, проводимых в ИЭС им. Е. О. Патона) № 11

ИЩЕНКО А. Я., **ФАЛЬЧЕНКО** Ю. В., **УСТИНОВ** А. И., **МОВЧАН** Б. А., **ХАРЧЕНКО** Г. К., **МУРАВЕЙНИК** А. Н., **МЕЛЬНИЧЕНКО** Т. В., **РУДЕНКО** А. Э. Диффузионная сварка микродисперсного композита AMg5 + 27 % Al₂O₃ с применением нанослойной фольги Ni/Al № 7

ИЩЕНКО А. Я., **ФЕДОРЧУК** В. Е., **ПОКЛЯЦКИЙ** А. Г., **ЯВОРСКАЯ** М. Р. Стойкость сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu против образования горячих трещин при аргонодуговой сварке № 2

КИСЕЛЕВСКИЙ Ф. Н., **ДОЛИНЕНКО** В. В. Математическое моделирование и разработка контроллера мониторинга сварки MIG № 2

КНЫШ В. В., **СОЛОВЕЙ** С. А., **КУЗЬМЕНКО** А. З. Кинетика роста несквозных усталостных трещин в сталях 03X20H16AG6 и 12X18H10T при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений № 12

КУЗЬМИН С. В., **ЛЫСАК** В. И., **ХАУСТОВ** С. В., **СИЛЬЧЕНКО** Т. Ш. Принципы расчета режимов сварки взрывом металлических слоистых композитов № 10

КУЛИК В. М., **ВАСИЛЬЕВ** В. Г., **ГРИГОРЕНКО** Г. М., **САВИЦКИЙ** М. М., **ДОРОШЕНКО** Л. К. Фазовые и структурные превращения при сварке и дуговой обработке соединений стали 30XГСА № 9

КУЛИК В. М., **САВИЦКИЙ** М. М. Новая методика оценки стойкости сварных соединений закаливающихся сталей против образования холодных трещин № 1

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., **ГРИГОРЕНКО** Г. М., **НОВИКОВА** Д. П., **ЗАГАДАРЧУК** В. Ф., **ХАРЧЕНКО** Г. К., **ГРИГОРЕНКО** С. Г.,

АЛЕКСЕЕНКО И. И. Влияние энергосложения на пластические свойства соединений стали Х70 при контактной стыковой сварке оплавлением № 6

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., **ШВЕЦ** Ю. В., **КАВУНИЧЕНКО** А. В., **ШВЕЦ** В. И., **ТАРАНЕНКО** С. Д., **ПРОЩЕНКО** В. А. Влияние ширины вставки из нержавеющей стали на эксплуатационные свойства соединений железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями № 3

ЛАБУР Т. М., **ГРИНЮК** А. А., **ТАРАНОВА** Т. Г., **КОСТИН** В. А., **ПОКЛЯЦКИЙ** А. Г. Особенности микромеханизма разрушения соединений алюминиево-литиевых сплавов, полученных плазменной сваркой № 9

ЛАБУР Т. М., **ИЩЕНКО** А. Я., **ТАРАНОВА** Т. Г., **КОСТИН** В. А., **ГРИГОРЕНКО** Г. М. Исследование характера разрушения сварных соединений высокопрочного сплава В96с в условиях внецентренного растяжения № 11

ЛАБУР Т. М., **ИЩЕНКО** А. Я., **ТАРАНОВА** Т. Г., **КОСТИН** В. А., **ГРИГОРЕНКО** Г. М., **ЧАЙКА** А. А. Влияние теплофизических условий сварки на сопротивление разрушению металла околошовной зоны в соединениях алюминиевого сплава В96с № 4

ЛАБУР Т. М., **ПОКЛЯЦКИЙ** А. Г., **ГРИНЮК** А. А. Повышение сопротивления разрушению соединений сплава 1420, полученных аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с принудительными колебаниями сварочной ванны № 1

ЛАБУР Т. М., **ТАРАНОВА** Т. Г., **КОСТИН** В. А., **ИЩЕНКО** А. Я., **ГРИГОРЕНКО** Г. М., **ЧАЙКА** А. А. Характер разрушения сплава В96 в зависимости от условий нагрева при сварке № 2

ЛАНКИН Ю. Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в СО₂ с периодическими короткими замыканиями дугового промежутка (Обзор) № 1

ЛЕБЕДЕВ В. А. Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями № 4

ЛОБАНОВ Л. М., **МАХНЕНКО** В. И., **ПАЩИН** Н. А., **ЛОГИНОВ** В. П. Особенности формирования пластических деформаций при электродинамической обработке сварных соединений стали Ст3 № 10

ЛОБАНОВ Л. М., **ПАЩИН** Н. А., **ЛОГИНОВ** В. П., **СМИЛЕНКО** В. Н. Влияние электродинамической обработки на напряженное состояние сварных соединений стали Ст3 № 7

ЛОБАНОВ Л. М., **ПАЩИН** Н. А., **ЛОГИНОВ** В. П., **СМИЛЕНКО** В. Н. Изменение напряженно-деформированного состояния после электродинамической обработки сварных соединений алюминиевого сплава AMg6 № 6

ЛОБАНОВ Л. М., **ПАЩИН** Н. А., **ЛОГИНОВ** В. П., **ТАРАНОВА** Т. Г., **КОСТИН** В. А., **ЧАЙКА** А. А. Влияние электродинамической обработки на особенности микромеханизма разрушения сварных соединений алюминиевого сплава AMg6 № 2

МАХНЕНКО В. И., **ВЕЛИКОИВАНЕНКО** Е. А., **СЕМЕНОВ** А. П. Метод определения вязкости разрушения сварных узлов на основе сочетания математического моделирования и изменений на образцах малого сечения № 12

МАХНЕНКО В. И., **МИЛЕНИН** А. С. Математическое моделирование процессов реакционной диффузии при сваркопайке нахлесточных соединений типа титан-алюминий № 10

МАХНЕНКО В. И., **МИЛЕНИН** А. С., **СЕМЕНОВ** А. П. Математическое моделирование термомеханических процессов при сваркопайке стыковых соединений типа титан-алюминий № 11

МАХНЕНКО О. В., **ВЕЛИКОИВАНЕНКО** Е. А., **ПИВТОРАК** Н. И. Численное исследование риска образования ламелярных трещин при сварке обечаек люков в корпус резервуара вместимостью 75000 м³ № 8

МАХНЕНКО О. В., **МАХНЕНКО** В. И. Прогнозирование долговечности сварного узла арочного пилона моста № 5

МАХНЕНКО О. В., МУЖИЧЕНКО А. Ф. Математическое моделирование тепловой правки цилиндрических оболочек и валов с деформациями искривления продольной оси № 9

МОРАВЕЦКИЙ С. И., ПАРШЕНКОВ Н. А., СОКИРКО В. А. Особенности электромагнитных воздействий на металлы и их сварные соединения (Обзор) № 6

НАЗАРЕНКО О. К., ЛАНБИН В. С. Аналоговое и микропроцессорное управление током сварочного электронного пучка № 1

НАЗАРЕНКО О. К., ЛАНБИН В. С. Исследование высоковольтных цепей управления током сварочного электронного пучка № 5

ОСТЕМИН А. А. Влияние поверхностного дефекта на прочность сварных соединений с несимметричной механической неоднородностью № 5

ПАНИН В. Н. Экспериментально-расчетная оценка остаточных сварочных деформаций обечаек турбинных водоводов ГЭС № 5

РАЗМЫШЛЯЕВ А. Д., ДЕЛИ А. А., МИРОНОВА М. В. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом № 6

РОЯНОВ В. А., КОРОСТАШЕВСКИЙ П. В. Выбор параметров роликового поля линий сборки и сварки тонколистовых полотнощ № 7

РЯБЦЕВ И. А., ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ Е. Ф., МИЦ И. В., БАРТЕНЕВ И. А. Влияние исходной структуры и гранулометрического состава порошка на структуру металла 10P6M5, наплавленного плазменно-порошковым способом № 10

СКУБА Т. Г. Пространственная модель сварного стыка по данным триангуляционного оптического сенсора № 7

СМИЯН О. Д., КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ХАРЧЕНКО Г. К., ЗЯХОР И. В., БУТКОВА Е. И., НИКОЛЬНИКОВ А. В. Распределение примесей внедрения в зоне соединения при сварке трением № 9

ТЕРНОВОЙ Е. Г., ШУЛЫМ В. Ф., ХАСКИН В. Ю., ШЕЛЯГИН В. Д., ЛОЗОВСКАЯ А. В., СИОРА А. В., БЕРНАЦКИЙ А. В. Свойства и структура соединений алюминиевых сплавов, полученных гибридной лазерно-плазменной сваркой № 11

ФАЙНБЕРГ Л. И., РЫБАКОВ А. А., АЛИМОВ А. Н., РОЗЕРТ Р. Микролегирование швов титаном и бором при многодуговой сварке газонепроводных труб большого диаметра № 5

ХАРЛАМОВ М. Ю., КРИВЦУН И. В., КОРЖИК В. Н., ПЕТРОВ С. В., ДЕМЬЯНОВ А. И. Математическая модель дуговой плазмы, генерируемой плазматроном с проволокой-анодом № 12

ХАРЧЕНКО Г. К., ИЩЕНКО А. Я., ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., МУРАВЕЙНИК А. Н., ГОРДАНЬ Г. Н. Сварка давлением композита AMr5 + 23 % SiC № 6

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Компенсация воздействия внешних возмущений на режим дуговой сварки плавящимся электродом № 4

ЧИГАРЕВ В. В., КОНДРАШОВ К. А., МАКАРЕНКО Н. А., ГРАНОВСКИЙ Н. А. Нагрев плазменной дугой плоского электрода, аксиально подаваемого в плазматрон № 8

ЧУВИЧИЛОВ В. А., КУЗЬМИН С. В., ЛЫСАК В. И. Энергетические условия сварки взрывом слоистых композиционных материалов № 3

ШВАЧКО В. И., ИГНАТЕНКО А. В. Модель транспортировки водорода дислокациями № 2

ШИШКИН А. Е., ШИШКИН Е. А., УСТИНОВ А. И. Термический анализ микрослойных присадок на основе интерметаллидообразующих элементов № 12

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

БЕРНАДСКИЙ В. Н., МАКОВЕЦКАЯ О. К. Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике № 1

БЕРНАДСКИЙ В. Н., ШЕЛЯГИН В. Д., МАКОВЕЦКАЯ О. К. Современный рынок лазерной техники для сварки и обработки материалов № 10

БЛАЩУК В. Е. Сварка титана и его сплавов неплавящимся электродом (Обзор) № 4

БОЛОТОВ Г. П. Влияние состояния поверхности электродов на устойчивость тлеющего разряда в условиях сварки № 6

БОРИСОВ Ю. С., ПАНЬКО М. Т., РУПЧЕВ В. Л. Способы производства порошков с квазикристаллической составляющей для газотермического нанесения покрытий (Обзор) № 4

БУТ В. С., ОЛЕЙНИК О. И. Основные направления развития технологии ремонта магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации под давлением № 5

ГАВРИШ В. С., РУДЕНКО П. М., ПОДОЛА Н. В. Система автоматического управления и контроля контактной точечной сварки № 9

ГРАНОВСКИЙ Н. А., ТИМЧЕНКО В. В., ИЛЮШЕНКО В. М. Двухпостовая установка для ТИГ сварки меди № 12

ГРЕЧАНЮК Н. И., КУЧЕРЕНКО П. П., ГРЕЧАНЮК И. Н. Новое электронно-лучевое оборудование и технологии получения новых материалов и покрытий № 5

ГУЦА О. И., БРОДОВОЙ В. А., СМИЛЕНКО В. Н. Определение главных направлений и величины остаточных напряжений в высокотекстурированных материалах акустическим методом № 9

ДЕМЧЕНКО Э. Л., ВАСИЛЬЕВ Д. В. Влияние структурно-фазового состояния высокопрочного металла шва на свойства сварных соединений закаливающихся сталей № 7

ЕМЕЛЬЯНОВ О. А., СЛАВИНСКИЙ Р. Л., ЯРЕМЕНКО Д. В. Вторичные напряжения в сварных мостовых кранах № 6

ЕРЕМИН Е. Н. Модифицирование металла шва при электрошлаковой сварке жаропрочного сплава ХН77ТЮР № 9

ЖАДКЕВИЧ М. Л., ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ Е. Ф., ПУЗРИН Л. Г., ШЕВЦОВ А. В., ЯВОРСКИЙ М. Н. Расчет толщины наплавленного слоя на деталях задвижек нефтегазовой арматуры высокого давления № 5

ЖЕРНОСЕКОВ А. М., АНДРЕЕВ В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) № 10

ЗАЛЕВСКИЙ А. В., ГАЛИНИЧ В. И., ОСИПОВ Н. Я., НЕТЯГА В. И., КИРИЧЕНКО О. П. Сварочно-технологические свойства нового флюса марки АН-47ДП № 11

ИГНАТЧЕНКО П. В. Производство сварочных материалов в СНГ (по материалам IV Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ) № 10

ИЛЮШЕНКО В. М., ВОРОПАЙ Н. М., ПОЛЯКОВ В. А. Технологические особенности процессов автоматизированной дуговой сварки при ремонте крупногабаритных резервуаров № 7

ИЩЕНКО А. Я., ПОДЪЕЛЬНИКОВ С. В., ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (Обзор) № 11

КАСАТКИН О. Г., ЦАРЮК А. К., СКУЛЬСКИЙ В. Ю., ГАВРИК А. Р., МОРАВЕЦКИЙ С. И., КЛЕЩЕВНИКОВ И. Д., КОПЫЛОВ Ю. М., МЕДВЕДЕВ А. Г. Способ повышения сопротивляемости локальным повреждениям сварных соединений трубопроводов АЭС № 3

КИРЬЯН В. И., КАЙДАЛОВ А. А., НОВИКОВА Д. П., БОГАЙЧУК И. Л., КЕСНЕРС М. Улучшение структуры сварных соединений под воздействием широкополосных ультразвуковых колебаний в процессе сварки № 2

КИРЬЯН В. И., КНЫШ В. В., КУЗЬМЕНКО А. З. Продление ресурса металлических пролетных строений железнодорожных мостов с усталостными повреждениями № 7

КНЫШ В. В., КОВАЛЬЧУК В. С. Повышение ресурса металлоконструкций из низколегированных сталей высокочастотной механической проковкой после ремонтной сварки № 11

КОВТУНЕНКО В. А. Мост им. Е. О. Патона спустя полвека № 12

КОЗУЛИН С. М., ЛЫЧКО И. И., КОЗУЛИН М. Г. Методы восстановления бандажей вращающихся печей (Обзор) № 10

КОЛЯДА В. А., ШАПОВАЛОВ Е. В. Стереоскопическое измерение пространственных координат стыков в сварочном производстве № 6

КОРЧЕМНЫЙ В. В., СКОРИНА Н. В., АНОШИН В. А. Разработка электродов для сварки и наплавки алюминиевых бронз № 8
КРИВЦУН И. В., ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю., ШУЛЫМ В. Ф., ТЕРНОВОЙ Е. Г. Гибридная лазерно-плазменная сварка алюминиевых сплавов № 5

КУЗЬМЕНКО Г. В., КУЗЬМЕНКО В. Г., БОЛОТОВ Н. В., ШЕМЕТ Ю. В. Автоматическая однопроходная электродуговая сварка стальных токоподводов электролизеров для производства алюминия № 8

КУЛИК В. М., САВИЦКИЙ М. М., ЛУПАН А. Ф., ЧЕРТОРЫЛЬСКИЙ Л. А., СУХОЯРСКИЙ В. Э. Аргодуговая сварка заготовок валов для металлургического оборудования № 10

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., РАДЬКО В. П., КАЗЫМОВ Б. И., ЗЯХОР И. В., НИКОЛЬНИКОВ А. В. Особенности обнаружения дефектов при ультразвуковом контроле соединений труб, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением № 1

ЛАНКИН Ю. Н. Компьютерная система контроля технологических параметров ЭШС № 5

МАХНЕНКО В. И., МАХНЕНКО О. В., ЗИНЧЕНКО О. Я. Исследование работоспособности сварных соединений при испытаниях на герметичность парогенераторов ПГВ-1000М № 4
МОЗЖУХИН А. А. Конструировать изобретая № 3

НЕКЛЮДОВ И. М., БОРЦ Б. В., ВАНЖА А. Ф., ЛОПАТА А. Т., РЫБАЛЬЧЕНКО Н. Д., СЫТИН В. И., ШЕВЧЕНКО С. В. Повышение качества неразъемных соединений — путь к продлению ресурса тепловыделяющих сборок № 4

НИКИФОРЧИН Г. Н., СТУДЕНТ О. З., СТЕПАНЮК С. М., МАРКОВ А. Д. Оценка технического состояния сварных соединений паропроводов ТЭС с учетом водородной деградации эксплуатируемого металла № 6

ПАТОН Б. Е., ЮЩЕНКО К. А., ЛЫЧКО И. И., КОВАЛЕВ В. Д., ВЕЛИКИЙ С. И., ПРИТУЛА С. И., ЧЕПУРНОЙ А. Д., НИКИТЧЕНКО С. П., ШАЛАШНЫЙ А. Н. Оборудование, техника и технология электрошлаковой сварки неповоротных кольцевых стыков № 7

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ИЩЕНКО А. Я., ГРИНЮК А. А., ЯВОРСКАЯ М. Р. Механические свойства соединений алюминиевого сплава 1441, полученных при различных способах сварки № 3

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ИЩЕНКО А. Я., ЯВОРСКАЯ М. Р. Прочность соединений тонколистовых алюминиевых сплавов, полученных сваркой трением с перемешиванием № 9

ПОХОДНЯ И. К., ЯВДОЩИН И. Р., МАРЧЕНКО А. Е., СКОРИНА Н. В., КАРМАНОВ В. И., ФОЛЬБОРТ О. И. Низководородные электроды для судоремонта, ремонта объектов металлургического комплекса и трубопроводного транспорта № 5

РИМСКИЙ С. Т. Особенности истечения двух газовых потоков из сопел сварочных горелок при автоматической сварке плавящимся электродом № 2

РУДЕНКО П. М., ГАВРИШ В. С. Система автоматического управления и контроля процесса контактной точечной сварки КСУ КС 02 № 11

РЯБЦЕВ И. А., КУСКОВ Ю. М., КОНДРАТЬЕВ И. А., ЧЕРНЯК Я. П., РЯБЦЕВ И. И. Материалы и энергосберегающие технологии наплавки для восстановления и изготовления деталей машин и механизмов № 3

САЛЬНИКОВ А. С., ОТРОКОВ В. В., ШЕЛЕНКОВ Г. М., ЦЫМБАЛ Э. Л., ЛАКТИОНОВ М. А. Применение коррозионностойкой наплавки в технологическом оборудовании, эксплуатируемом в контакте с морской водой № 7
САМОТУГИН С. С., МАЗУР В. А. Причины образования дефектов при поверхностном упрочнении сталей и сплавов высококонцентрированными источниками нагрева № 3

ТРОИЦКИЙ В. А., ПОСЫПАЙКО Ю. Н., ШЕВЧЕНКО И. Я., КАРМАЗИН В. И., КОСТЕНКО Г. Е. Дефектоскопия сварных соединений резервуара для хранения жидкого аммиака № 3

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Автоматизация процедур обучения роботов семейства «PUMA» № 6

ЧЕРНЯК Я. П. Сравнительная оценка износостойкости электродных материалов, применяемых для восстановления трамвайных рельсов № 12

ШЕЛЯГИН В. Д., ХАСКИН В. Ю., СИОРА А. В., БЕРНАЦКИЙ А. В., ГОНЧАРЕНКО Е. И., ЧИЖСКАЯ Т. Г. Лазерная и лазерно-дуговая сварка сталей в защитных газах № 1

ШЛЕПАКОВ В. Н., ИГНАТЮК В. Н., КОТЕЛЬЧУК А. С., ГИТИН Ю. М. Механизированная ремонтная сварка порошковой проволокой агрегатов металлургического комплекса № 9

ШОНИН В. А., НЕДЕЙ Т. Н. Прочностные свойства стыковых соединений тонколистового сплава АМгб при лазерно-дуговой сварке № 2

ЮЩЕНКО К. А., ЛЕВЧЕНКО О. Г., БУЛАТ А. В., БЕЗУШКО О. Н., САМОЙЛЕНКО В. И., МИСЕЧКО В. В. Санитарно-гигиенические характеристики покрытых электродов для сварки высоколегированных сталей № 12

ЮЩЕНКО К. А., МОНЬКО Г. Г., КОВАЛЕНКО Д. В., ПЕСТОВ В. А. Автоматическая аргодуговая сварка для герметизации патронов с отработанным ядерным топливом № 8

ЮЩЕНКО К. А., ЧЕКОТИЛО Л. В., НАСТЕНКО Г. Ф., ДАНИЛОВ Ю. Б., КАЧАНОВ В. А., КАБАШНЫЙ А. И., ИВАНУНА С. Н., ДОРН В. Р., ИЛИЕНКО В. В., АМБРОЗЯК Н. В., КИСЛЫЙ Б. П., ХОДАН Т. М. Продление ресурса эксплуатации крупногабаритных наливных резервуаров для хранения концентрированной серной кислоты № 9

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Диссертация на соискание ученой степени 1–3, 7, 8, 11, 12

ЖЕРНОСЕКОВ А. М., КИСЛИЦЫН В. М. Повышение эффективности газогенераторов водородно-кислородной смеси № 4
ЖУДРА А. П., КРИВЧИКОВ С. Ю., ПЕТРОВ В. В. Влияние титана на трещиностойкость углеродистого наплавленного металла № 10

ИЛЮШЕНКО В. М., БУТАКОВ Г. А., ГАНЧУК А. В. Робототехнологический комплекс для сварки шаровых кранов в смеси Ar + CO₂ № 12

КОВАЛЬЧУК В. С., КНЫШ В. В., ПОЗНЯКОВ В. Д., КАСАТКИН С. Б. Способ повышения циклической долговечности и ресурса сварных стальных конструкций № 3

ЛАНКИН Ю. Н. Регулятор уровня металлической ванны при ЭШС № 3

ЛАНКИН Ю. Н., БАЙШТРУК Е. Н. Датчик уровня металлической ванны при ЭШС № 6

Новости 1–12

Новые книги 1, 3, 8, 10, 11

Патенты в области сварочного производства 1–8, 10–12
ПИРУМОВ А. Е., СКАЧКОВ И. О., СУПРУН С. А., МАКСИМОВ С. Ю. Специализированная информационно-измерительная система для мониторинга процесса дуговой сварки № 8
По зарубежным журналам 1–4, 6–8, 10–12

Разработки в области сварки алюминиевых сплавов, № 11
РЫЖОВ Р. Н. Влияние импульсных электромагнитных воздействий на формирование и кристаллизацию швов № 2

САВИЦКИЙ А. М., САВИЧЕНКО А. А., КУЛИК В. М., ЛУПАН А. Ф., МЕЛЬНИЧУК Г. М., ЧЕРТОРЫЛЬСКИЙ Л. А., ГОЛУБ Н. А., СУПРУНЕНКО В. А. Облегченные сварные баллоны для автотранспорта № 1

СИДОРЕЦ В. Н., ЖЕРНОСЕКОВ А. М. Компьютерное моделирование импульсно-дуговых систем № 1

ЧАЙКА Н. К. Блок смещения и питания катода электронно-лучевой сварочной пушки с использованием инверторных преобразователей № 7

ЧИГАРЕВ В. В., ЗАРЕЧЕНСКИЙ Д. А., БЕЛИК А. Г. Особенности плавления порошковых лент с экзотермическими смесями в наполнителе № 2

ХРОНИКА

В Межгосударственном научном совете по сварке и родственными технологиям № 8

В Международном институте сварки: гармонизированная квалификационная система персонала сварочного производства № 5

Воропаю Н. М. — 70 № 11

Всероссийская научно-техническая конференция «Быстрозакаленные материалы и покрытия» № 2

2-я Научно-практическая конференция на ОАО «Фирма «СЭЛМА» № 10

Выставка «Сварка. Родственные технологии-2007» в Киеве № 6

Гладкому П. В. — 70 № 11

9-я Европейская конференция по неразрушающему контролю № 3

Дворецкому В. И. — 70 № 7

Жадкевичу М. Л. — 70 № 7

«Железнодорожный транспорт. Сварка 2007» № 7

Конгресс по термической обработке металлов № 8

Конференция «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» № 3

К 90-летию со дня рождения С. М. Гуревича № 3

К 90-летию со дня рождения В. Н. Земзина № 9

К 75-летию со дня рождения В. А. Игнатова № 9

К 75-летию со дня рождения В. Ф. Лапчинского № 4

К 100-летию со дня рождения С. П. Королева № 3

Кушниренко Б. Н. — 80 № 11

Лазерные технологии на новом этапе развития № 8

Лебедеву В. К. — 85 № 6

Международная выставка «Судостроение-2007» № 8

Международная конференция в Крыму по трубопроводному транспорту № 8

Международная конференция «Ті — 2007 в СНГ» № 7

Международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» № 11

Международная специализированная выставка «Сварка, резка, наплавка» в Москве № 8

Наши поздравления № 2

Наши поздравления (А. А. Аммосов, Е. А. Великоиваненко) № 4

Наши поздравления (Ю. С. Борисов, В. Ф. Хорунов, С. И. Питула, Ю. К. Бондаренко) № 8

Наши поздравления (В. Л. Найда, М. Ф. Гнатенко) № 10

Наши поздравления (И. К. Походне, Г. И. Лескову, А. Я. Ищенко, А. А. Мазуру, А. К. Царюку, Ф. Блуме) № 1

Памяти О. А. Емельянова № 12

Пентегову И. В. — 75 № 3

Попову В. С. — 80 № 5

5-я Международная конференция «Высокотемпературная капиллярность-2007» № 5

5-я Международная конференция «Металлы, сварка и порошковая металлургия» № 10

Сессия Научного совета по новым материалам Международной ассоциации академий наук № 8

Сотрудничество ИЭС им. Е. О. Патона с индийскими центрами по подготовке персонала для сварочного производства № 9

Столбову В. И. — 75 № 2

Ученые ИЭС им. Е. О. Патона — лауреаты премии Ассоциации сварщиков Грузии № 8

IV Молодежная конференция «Сварка и родственные технологии» № 8

60-я Ежегодная ассамблея Международного института сварки № 9

Юбилейная конференция «Дни сварки 2006 в Германии» № 2

WELDEX/Россварка-2006 № 1

WELDEX/Россварка-2007 № 12

ИНФОРМАЦИЯ

Календарь конференций и выставок в 2007 г. (сварка и родственные технологии) № 1

Программы профессиональной подготовки в МУАЦ на 2008 г. № 12

Разработано в ИЭС № 5–9

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Алексеев И. И. № 4, 6Алимов А. Н. № 5
Амброзьяк Н. В. № 9
Андреев В. В. № 10
Аношин В. А. № 8
Ахонин С. В. № 4, 8**Б**айштрук Е. Н. № 6Бартенев И. А. № 10
Безушко О. Н. № 12
Белик А. Г. № 2
Белоус В. Ю. № 4
Бернадский В. Н. № 1, 10
Бернацкий А. В. № 1, 11Блащук В. Е. № 4Бобрик В. Г. № 3
Богайчук И. Л. № 2
Болотов Г. П. № 6
Болотов Н. В. № 8
Бондаренко В. Л. № 4
Борисов Ю. С. № 2–4
Борисова А. Л. № 2, 3
Борц Б. В. № 4
Бродовой В. А. № 9
Булат А. В. № 12
Бут В. С. № 5
Бутаков Г. А. № 12
Буткова Е. И. № 9**В**анжа А. Ф. № 4Васильев В. Г. № 9
Васильев Д. В. № 7
Великий С. И. № 7
Великоиваненко Е. А. № 8, 12
Войнарович С. Г. № 3
Воропай Н. М. № 7
Вржижевский Э. Л. № 8**Г**аврик А. Р. № 3Гавриш В. С. № 9, 11
Галинич В. И. № 11
Ганчук А. В. № 12
Гедрович А. И. № 4
Гириджаран П. К. № 4
Гитин Ю. М. № 9
Головко В. В. № 12
Голуб Н. А. № 1
Гольник В. Ф. № 2
Гончаренко Е. И. № 1
Гордань Г. Н. № 6
Грабин В. Ф. № 12
Грановский Н. А. № 8, 12
Гречанюк И. Н. № 5
Гречанюк Н. И. № 5
Григоренко Г. М. № 2, 4, 6, 9, 11
Григоренко С. Г. № 6
Гринюк А. А. № 1, 3, 9
Гуца О. И. № 9**Д**анилов Ю. Б. № 9Дели А. А. № 6
Демченко Э. Л. № 7
Демьянов А. И. № 12
Долиненко В. В. № 2
Дорн В. Р. № 9
Дорошенко Л. К. № 9
Дядин В. П. № 1**Е**мельянов О. А. № 6

Еремин Е. Н. № 9

Жадкевич М. Л. № 5, 11Жерносеков А. М. № 1, 4, 10
Жудра А. П. № 10**З**агадарчук В. Ф. № 6Залевский А. В. № 11
Зареченский Д. А. № 2
Зеленин В. И. № 11
Зеленин Е. В. № 11
Зельниченко А. Т. № 4
Зинченко О. Я. № 4
Зяхор И. В. № 1, 9**И**вануна С. Н. № 9Игнатенко А. В. № 2, 8, 9
Игнатченко П. В. № 10
Игнатюк В. Н. № 9
Илиенко В. В. № 9
Илюшенко В. М. № 7, 12 (2)
Ипатова З. Г. № 2
Ищенко А. Я. № 2 (2), 3, 4, 6, 7, 9, 11 (3)**К**абашный А. И. № 9Кавуненко П. М. № 11
Кавуниченко А. В. № 3
Казымов Б. И. № 1
Кайдалов А. А. № 2
Кармазин В. И. № 3
Карманов В. И. № 5
Карпец М. В. № 3
Касаткин О. Г. № 3
Касаткин С. Б. № 3
Качанов В. А. № 9
Кеснерс М. № 2
Кириченко О. П. № 11
Кирьян В. И. № 2, 7
Киселевский Ф. Н. № 2
Кислицын В. М. № 4
Кислый Б. П. № 9
Клещевников И. Д. № 3
Кныш В. В. № 3, 7, 11, 12
Ковалев В. Д. № 7
Коваленко Д. В. № 8
Ковальчук В. С. № 3, 11
Ковтуненко В. А. № 12
Козулин М. Г. № 10Козулин С. М. № 10
Коляда В. А. № 6
Кондратьев И. А. № 3
Кондрашов К. А. № 8
Копылов Ю. М. № 3
Коржик В. Н. № 12
Коросташевский П. В. № 7
Корчемный В. В. № 8
Костенко Г. Е. № 3
Костин В. А. № 2 (2), 4, 9, 11
Котельчук А. С. № 9
Кривцун И. В. № 5, 12
Кривчилов С. Ю. № 10
Кузьменко А. З. № 7, 12
Кузьменко В. Г. № 8
Кузьменко Г. В. № 8
Кузьмин С. В. № 3, 10
Кузьмич-Янчук Е. К. № 3
Кулик В. М. № 1 (2), 9, 10
Кусков Ю. М. № 3
Кучеренко П. П. № 5
Кучук-Яценко С. И. № 1, 3, 6, 9**Л**абур Т. М. № 1, 2, 4, 9, 11Лактионов М. А. № 7
Ланбин В. С. № 1, 5
Ланкин Ю. Н. № 1, 3, 5, 6
Лебедев В. А. № 4
Левченко О. Г. № 12
Лобанов Л. М. № 2, 6, 7, 10
Логинов В. П. № 2, 6, 7, 10
Лозовская А. В. № 11
Лопата А. Т. № 4
Лупан А. Ф. № 1, 10
Лысак В. И. № 3, 10
Лычко И. И. № 7, 10**М**азур В. А. № 3Макаренко Н. А. № 8
Маковецкая О. К. № 1, 10
Максимов С. Ю. № 8
Марков А. Д. № 6
Марченко А. Е. № 5
Махненко В. И. № 4, 5, 10 (2), 11, 12
Махненко О. В. № 4, 5, 8, 9
Медведев А. Г. № 3
Мельниченко Т. В. № 7
Мельничук Г. М. № 1
Миленин А. С. № 10, 11
Миронова М. В. № 6
Мисечко В. В. № 12
Миц И. В. № 10
Мищенко Р. Н. № 8
Мовчан Б. А. № 7
Мозжухин А. А. № 3
Монько Г. Г. № 8
Моравецкий С. И. № 3, 6
Мохорт В. А. № 11
Мужиченко А. Ф. № 9
Муравейник А. Н. № 6, 7

Муруган Н. № 4

Назаренко О. К. № 1, 5

Настенко Г. Ф. № 9

Недей Т. Н. № 2

Неклюдов И. М. № 4

Нетяга В. И. № 11

Никитченко С. П. № 7

Никифорчин Г. Н. № 6

Никольников А. В. № 1, 9

Новикова Д. П. № 2, 6

Олейник О. И. № 5

Осипов Н. Я. № 11

Остсеин А. А. № 5

Отроков В. В. № 7

Панин В. Н. № 5

Панько М. Т. № 4

Паршенков Н. А. № 6

Патон Б. Е. № 7

Пашин Н. А. № 2, 6, 7, 10

Переплетчиков Е. Ф. № 5, 10

Пестов В. А. № 8

Петриченко И. К. № 8

Петров В. В. № 10

Петров С. В. № 12

Пивторак Н. И. № 8

Пирумов А. Е. № 8

Подола Н. В. № 9

Подъяельников С. В. № 11

Позняков В. Д. № 3

Покляцкий А. Г. № 1–3, 9 (2), 11

Поляков В. А. № 7

Посыпайко Ю. Н. № 3

Походня И. К. № 5

Притула С. И. № 7

Проценко Н. А. № 12

Прощенко В. А. № 3

Пузрин Л. Г. № 5

Радько В. П. № 1

Размышляев А. Д. № 6

Римский С. Т. № 2

Розерт Р. № 5

Роянов В. А. № 7

Руденко А. Э. № 7

Руденко П. М. № 9, 11

Рупчев В. Л. № 4

Рыбаков А. А. № 5

Рыбальченко Н. Д. № 4

Рыжов Р. Н. № 2

Рябцев И. А. № 3, 10

Рябцев И. И. № 3

Савицкий А. М. № 1

Савицкий М. М. № 1 (2), 9, 10

Савиченко А. А. № 1

Сальников А. С. № 7

Самойленко В. И. № 12

Самотугин С. С. № 3

Семенов А. П. № 11, 12

Сидорец В. Н. № 1

Сильченко Т. Ш. № 10

Сиора А. В. № 1, 11

Скачков И. О. № 8

Скорина Н. В. № 5, 8

Скуба Т. Г. № 7

Скульский В. Ю. № 3

Славинский Р. Л. № 6

Смиленко В. Н. № 6, 7, 9

Смиян О. Д. № 9

Сокирко В. А. № 6

Соловей С. А. № 12

Степанюк С. М. № 6

Студент О. З. № 6

Супрун С. А. № 8

Супруненко В. А. № 1

Сухоярский В. Э. № 10

Сытин В. И. № 4

Тараненко С. Д. № 3

Таранова Т. Г. № 2 (2), 4, 9, 11

Терновой Е. Г. № 5, 11

Тимченко В. В. № 12

Ткаченко А. Н. № 4

Ткаченко С. А. № 4

Топольский В. Ф. № 8

Третьяк Н. Г. № 11

Троицкий В. А. № 3

Туник А. Ю. № 3

Устинов А. И. № 7, 12

Файнберг Л. И. № 5

Фальченко Ю. В. № 6, 7

Федорчук В. Е. № 2

Фольборт О. И. № 5

Харламов М. Ю. № 12

Харченко Г. К. № 6 (2), 7, 9

Хаскин В. Ю. № 1, 5, 11

Хаустов С. В. № 10

Ходан Т. М. № 9

Царюк А. К. № 3

Цыбулькин Г. А. № 4, 6

Цымбал Э. Л. № 7

Чайка А. А. № 2 (2), 4

Чайка Н. К. № 7

Чекотило Л. В. № 9

Чепурной А. Д. № 7

Черняк Я. П. № 3, 12

Черторыйский Л. А. № 1, 10

Чигарев В. В. № 2, 8

Чижская Т. Г. № 1

Чувичилов В. А. № 3

Шалашный А. Н. № 7

Шаповалов Е. В. № 6

Швачко В. И. № 2

Швец В. И. № 3

Швец Ю. В. № 3

Шевцов А. В. № 5

Шевченко И. Я. № 3

Шевченко С. В. № 4

Шеленков Г. М. № 7

Шелягин В. Д. № 1, 5, 10, 11

Шемет Ю. В. № 8

Шишкин А. Е. № 12

Шишкин Е. А. № 12

Шлепаков В. Н. № 9

Шонин В. А. № 2

Шулым В. Ф. № 5, 11

Ющенко К. А. № 7–9, 12

Явдошин И. Р. № 5

Яворская М. Р. № 2, 3, 9

Яворский М. Н. № 5

Яременко Д. В. № 6

15 лет на рынке сварочного оборудования Украины

предприятие «Трида-Сварка» г. Запорожье

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

ABICOR BINZEL
Fronius
SELMA



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

Электромашино-строительный завод «ФИРМА СЭЛМА»

SELMA

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



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



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

ТОРГОВИЙ ДІМ ЗВАРЮВАННЯ

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




ООО "НПФ "Элно"
Порошковые проволоки
для сварки, наплавки
и напыления



ООО "НПФ "Элно" является представителем компаний WELDING WIRE CO., LTD (Япония) и HYUNDAI WELDING (Южная Корея) в Украине



ул. Петровская, 69, г. Киев, 03680 тел. (044) 200-80-25, 200-85-17 факс (044) 200-85-17 e-mail: info@elno.com.ua



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

Производство материалов для дуговой сварки, наплавки и резки:

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

Порошковые проволоки – ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН69, ПП-АН70М, ПП-АНВ2У, ПП-НнХ25Г14Н3Т, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

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

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

Возможно изготовление других марок материалов

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



ДОНМЕТ
Завод автогенного оборудования

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



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

Лидер производства порошковых проволок в Украине



ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"

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

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК
-ВЕЛТЕК H200 - H620

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

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

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

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



**ООО «ЦЕНТР ПРОМЫШЛЕННОЙ
ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ»**

Предоставляет качественно и в полном объеме на территории Украины следующие услуги:

- контроль качества сварных соединений РГК, УЭК, ВИК, ЦД, МПД, герметичность, стилокопирование, замер твердости, механические испытания и лабораторные исследования;
- термообработка сварных соединений радиационным и индукционным методом;
- геодезическое обеспечение монтажно-строительных работ;
- аттестация персонала по контролю качества сварных соединений на АЭС.

«Центр» имеет все разрешительные документы и лицензии, необходимые для предоставления данных услуг на объектах НАЭК — Энергоатом и Госнадзорохрантруда.

Тел.: 501 31 26; тел./факс: 566 84 33
Моб. тел.: (8 050) 334 82 46; (8 050) 334 82 24

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:

Флюсы сварочные

Проволоки порошковые для внепечной обработки металлургических расплавов

Проволоки порошковые для сварки, наплавки, напыления и металлплазми

Электроды наплавочные, специального назначения, для сварки чугуна и резки

Ферросплавы и легитурсы

Хром металлургический

Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Курганская, 1
г. Днепропетровск
49051, Украина

Тел.: (380562) 35-50-25
Тел./факс: (380562) 35-19-41
E-mail: sp@spetssplov.dp.ua

**производство продажа
сервисное обслуживание**



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



*автономные мобильные
сварочные комплексы на базе
резонансных преобразователей*



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

"ИЭС-ЭПИС"

Украина, 03150 г. Киев
ул. Горького, 56, корп. 2
Тел.: (044) 271-2036
Факс: (044) 271-2107

**НАВКО-
ТЕХ**

Automatic machines and robots for arc welding

**Автоматические установки и роботы
для дуговой сварки**



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА



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

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

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



MEGAFIL®
СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМЫ

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

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


DRAHTZUG STEIN
wire & welding

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

Официальный представитель в Украине

АРКСЭЛ

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

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



ПОДПИСКА — 2008 на журнал «Автоматическая сварка»

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

* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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

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

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

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____

200 г. по

200 г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190 мм) - 570 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) 400 \$

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

Четвертая страница обложки (200×290 мм) - 460 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

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

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

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

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

Внутренняя вставка

Полноцветная (200×290 мм) - 340 \$

Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) - 570 \$

Полноцветная (200×145 мм) - 200 \$

Реклама в разделе информации

Полноцветная (80×120 мм) - 30 \$

Полноцветная (160×120 мм) - 50 \$

● Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

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

● Статья на правах рекламы - 50% стоимости рекламной площади

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

Технические требования к рекламным материалам

● Размер журнала после обрезки 200×290 мм

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

Все файлы в формате IBM PC

● Corell Draw, версия до 10.0

● Adobe Photoshop, версия до 7.0

● QuarkXPress, версия до 7.0

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

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

Подписано к печати 20.11.2007. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отт. 8,3. Уч.-изд. л. 8,9 + 4 цв. вклейки.

Цена договорная.

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

© Автоматическая сварка, 2007