

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ
Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277
Факс: (38044) 200 5484, 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001

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

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Харламов М. Ю., Кривцун И. В., Коржик В. Н., Петров С. В.*
Формирование пленки жидкого металла на торце проволоки-
анода при плазменно-дуговом напылении 3
- Рымар С. В., Жерносеков А. М., Сидорец В. Н.* Влияние
однофазных источников питания сварочной дуги на
электрическую сеть 9
- Шлепаков В. Н., Котельчук А. С.* Исследование термодимичес-
ких характеристик смесей дисперсных материалов методами
дифференциального термического анализа 16
- Римский С. Т.* Управление свойствами металла шва путем
урегулирования уровня окисленности сварочной ванны при
сварке в защитных газах 20
- Моравецкий С. И.* Гигроскопичность высокоосновного
синтетического флюса 24

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Волков В. С.* Конструкции
преобразуемого объема (Обзор) 30
- Богдановский В. А., Гавва В. М., Махлин Н. М., Чередник А. Д.,
Ткаченко А. В., Кудряшев В. Б., Куликов А. П., Ковалюк А. В.*
Применение автоматической орбитальной сварки при изготов-
лении поглощающих вставок контейнеров хранения
отработанного ядерного топлива 41
- Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Войнарович С. Г., Кислица А. Н.,
Кузьмич-Янчук Е. К.* Двухслойное биокерметное покрытие титан
– гидроксипатит 46
- Маковецкая О. К.* Организация и тематика НИР в области
технологий соединения, проводимых Британским институтом
сварки и Объединением исследователей DVS (Обзор) 50

ХРОНИКА

- Второй Украинско-греческий симпозиум по механике
разрушения материалов и конструкций 55
- Итоги выставки «Weldex/Россварка 2011» 57
- Международная выставка «Brasil Welding Show 2011» 60
- Потапьевскому А. Г. — 85 62
- ИНФОРМАЦИЯ** 63
- Программы профессиональной подготовки на 2012 г. 64
- Указатель статей за 2011 г. 67
- Указатель авторов 71

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:

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

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

Address of Editorial Board:

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

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushina
Electron galley:

I. R. Naumova,
I. V. Petushkov, A. I. Sulima
State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved

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

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

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

<i>Kharlamov M. Yu., Krivtsun I. V., Korzhik V. N., Petrov S. V.</i> Formation of film of molten metal on wire-anode end in plasma-arc spraying	3
<i>Rymar S. V., Zhernosekov A. M., Sidorets V. N.</i> Influence of single-phase power sources of welding arc on mains	9
<i>Shlepakov V. N., Kotelchuk A. S.</i> Investigation of thermochemical characteristics of mixtures of disperse materials using methods of differential thermal analysis	16
<i>Rimsky S. T.</i> Control of weld metal properties by adjustment of oxidation level of weld pool in shielded-gas welding	20
<i>Moravetsky S. I.</i> Hygroscopicity of high-basic synthetic flux	24

INDUSTRIAL

<i>Paton B. E., Lobanov L. M., Volkov V. S.</i> Transformable structures (Review)	30
<i>Bogdanovsky V. A., Gavva V. M., Makhlin N. M., Cherednik A. D., Tkachenko A. V., Kudryashev V. B., Kulikov A. P., Kovalyuk A. V.</i> Application of automatic orbital welding in manufacture of absorbing inserts of containers for used nuclear fuel storage	41
<i>Yushchenko K. A., Borisov Yu. S., Voynarovich S. G., Kislitsa A. N., Kuzmich-Yanchuk Ye. K.</i> Two-layer biocermet titanium – hydroxyapatite coating	46
<i>Makovetskaya O. K.</i> Organization and R&D topics in the field of joining technologies carried out by the British Welding Institute and the Association of Researchers of DVS (Review)	50

NEWS

The second Ukrainian-Greek symposium on mechanics of fracture of materials and structures	55
Summary of the exhibition «Weldex/Rossvarka 2011»	57
The International Exhibition «Brasil Welding Show 2011»	60
Potapievsky A. G. is 85	62

INFORMATION	63
Programs of professional training for 2012	64
Index of articles for 2011	67
Index of authors	71



ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНКИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА НА ТОРЦЕ ПРОВОЛОКИ-АНОДА ПРИ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОМ НАПЫЛЕНИИ

М. Ю. ХАРЛАМОВ, канд. техн. наук

(Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, г. Луганск, Украина),

чл.-кор. НАН Украины **И. В. КРИВЦУН**, **В. Н. КОРЖИК**, **С. В. ПЕТРОВ**, доктора техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины)

Предложена математическая модель, описывающая формирование пленки расплавленного металла на торце распыляемой проволоки-анода в условиях плазменно-дугового напыления покрытий. Численно проанализировано влияние параметров режима напыления на положение расплавленного конца проволоки относительно оси плазменной струи, толщину удерживаемой на торце проволоки жидкой прослойки, температуру и скорость течения металла в ней.

Ключевые слова: плазменно-дуговое напыление, покрытия, проволока-анод, режимы напыления, тепловое состояние, пленка расплавленного металла, математическая модель

Стабильность процесса плазменно-дугового проволочного напыления, а также формирование заданных показателей качества покрытий во многом определяются условиями, при которых осуществляется образование сосредоточенного потока частиц распыляемого материала. При этом параметры формируемых дисперсных частиц главным образом зависят от интенсивности процессов теплового и газодинамического взаимодействия плавящейся проволоки-анода с обтекающим ее потоком дуговой плазмы. Поэтому детальное изучение указанных процессов, в том числе разработка соответствующих математических моделей, имеет большое значение для дальнейшего развития технологии плазменно-дугового напыления.

Вопросам распыления проволочных материалов в научно-технической литературе уделено недостаточно внимания, причем имеющиеся работы в основном посвящены процессу электродуговой металлизации [1–3]. Полученные в указанных работах результаты малоприменимы для процесса плазменно-дугового напыления, поскольку он отличается иным расположением распыляемой проволоки относительно дуги (последние образуют между собой угол 70...90°), а также высокими значениями температуры (до 30000 К) и скорости (до 4000 м/с) плазмы, обтекающей проволоку [4].

Для условий плазменно-дугового напыления ранее предложена модель тепловых процессов в сплошной металлической проволоке-аноде, подаваемой в плазменную дугу за срезом сопла плаз-

мотрона [5]. Эта модель позволяет прогнозировать температурное поле и вычислять объем расплавленного металла в зависимости от параметров режима работы плазмотрона, скорости подачи и диаметра проволоки, а также ее пространственного положения относительно среза плазмформирующего сопла и расстояния расплавленного конца проволоки от оси плазменной струи. Однако получаемая в рамках данной модели толщина зоны расплава может значительно отличаться от наблюдаемой в экспериментах. Причиной этого является то, что жидкий металл на конце проволоки находится под значительным динамическим воздействием плазменного потока, в результате чего только часть расплава удерживается на конце проволоки, образуя жидкую прослойку, а часть сносится в тонкую струю — так называемый язык [1]. При этом расплавленный конец проволоки занимает такое положение относительно оси плазменной струи, которое соответствует толщине жидкой прослойки, обеспечивающей баланс теплового и динамического воздействия плазмы на расплавленный металл. Другими словами, для корректного определения параметров удерживаемой на конце распыляемой проволоки прослойки жидкого металла, а также расстояния расплавленного конца проволоки от оси плазменной струи необходимо согласовать расчеты в рамках тепловой модели [5] с расчетами газодинамического воздействия на расплавленный металл поперечного плазменного потока. Разработка такой самосогласованной модели и является целью данной работы.

При построении математической модели формирования пленки расплавленного металла на торце распыляемой проволоки-анода в условиях плазменно-дугового напыления предположим, что сплошная металлическая проволока круглого се-

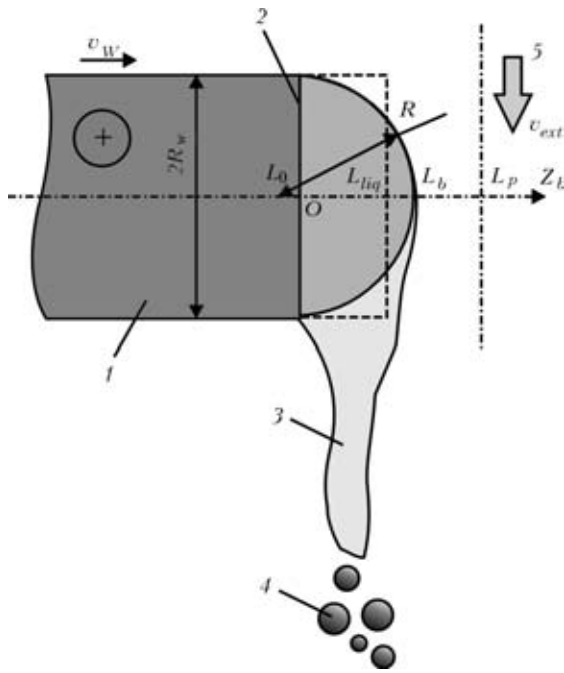


Рис. 1. Схема формирования жидкой прослойки на торце токоведущей проволоки при плазменно-дуговом напылении: 1 — токоведущая проволока; 2 — граница плавления; 3 — струя расплавленного металла («язык»); 4 — напыляемые частицы; 5 — плазменный поток

чения радиусом R_w подается в плазменную дугу с постоянной скоростью v_w перпендикулярно оси симметрии плазменного потока (рис. 1). Дуга замыкается на правом конце проволоки, являющейся анодом. Примем также, что фронт плавления является плоским (плоскость $z_b = 0$) и расположен параллельно оси плазменного потока на расстоянии L_p от нее, а скорость плавления проволоки равна скорости ее подачи. Под действием анодного пятна дуги и обтекающего проволоку высокотемпературного потока плазмы она нагревается и на ее конце образуется объем расплавленного металла толщиной L_{liq} , который сносится в тонкую струю обтекающим проволоку плазменным потоком. Положим, что верхняя часть удерживаемой на торце проволоки жидкой прослойки под действием набегающего плазменного потока принимает форму шарового сегмента с высотой L_b и радиусом R_b шара, образующего сегмент с центром в точке, расположенной на расстоянии L_0 от фронта плавления ($R_b = L_0 + L_b$; $R_b^2 = L_0^2 + R_w^2$) (рис. 1).

В результате уноса части расплава с конца проволоки условия теплового баланса в ней нарушаются. Стремясь к равновесному состоянию, проволока займет такое пространственное положение относительно оси плазменной струи, определяемое, например, расстоянием $L_p - L_b$, при котором объем удерживаемой на конце проволоки жидкой прослойки V_b будет соответствовать объему расплавленного металла проволоки $V_{liq} = \pi R_w^2 L_{liq}$

т. е. будет выполняться условие $V_b = V_{liq}$. Ставится задача определения пространственного расположения проволоки, при котором достигается выполнение указанного условия при заданных параметрах режима напыления, вычисление объема удерживаемой на конце проволоки жидкой прослойки, температуры, а также скорости течения расплавленного металла.

Перейдем к построению модели формирования жидкой прослойки на торце проволоки. Толщина L_{liq} и соответственно объем V_{liq} слоя расплавленного металла в зависимости от расстояния расплавленного конца проволоки до оси плазменной струи $L_p - L_{liq}$ при прочих заданных параметрах режима напыления могут быть определены из модели теплового состояния проволоки [5].

Для оценки толщины жидкой прослойки, удерживаемой на торце проволоки, рассмотрим взаимодействие двух потоков — вязкого течения нежимаемой жидкости (расплавленного металла) вдоль границы плавления проволоки и турбулентного течения дуговой плазмы вдоль поверхности жидкого металла с границей раздела сред при $z_b = L_b$ (рис. 1). Предположим, что основной силой, действующей на расплав со стороны плазменного потока, является сила вязкого трения. Учитывая, что течение расплава происходит в спутном плазменном потоке, вязкостные силы на границе раздела сред имеют преобладающее значение, поэтому такое приближение можно считать вполне оправданным.

В плазменном потоке в непосредственной близости от границы жидкого металла образуется пограничный слой [6], для которого характерно резкое изменение основных параметров течения в поперечном направлении. В частности, скорость плазмы от своего значения во внешнем потоке изменяется до значения скорости течения жидкого материала проволоки на границе раздела сред (предполагается выполнение условия «прилипания»).

С учетом турбулентного характера течения плазмы [4] в рассматриваемом пограничном слое можно выделить несколько подобластей [7]. Внешний слой является областью полностью развитого турбулентного течения, свойства которого зависят от предыстории потока. Внутренняя область турбулентного пограничного слоя в общем случае состоит из вязкого подслоя, переходной области и области логарифмического профиля скорости. Течению во внутренней области соответствует универсальный характер распределения скорости, что служит основой для построения специальных пристеночных функций, связывающих параметры течения с расстоянием от границы раздела сред [6, 7].

С учетом малости толщины жидкой прослойки течение жидкого металла в ней можно считать практически ламинарным и предположить, что здесь имеет место линейная зависимость тангенциальной составляющей скорости [6, 7]:



$$v_{liq}(z_b) = \frac{z_b}{L_b} v_m, \quad (1)$$

где v_m — скорость течения расплава на границе раздела сред (при $z_b = L_b$). Величина v_m может быть связана с параметрами обтекающего проволоку плазменного потока, исходя из допущения о том, что касательные напряжения в плазме и расплаве на границе раздела сред равны между собой:

$$\eta_{liq} \frac{\partial v_{liq}}{\partial z_b} \Big|_{L_b} = \eta_p \frac{\partial v_p}{\partial z_b} \Big|_{L_b}, \quad (2)$$

где η_p, η_{liq} — коэффициенты динамической вязкости плазмы и расплавленного металла проволоки соответственно; $v_p(z_p)$ — распределение касательной (относительно поверхности расплава) скорости плазмы вдоль оси z_b . Для нахождения $v_p(z_p)$ используем логарифмическую пристеночную функцию, которая часто применяется при описании параметров течения в пристеночных областях [7, 8]. Применительно к рассматриваемым нами условиям обтекания данную функцию можно записать следующим образом:

$$v^+ = \frac{1}{\text{Kar}} \ln(Ey^+). \quad (3)$$

Здесь $v^+ = \bar{v}_p/v^*$ — безразмерная касательная скорость плазмы; $\bar{v}_p(z_b) = v_p(z_b) - v_m$ — скорость течения плазмы относительно скорости течения расплава; v^* — динамическая скорость, определяемая как

$$v^* = \sqrt{\tau_p/\rho_p}, \quad (4)$$

где $\tau_p = \left(\eta_p \frac{\partial u}{\partial r} \right)_{L_b}$ — напряжение трения в плазме

на обтекаемой поверхности; ρ_p — плотность плазмы; $\text{Kar} \approx 0,41$ — постоянная Кармана; E — постоянная, определяющая степень шероховатости стенки (для гладкой стенки $E = 8,8$ [7]); y^+ — безразмерное расстояние от границы раздела, определяемое как $y^+ = \frac{\rho_p(z_b - L_b)}{\eta_p} v^*$.

Примем, что переход от скорости течения расплава (условие «прилипания») до скорости невозмущенного потока плазмы, которая может быть определена, например, по модели [4], осуществляется в области $0 \leq y^+ < 400$ [8]. Тогда на основании выражения (3) касательное напряжение в плазме можно представить следующим образом:

$$\tau_p(v_m) = \frac{\bar{v}_{ext}^2(v_m)}{\left(\frac{1}{\text{Kar}} \ln(Ey^+) \right)^2} \rho_p = \frac{\bar{v}_{ext}^2(v_m) \rho_p}{396,71}, \quad (5)$$

где $\bar{v}_{ext}(v_m) = v_{ext} - v_m$ — скорость течения невозмущенного потока плазмы вблизи торца проволоки v_{ext} относительно скорости течения расплава v_m .

В итоге для определения толщины жидкой прослойки L_b необходимо рассмотреть баланс массы расплавленного материала проволоки. Учитывая принятое допущение, что расплавленный металл на верхней части торца проволоки принимает форму шарового сегмента, расход жидкого материала проволоки через плоскость, проходящую через ось z_b перпендикулярно оси плазменной струи, можно определить как

$$G_2 = 2\rho_w \int_0^{L_b} v_{liq}(z_b) \int_0^{y(z_b)} dy dz_b, \quad (6)$$

где $y(z_b) = \sqrt{R_w^2 - 2((R_w^2 - L_b^2)/(2L_b))z_b - z_b^2}$ — кривая пересечения шарового сегмента с указанной плоскостью; ρ_w — плотность металла проволоки. В свою очередь, исходя из условия постоянства и равенства скоростей подачи и плавления проволоки, количество материала проволоки, расплавляющегося за единицу времени и, следовательно, пересекающего сечение $z_b = 0$ определяется выражением

$$G_1 = \rho_w v_w S_w, \quad (7)$$

где $S_w = \pi R_w^2$ — площадь сечения проволоки.

Тогда, учитывая, что в рассматриваемую половину шарового сегмента поступает половина расплавляемого материала проволоки, приходим к следующему соотношению:

$$G_1/2 = G_2. \quad (8)$$

Подставляя в (8) выражения (6) и (7), а также с учетом предположения (1), получаем зависимость максимальной скорости течения расплава от толщины его прослойки на торце проволоки:

$$v_m(L_b) = \frac{S_w}{4} \frac{v_w L_b}{L_b y(z_b)} \int_0^{z_b} \int_0^{y(z_b)} dy dz_b. \quad (9)$$

Теперь условие (8) можем переписать следующим образом:

$$\frac{v_w S_w}{2} = 2 \frac{\tau_p(v_m(L_b))}{\eta_{liq}} \int_0^{L_b} \int_0^{y(z_b)} dy dz_b, \quad (10)$$



откуда и может быть определена толщина L_b жидкой прослойки на торце проволоки. Уравнение (10), замыкаемое соотношениями (5) и (9), можно решить одним из численных методов решения нелинейных уравнений [9]. Для этого может быть использован простейший метод дихотомии или, учитывая, что первообразная подынтегрального выражения в (5) и (9) выражается аналитически, итерационный метод Ньютона.

Используя модель тепловых процессов в проволоке [5] для определения объема ее расплавленной части V_{liq} , а также выражение (10), на основе которого определяется объем удерживаемой на торце проволоки жидкой прослойки

$$V_b = \pi \int_0^{L_b} [y(z_b)]^2 dz_b, \quad (11)$$

можно определить, какое положение расплавленного конца проволоки относительно оси плазменной струи устанавливается при заданном режиме напыления. Для этого, фиксируя параметры режима и варьируя лишь величину L_b , на основе модели [5] получаем зависимость $V_{liq} = V_{liq}(L_p - L_{liq})$, а на основе выражений (10), (11) — зависимость $V_b = V_b(L_b)$ и находим такое положение проволоки, при котором выполняется их равенство. Это условие, по сути, является связующим звеном между моделями теплового [5] и газодинамического взаимодействия проволоки с поперечно обтекающим ее плазменным потоком и позволяет определять расстояние, на котором отстоит расплавленный конец проволоки от оси плазменной струи в зависимости от значений параметров режима напыления. В свою очередь на основе этой величины с помощью выражений (1), (9), (11) и модели [5] могут быть определены характеристики жидкого металла, удерживаемого на конце проволоки, в том числе скорость его течения и температура. Указанные характеристики будут оказывать непосредственное влияние

на размеры и температуру срывающихся с конца проволоки капель, а также определять место их ввода в плазменный поток.

Проведем численный анализ влияния параметров режима напыления на характеристики жидкой прослойки, удерживаемой на торце распыляемой проволоки-анода, а также пространственное положение последней. Расчеты проводили применительно к условиям плазменно-дугового напыления стальной проволоки, теплофизические характеристики которой взяты из работы [10]. Выбраны следующие параметры режима напыления [4]: ток дуги $I = 160...240$ А, расход плазмообразующего газа (аргона) $G_{Ar} = 1,0...1,5$ м³/ч, скорость подачи проволоки 6...15 м/мин, диаметр проволоки 1,2...1,6 мм. Предполагалось, что проволока-анод расположена на расстоянии 6,3 мм от среза сопла плазмотрона перпендикулярно оси плазменного потока. Распределения скорости и температуры невозмущенного потока плазмы вдоль проволоки-анода для различных режимов работы плазмотрона были предварительно рассчитаны на основе модели [4] и представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, значения скорости и температуры плазмы достаточно резко изменяются в поперечном направлении относительно оси плазменной струи. Поэтому от пространственного положения расплавленного конца проволоки относительно оси плазменного потока существенно зависят условия вязкого и теплового взаимодействия потока плазмы с проволокой. Чем ближе к оси струи, тем большим оказывается тепловой поток в проволоку и тем больше возрастают силы вязкого трения, действующие на поверхность расплава, снося жидкий металл с конца проволоки. Поэтому необходимо отметить, что на режимах напыления, при которых распространение тепла в проволоке затруднено, ее расплавленный конец располагается ближе к оси плазменной струи. Например, при увеличении скорости подачи области нагрева и расплавления проволоки уменьшаются и проволока поступает к оси плазменной

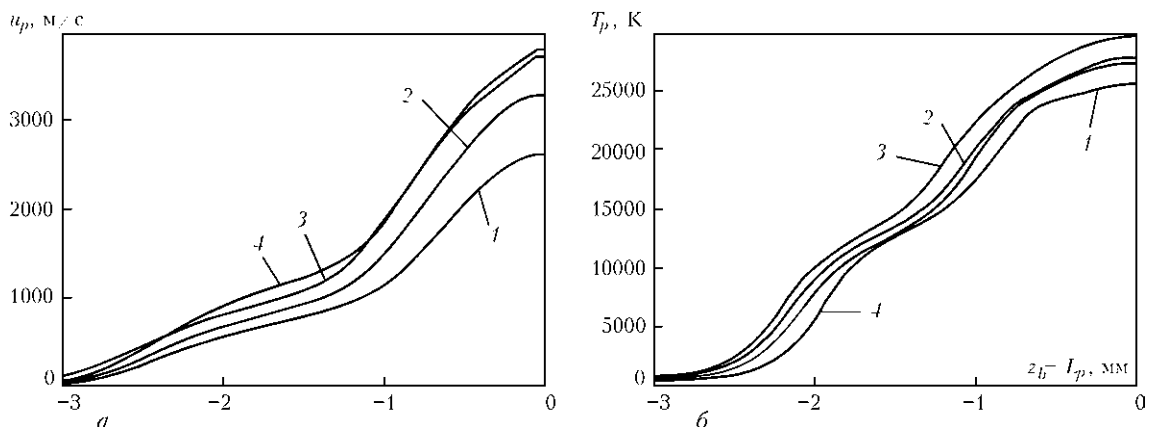


Рис. 2. Распределение аксиальной компоненты скорости (а) и температуры (б) дуговой плазмы вдоль проволоки-анода: 1 — $I = 160$; 2 — 200; 3 — 240 А ($G_{Ar} = 1,0$ м³/ч); 4 — $G_{Ar} = 1,5$ м³/ч ($I = 200$ А)

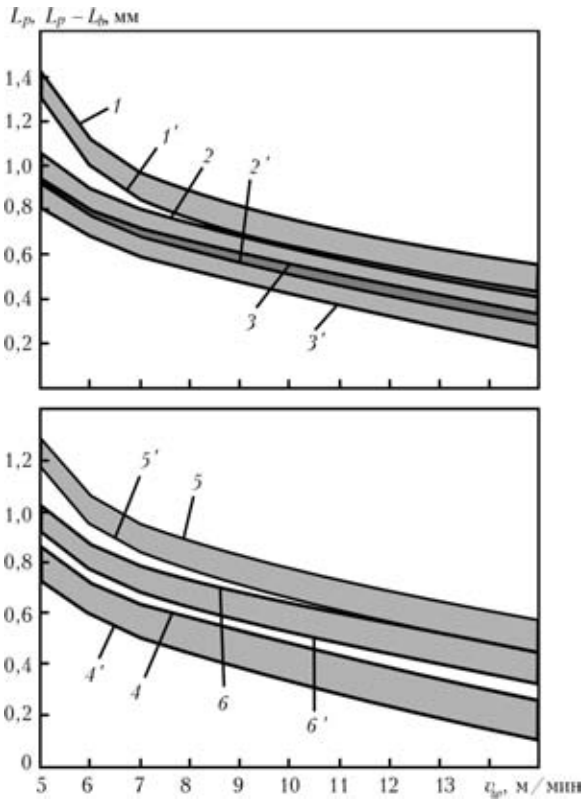


Рис. 3. Влияние скорости подачи проволоки на расстояние плоскости плавления проволоки L_p (1–6) и расстояние расплавленного конца проволоки $L_p - L_b$ (1'–6') от оси плазменной струи при различных параметрах режима напыления: $2R_w = 1,2$ (1; 1'), 1,4 (2; 2'), 1,6 (3; 3') мм при $I = 200$ А, $G_{Ar} = 1,0$ м³/ч; $I = 160$ (4; 4'), 240 (5; 5') А при $2R_w = 1,4$ мм, $G_{Ar} = 1,0$ м³/ч; $G_{Ar} = 1,5$ м³/ч (6; 6') при $2R_w = 1,4$ мм, $I = 200$ А

струи до тех пор, пока объем жидкого металла сможет удерживаться на ее торце. Такая же ситуация должна наблюдаться и при использовании проволоки большего диаметра.

Влияние режима работы плазматрона на положение расплавленного конца проволоки относительно оси плазменной струи, а также толщину жидкой прослойки, удерживаемой на торце проволоки, можно проиллюстрировать с помощью рис. 3. Для всех рассматриваемых режимов расплавленный конец проволоки расположен на расстоянии 0,1...1,4 мм от оси струи при толщине прослойки 0,10...0,15 мм. Увеличение тока дуги приводит к повышению скорости и температуры плазмы (см. рис. 2), при этом возрастают конвективно-кондуктивные и радиационные тепловые потоки в проволоку, а также повышается интенсивность силы вязкого трения, действующая на жидкий металл на торце проволоки. В результате увеличившийся объем расплава не сможет удерживаться на конце проволоки, часть его сносится плазменным потоком, а конец проволоки займет новое равновесное положение, дальше от оси плазменного потока. При повышении расхода плазмообразующего газа скорость потока возрастает, однако температурный профиль оказывается

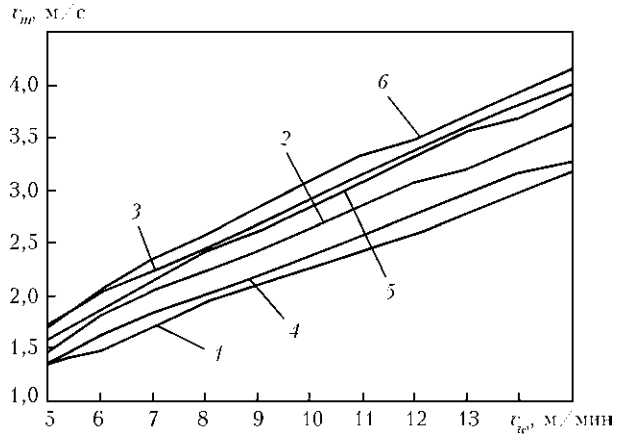


Рис. 4. Зависимость скорости течения расплава в жидкой прослойке на торце проволоки от скорости ее подачи при различных диаметрах проволоки-анода и режимах работы плазматрона: $2R_w = 1,2$ (1), 1,4 (2), 1,6 (3) мм при $I = 200$ А, $G_{Ar} = 1,0$ м³/ч; $I = 160$ (4), 240 (5) А при $2R_w = 1,4$ мм, $G_{Ar} = 1,0$ м³/ч; $G_{Ar} = 1,5$ м³/ч (6) при $2R_w = 1,4$ мм, $I = 200$ А

более сжатым к оси струи (см. рис. 2, кривые 2 и 4). При этом плавление проволоки происходит при расположении конца проволоки в приосевых участках плазменной струи, а повышение интенсивности динамического воздействия плазменного потока приведет к уменьшению объема жидкой прослойки, удерживаемой на конце проволоки, а следовательно, и ее толщины (рис. 3).

Расплавленный материал проволоки увлекается плазменным потоком, образуя струю жидкого металла, которая при дальнейшем течении ввиду действия внешних и внутренних возмущающих факторов распадается на отдельные капли — дисперсные частицы напыляемого материала. При этом от поперечных размеров жидкой прослойки и скорости течения расплава зависят характеристики течения указанной струи, а следовательно, и условия каплеобразования. В свою очередь скорость течения расплава связана с количеством расплавляемого в

Параметры жидкой прослойки, удерживаемой на торце распыляемой проволоки-анода при плазменно-дуговом напылении покрытий

I , А	G_{Ar} , м ³ /ч	$2R_w$, мм	v_m , м/мин	$L_p - L_b$, мм	L_b , мм	v_m , м/с	T , К
200	1,0	1,4	5	1,054	0,113	1,81	2070
			6	0,893	0,117	2,05	1931
			7	0,798	0,127	2,42	1774
			9	0,686	0,129	2,64	1773
			12	0,550	0,133	3,07	1774
		15	0,428	0,141	3,61	1774	
		1,2	9	0,811	0,125	2,10	1775
1,6	9	0,604	0,131	2,68	1774		
160	1,0	1,4	9	0,526	0,140	2,18	1776
240	1,0	1,4	9	0,829	0,118	2,61	1773
200	1,5	1,4	9	0,684	0,109	2,83	1774



единицу времени материала проволоки, а также устанавливающейся толщиной жидкой прослойки, что иллюстрируют, например, зависимости на рис. 4.

Параметры жидкой прослойки при плазменно-дуговом напылении приведены в таблице. Как видно, для большинства режимов перегрев жидкого металла выше температуры плавления не превышает 20 К, поскольку расплавившийся материал не успевает существенно перегреться и сразу сносится плазменным потоком с конца проволоки. Перегрев металла в жидкой прослойке на 200...250 К выше точки плавления характерен, как правило, для режимов напыления с низкими скоростями подачи проволоки, при которых заметную роль в распространении тепла в проволоке играет механизм теплопроводности.

Выводы

1. Усовершенствована математическая модель теплового состояния проволоки-анода при плазменно-дуговом напылении покрытий путем учета газодинамического воздействия на проволоку обтекающего ее плазменного потока. Такая самосогласованная модель позволяет определять пространственное положение проволоки относительно оси плазмотрона, а также характеристики удерживаемой на конце проволоки жидкой прослойки, включая ее толщину и скорость течения расплава в зависимости от параметров режима напыления.

2. Расстояние, на которое расплавленный конец проволоки отстоит от оси плазменного потока, определяется условием равенства объема расплавленной части проволоки объему прослойки жидкого металла, которая может удерживаться на торце проволоки при ее поперечном обтекании плазменным потоком, и составляет в рассматриваемых условиях 0,1...1,4 мм при толщине прос-

лойки 0,10...0,15 мм в зависимости от параметров режима напыления.

3. При плазменно-дуговом напылении покрытий температура металла на расплавленном конце проволоки достигает 1780...2100 К, при этом для большинства режимов напыления перегрев жидкого металла выше температуры плавления (1773 К) незначительный и не превышает 20 К, поскольку образующийся расплав сносится плазменным потоком из зоны взаимодействия и общее теплосодержание проволоки не увеличивается.

1. *Коробов Ю. С.* Оценка сил, действующих на распыляемый материал при электрометаллизации // Автомат. сварка. — 2004. — № 7. — С. 23–27.
2. *Коробов Ю. С., Бороненков В.Н.* Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металлизации // Свароч. пр-во. — 2003. — № 7. — С. 30–36.
3. *Процесс* плавления и распыления материала электродов при электродуговой металлизации / В. А. Вахалин, С. Б. Масленков, В. В. Кудинов и др. // Физика и химия обраб. материалов. — 1981. — № 3. — С. 58–63.
4. *Математическая* модель дуговой плазмы, генерируемой плазмотроном с проволокой-анодом / М. Ю. Харламов, И. В. Кривцун, В. Н. Коржик и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 12. — С. 14–20.
5. *Нагрев* и плавление проволоки-анода при плазменно-дуговом напылении / М. Ю. Харламов, И. В. Кривцун, В. Н. Коржик и др. // Там же. — 2011. — № 5. — С. 5–11.
6. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. — М.: Наука, 1973. — 847 с.
7. *Волков К.Н.* Граничные условия на стенке и сеточная зависимость решения в расчетах турбулентных течений на неструктурированных сетках // Вычислит. методы и программирование. — 2006. — 7, № 1. — С. 211–223.
8. *Wilcox D. C.* Turbulence modeling for CFD. — La Canada: DCW Industries Inc., 1994. — 460 p.
9. *Калиткин Н.Н.* Численные методы: Уч. пособие. — М.: Наука, 1978. — 512 с.
10. *Hu J., Tsai H.L.* Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Pt II: The metal // Int. J. Heat and Mass Transfer. — 2007. — 50. — P. 808–820.

A mathematical model is proposed, describing formation of a film of molten metal at the tip of sprayed anode-wire under the conditions of plasma-arc spraying of coatings. Numerical analysis of the influence of spraying mode parameters on the position of molten wire tip relative to plasma jet axis, thickness of liquid interlayer contained on the wire tip, temperature and velocity of metal flow in it was performed.

Поступила в редакцию 03.10.2011

Международная конференция «Ti-2012 в СНГ»

22–25 апреля 2012

г. Казань, Россия

18 ноября 2011 г. состоялось заседание Совета директоров ЗАО «Межгосударственная ассоциация «Титан».

Собрание проходило в ФГУП ВИАМ, г. Москва. Были рассмотрены вопросы текущей деятельности ассоциации, а также принято решение о проведении очередной ежегодной международной конференции «Ti-2012 в СНГ» с 22 по 25 апреля 2012 г. в Казани.

Контакты: www.titan-association.com



УДК 621.3.018.32:621.3.018.783.3:621.3.017

ВЛИЯНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

С. В. РЫМАР, д-р техн. наук, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ, канд. техн. наук, В. Н. СИДОРЕЦ, д-р техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследован гармонический состав электрической сети при работе однофазных сварочных источников питания. Показано, что сварочные источники питания генерируют в сеть высшие гармоники тока, особенно кратные трем, ухудшая качество электроэнергии. Рекомендовано применение фильтров высших гармоник для уменьшения влияния однофазных сварочных источников питания на электрическую сеть.

Ключевые слова: электрическая сеть, однофазные сварочные источники питания, высшие гармоники тока и напряжения, коэффициент нелинейных искажений тока и напряжения

В конце XX века в развитых странах столкнулись с проблемой нарастающего ухудшения качества электроэнергии электрических сетей, заключающегося в искажении синусоидальной формы напряжения и тока сети, что сказалось на увеличении потерь и понижении надежности эксплуатации электрооборудования. К этому привело возрастание количества оборудования с нелинейными нагрузками, генерирующими в электрическую сеть высшие гармоники тока.

Однофазные нелинейные нагрузки (импульсные источники питания, частотно-управляемые электроприводы, выпрямители и инверторы, системы автоматического управления, компьютерные системы управления технологическими процессами, телекоммуникационная аппаратура, офисная техника, энергосберегающие лампы и др.) из-за своей массовости приводят к увеличению суммарного значения коэффициента нелинейных искажений (гармоник) тока THD_I (Total Harmonic Current Distortion [1]) до 90...140 %, особенно за счет генерации в сеть токов нулевой последовательности (3-й и кратных ей гармоник до 80 %) [2].

Однофазные нелинейные нагрузки ухудшают электромагнитную совместимость, что может приводить к ненадежной работе и выходу из строя электрического и электронного оборудования [1, 2], перегоранию осветительных приборов, коррозии элементов заземления, ускоренному старению изоляции, перегреву роторов и износу подшипников электродвигателей. Вследствие преобладания в сети 3-й и кратных ей гармоник может возникать реверсное вращение асинхронных электродвигателей и подгорание изоляции нулевых проводов, вплоть до воспламенения при превы-

шении тока в нулевом проводе выше проектного уровня.

Высшие гармоники тока увеличивают также суммарное значение коэффициента нелинейных искажений напряжения THD_U (Total Harmonic Voltage Distortion) сетей, доводя его до 7 % и выше.

Европейские и отечественные нормативные документы, определяющие параметры качества однофазных сетей, не оговаривают уровни коэффициента нелинейных искажений тока, а лимитируют абсолютные значения тока конкретных гармоник. В Украине стандарт распространяется только на однофазные сети с током не более 16 А на фазу [3]. В Северной Америке [4] и странах Евросоюза уровни THD_I нормированы для трехфазных сетей. Поэтому можно прогнозировать появление нормативных документов, ограничивающих уровни THD_I также в однофазных сетях.

Приемлемыми считаются значения коэффициента нелинейных искажений напряжения, достигающие 3 % для индивидуальных нелинейных нагрузок, допустимое значение определено 5 % для совокупных нагрузок сети [4]. Отечественные нормативные документы [3] допускают значение THD_U равным 8 %, при котором уже существенно искажается синусоидальное напряжение сети.

Снизить влияние высших гармоник тока можно с помощью фильтров высших гармоник тока, которые уменьшают их уровень в сети.

Однофазное сварочное оборудование для питания электрической дуги, являющейся нелинейной нагрузкой, сварочные выпрямители и инверторы также генерируют мощные высшие гармоники тока. Поэтому с каждым годом уменьшение уровня гармоник тока при работе сварочного оборудования становится все актуальнее. Особенно, когда речь идет о продвижении отечественных сварочных технологий и оборудования в развитые страны.

Цель данной статьи заключается в изучении влияния на электрическую сеть работы типичных однофазных сварочных источников питания и выработке рекомендаций по уменьшению генериру-



Основные параметры сети при работе источников питания сварочной дуги

Параметр	СТШ-250	ВДУ-125	ВДУ-201	ВДИ-200
I_{m+} , А	80,8	30,2	61,2	59,5
U_{m+} , В	310,6	304,5	312,2	312,9
I_{m-} , А	-74,3	-33,3	-54,7	-59,6
U_{m-} , В	-313,2	-304,3	-315,1	-313,1
I , А	41,0	23,8	26,1	36,8
U , В	221,0	210,6	220,1	221,5
S , В·А	9895,9	5008,3	5202,2	8282,5
P , Вт	2787,2	3701,6	2543,6	6130,1
Q , вар	9495,2	3373,6	4537,9	5569,6
k_p	0,282	0,739	0,489	0,740
$\cos \varphi$	0,280	0,764	0,530	0,980
$\operatorname{tg} \varphi$	3,376	0,816	1,573	-0,129
THD_I , %	15,983	16,879	41,165	86,366
THD_U , %	3,110	2,256	3,624	5,957
K	1,383	1,309	3,233	7,259

Примечания. 1. Здесь I , U — действующие значения тока и напряжения; S , P , Q — полная, активная и реактивная (может включать мощность искажения при наличии гармоник) мощности; k_p — коэффициент мощности, равный соотношению активной и полной мощности P/S ; $\cos \varphi$ — коэффициент сдвига фаз между током и напряжением. 2. Формулы для расчета параметров приведены в работе [5].

емых ими высших гармоник тока. Статья является продолжением работы [5], в которой рассмотрены сварочные источники питания, работающие с трехфазной электрической сетью.

Были исследованы такие однофазные источники питания сварочной дуги, подключенные к сети переменного тока частотой 50 Гц, представляющие собой однофазные нелинейные нагрузки в сварочном производстве:

промышленный однофазный сварочный трансформатор СТШ-250 (трансформатор на сварочный ток до 250 А) с развитыми поперечными магнитными потоками рассеяния и магнитным шунтом, содержащим устройство стабилизации горения сварочной дуги [6–8]. Он серийно выпускается Опытным заводом сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона и предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами переменного тока. Наличие устройства стабилизации горения сварочной дуги позволяет осуществлять сварку и электродами для постоянного тока;

однофазный сварочный источник питания с конденсаторным множителем напряжения ВДУ-125 (выпрямитель дуговой универсальный на сварочный ток до 125 А). Состоит из сварочного трансформатора с развитыми ярмовыми магнитными потоками рассеяния и конденсаторного множителя напряжения с мостовой диодной схемой

выпрямления [9–11]. Множитель напряжения обеспечивает улучшенное начальное зажигание сварочной дуги, зажигание при переходе тока через нуль и стабильность ее горения. Разработан и изготовлялся в ИЭС им. Е. О. Патона, а также небольшими партиями — в Институте электродинамики НАН Украины. Источник питания имеет дискретное регулирование сварочного тока и предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами для переменного тока;

однофазный сварочный источник питания с конденсаторным множителем напряжения и тиристорным регулированием сварочного тока ВДУ-201 (на ток сварки до 200 А). Состоит из сварочного трансформатора с ярмовыми магнитными потоками рассеяния, конденсаторного множителя напряжения с мостовой тиристорной схемой выпрямления, параллельно включенного дополнительного диодного мостового выпрямителя и фазосдвигающего реактора для обеспечения непрерывности сварочного тока при работе тиристоров. Разработан в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, изготовлялся Литовским СП «Relmeta» (г. Вильнюс) и предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами для переменного и постоянного тока;

промышленный однофазный транзисторный инверторный источник питания ВДИ-200, выпускаемый Опытным заводом сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона, предназначен для ручной дуговой сварки низкоуглеродистых и легированных сталей штучными электродами для переменного и постоянного тока.

В качестве измерительного прибора использован анализатор качества электрической сети (одной фазы) Chauvin Arnoux С.А. 8230 (Франция), позволяющий получать временные зависимости тока и напряжения с их характерными значениями (максимальное и минимальное; полная, активная и реактивная мощность и т. п.), а также спектры гармоник до максимального номера гармоник $h_{\max} = 50$.

Рассмотрим работу с сетью сварочного трансформатора СТШ-250, содержащего устройство стабилизации горения сварочной дуги.

На рис. 1, а приведены зависимости от времени t относительных мгновенных значений тока i_* и напряжения u_* в питающей сети при работе сварочного трансформатора, полученные при сварке нержавеющей стали 12Х18Н10Т штучным электродом ОЗЛ-8 диаметром 3 мм при сварочном токе 90 А. Величины i_* и u_* отнесены к своим наибольшим амплитудным значениям: $i_* = i/|I_m|$ и $u_* = u/|U_m|$, где $I_m = 80,8$ А, $U_m = -313,2$ В, выбранным из технической характеристики, где даны наибольшие «+» и наименьшие «-» амплитудные значения напряжения и тока за периоды I_{m+} , I_{m-} , U_{m+} , U_{m-} , полученные в эксперименте.



Форма кривых тока и напряжения незначительно отличаются от синусоидальной. Отмечены наложение кратковременного импульса, соответствующего импульсу стабилизатора, а также небольшой излом кривой тока при переходе через нуль.

На рис. 1, б показана диаграмма гармонических составляющих h тока $I_{h\%}$ и напряжения $U_{h\%}$ от действующего значения тока и напряжения 1-й основной гармоники, принятой за 100 %: $I_{h\%} = I_{h\%}/I_1 \cdot 100$ %, $U_{h\%} = U_{h\%}/U_1 \cdot 100$ %. Значения номеров гармоник ограничены числом 27 для улучшения наглядности диаграммы.

Из диаграммы видно, что в питающей сети при работе сварочного трансформатора выражены 3-я гармоника тока, составляющая 15,3 % 1-й, и 5-я — 2,3 %, остальные нечетные гармоники тока не превышают 1 %. Нечетные номера гармоник напряжения, достигающие более 1 % 1-й гармоники, имеют следующие значения: 3-я — 2,5, 5-я — 1,3, 9-я — 1 %. Имеется также постоянная составляющая тока — 10,9 % и четные гармоники тока (2-я — 2,8, 4-я — 2,4 %). Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения выражены незначительно.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения трансформатора СТШ-250 [1] составляют $\text{THD}_I = 15,9$, $\text{THD}_U = 3,1$ %.

K -фактор, определяющий во сколько раз увеличатся добавочные потери в электрическом оборудовании и проводниках электрических сетей по сравнению с тем, если бы в оборудовании и сетях протекала только 1-я основная гармоника тока, равен 1,38.

Добавочные потери вызываются вихревыми токами, протекающими в токоведущих частях и проводниках оборудования, а также в проводниках электрических сетей. Сами вихревые токи обусловлены магнитными потоками рассеяния, проходящими через токоведущие части и проводники.

Таким образом, добавочные потери в сетях и оборудовании при работе рассматриваемого сварочного трансформатора при данном виде его нагрузки, увеличиваются в 1,38 раза. В таблице приведены основные параметры работы сварочного трансформатора при рассматриваемом виде нагрузки.

При варьировании режима сварки эти значения могут меняться, при этом коэффициент THD_I может колебаться в диапазоне 13...24 %, а коэффициент THD_U — 2,5...3,5 %. Эти результаты подтверждают теоретический анализ гармонического состава переменного тока дуги [12], которая питается от сварочного трансформатора.

Сварочный трансформатор СТШ-250 генерирует в питающую сеть не очень большие гармонические составляющие тока, хотя и они могут отрицательно сказаться на работе оборудования,

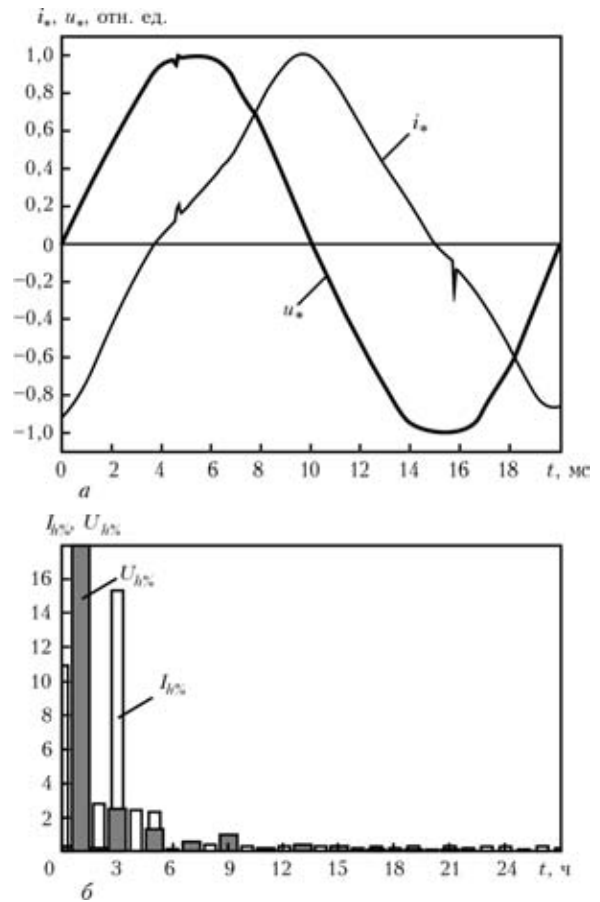


Рис. 1. Зависимости тока и напряжения от времени в питающей сети промышленного однофазного сварочного трансформатора СТШ-250 с устройством стабилизации горения сварочной дуги (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)

подключенного к сети. Значение THD_U также невелико. Рассмотренные характеристики присущи и другим типам однофазных сварочных трансформаторов.

На рис. 2, а приведены зависимости от времени относительных значений тока и напряжения в питающей сети при работе сварочного источника питания с ВДУ-125. Характеристики снимали при сварке штучным электродом АНО-22 диаметром 3 мм на сварочном токе 120 А. Наибольшие амплитудные значения тока и напряжения в эксперименте были следующими: $I_m = -33,3$ А, $U_m = 304,5$ В. После перехода тока через нуль на синусоидальный ток накладывается небольшое возмущение, обусловленное работой умножителя напряжения. Форма напряжения очень близка к синусоидальной.

На рис. 2, б показана диаграмма гармонических составляющих действующего значения тока и напряжения, из которой видно, что в питающей сети при работе источника выражены 3-я гармоника тока, составляющая 15,6 % 1-й гармоники, 5-я — 4,6 %. Остальные нечетные гармоники тока не превышают 1 %. Нечетные номера гармоник напряжения, составляющие более 1 % 1-й гар-



моники, имеют такие значения: 3-я — 1,6, 5-я — 1,1 %. Постоянная составляющая тока равна 3,7 %. Четные гармоники тока таковы: 2-я — 4,0, 4-я — 1,1 %. Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения выражены незначительно.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения равны $\text{THD}_I = 16,9$, $\text{THD}_U = 2,2$ %. К-фактор достигает 1,31.

Сварочный источник питания ВДУ-125 имеет приемлемые значения THD_I и THD_U . Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания при указанном виде нагрузки увеличиваются в 1,3 раза.

При варьировании режима сварки значения, приведенные в таблице, изменятся, при этом THD_I составит 8,7...20,8, а THD_U — 2,2...2,8 %.

Данные характеристики присущи всем типам сварочных источников питания с конденсаторным умножителем напряжения, разными видами сварочных трансформаторов, выполненными по схеме ВДУ-140, ВДУ-160 и ВДУ-180 и разработанными в ИЭС им. Е. О. Патона.

На рис. 3, а приведены зависимости от времени относительных значений тока и напряжения в питающей сети при работе сварочного источника питания с ВДУ-201. Наибольшие амплитудные

значения тока и напряжения следующие: $I_m = 61,2$ А; $U_m = -315,1$ В. Эксперименты проводили при сварке штучным электродом АНО-22 диаметром 3 мм на сварочном токе 90 А. На базовый синусоидальный ток небольшой амплитуды, который обеспечивался фазосдвигающим реактором, накладывался импульс тока большой амплитуды при коммутации тиристорov. Синусоида напряжения имела лишь незначительные искажения сразу после максимального значения.

На рис. 3, б показан гармонический состав тока и напряжения на входе сварочного источника питания. В питающей сети источника выражены 3-я гармоника тока, составляющая 37,7 1-й гармоники, 5-я — 6,8, 7-я — 6,1, 9-я — 2,5, 11-я — 1,1, 13-я — 1,0 и 19-я — 1,1 %, остальные нечетные гармоники тока не превышали 1 %. Нечетные номера гармоник напряжения более 1 % 1-й гармоники имеют следующие значения: 3-я — 2,5, 5-я — 1,6 и 13-я — 1,4 %. Выражена постоянная составляющая тока (6,8 %) и его четные гармоники (2-я — 4,5, 4-я — 7,7, 6-я — 7,9, 8-я — 5,0 и 10-я — 2,4 %). Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения выражены незначительно.

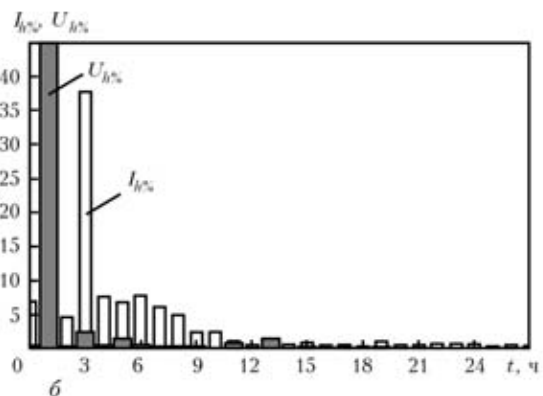
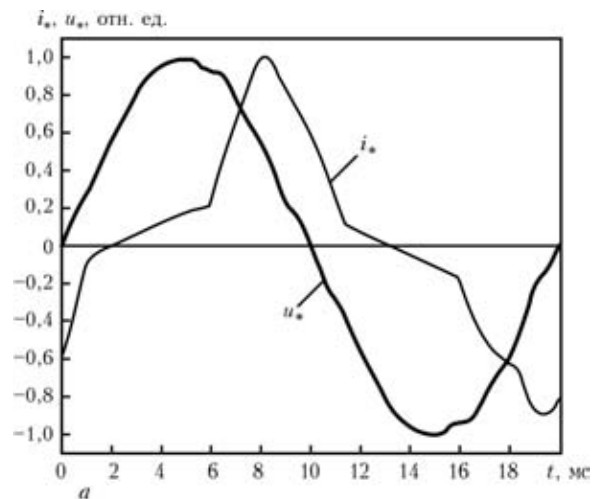
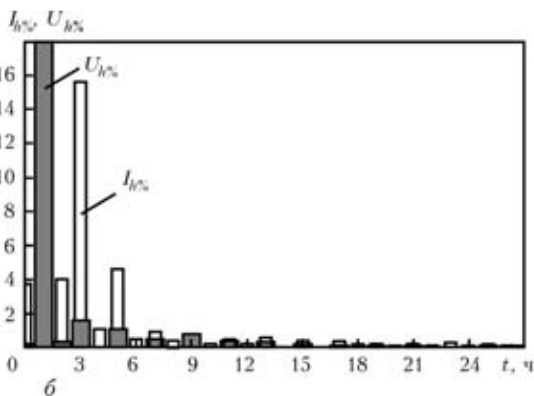
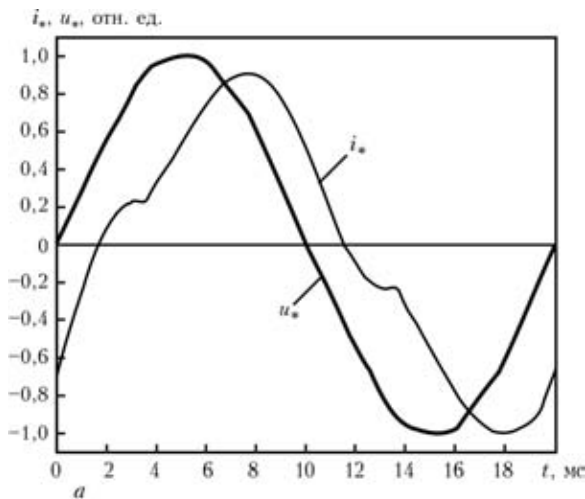


Рис. 2. Зависимости тока и напряжения от времени в питающей сети однофазного сварочного источника питания с конденсаторным умножителем напряжения ВДУ-125 (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)

Рис. 3. Зависимости тока и напряжения от времени в питающей сети однофазного сварочного источника питания с конденсаторным умножителем напряжения ВДУ-201 (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)



Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения источника питания с ВДУ-201 имеют следующие значения: $\text{THD}_I = 41,2$, $\text{THD}_U = 3,6$ %, $K = 3,2$. В этом источнике питания значение коэффициента THD_I высокое. При этом в сеть генерируются большие гармонические составляющие тока, которые также существенны.

Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания при указанном виде нагрузки увеличиваются более чем в три раза.

В таблице приведены основные параметры работы источника питания при рассматриваемом виде нагрузки. В случае варьирования режима сварки эти значения изменяются, при этом коэффициент THD_I составит 9,5...46,5 %, а коэффициент THD_U — 1,8...3,9 %.

На рис. 4, а показаны зависимости от времени относительных значений тока и напряжения в питающей сети при работе сварочного инвертора ВДИ-200. Наибольшие амплитудные значения тока и напряжения в эксперименте равнялись $I_m = -59,6$ А, $U_m = -313,1$ В.

На рис. 4, б приведен гармонический состав тока в линии и линейного напряжения на входе сварочного источника питания при сварке низколегированной стали Ст3 электродами УОНИ-13/55 диаметром 5 мм на сварочном токе 200 А.

В питающей сети источника выражены практически все нечетные гармоники тока, в частности, 3-я гармоника тока, составляющая 75,1 от 1-й гармоники, 5-я — 39,5, 7-я — 10,5, 9-я — 8,3, 11-я — 7,4, 13-я — 1,2, 15-я — 3,1, 17-я — 2,4, 21-я — 1,9, 27-я — 1,1 %. Нечетные номера гармоник напряжения более 1 % 1-й гармоники имеют такие значения: 3-я — 5,2, 5-я — 2,2, 7-я — 1,4 %. Постоянная составляющая тока и напряжения отсутствует. Четные гармоники тока выражены незначительно.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения источника питания ВДИ-200 составляют $\text{THD}_I = 86,4$ %, $\text{THD}_U = 5,9$ %, $K = 7,2$.

Кривая тока представляет собой ярко выраженный импульс на фоне почти нулевых значений на остальном протяжении полупериода, для источника питания ВДИ-200 значение коэффициента THD_I довольно высокое. При этом в сеть генерируется очень широкий спектр гармонических составляющих тока. Кривая напряжения хотя и похожа на синусоиду, но имеет срезы в области экстремумов, поэтому амплитуды гармонических составляющих напряжения также высоки. Подобная форма кривой напряжения может приводить к ложным срабатываниям устройств бесперебойного питания, подключенным к той же сети, которые включаются при понижении амплитудного значения напряжения сети.

Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания при данном виде

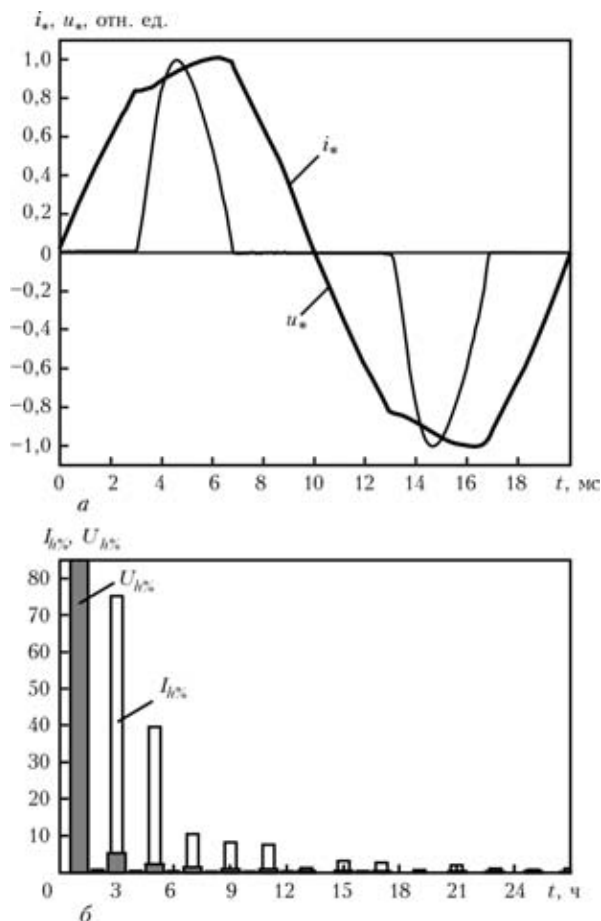


Рис. 4. Зависимость тока и напряжения от времени в питающей сети однофазного транзисторного инверторного источника питания ВДИ-200 (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)

нагрузки увеличиваются более чем в семь раз. В таблице для ВДИ-200 приведены основные параметры работы этого источника питания при рассматриваемом виде нагрузки. Отрицательное значение $\text{tg } \varphi$ свидетельствует о том, что инверторный источник питания является активно-емкостной нагрузкой для сети.

При варьировании режима сварки эти значения изменяются, при этом коэффициент THD_I равняется 82,0...121,5 %, а коэффициент THD_U — 2,8...6,7 %.

Анализируя приведенные данные можно прийти к выводу, что для улучшения качества электроэнергии и снижения уровня генерируемых сварочным оборудованием высших гармоник тока и напряжения целесообразно, а в ряде случаев необходимо применение фильтров высших гармоник тока. При этом сварочные источники питания, помимо обеспечения необходимых технологических показателей, будут иметь хорошую электромагнитную совместимость, а также сокращать добавочные потери в проводах сети и подключенном к сети оборудовании.

Отметим положительные свойства трансформаторных источников питания сварочной дуги,



которые, кроме технологичности, надежности и небольшой стоимости, незначительно воздействуют на сеть. Сварочные трансформаторы и источники питания, выполненные на их основе, обеспечивают регулирование сварочного тока самим трансформатором [13] (без электронного блока регулирования тока). Обусловлено это тем, что сварочный трансформатор имеет повышенную индуктивность рассеяния для обеспечения крутопадающей внешней характеристики [13, 14], а это способствует уменьшению высших гармоник тока. Конденсаторы умножителя напряжения и сварочный трансформатор с развитыми магнитными потоками рассеяния образуют своеобразный внутренний фильтр высших гармоник тока источника питания. Но сами высшие гармоники тока (в абсолютных величинах) довольно велики, поэтому для однофазных сварочных трансформаторов и источников питания, выполненных на их основе, желательно применение фильтров высших гармоник тока. В связи с этим трансформаторные источники питания сварочной дуги несмотря на повышенную массу характеризуются многими положительными свойствами. Их необходимо и в дальнейшем развивать и совершенствовать, например вместе с конденсаторными умножителями напряжения, существенно уменьшающими массу трансформатора и потребляемый ток из сети, или устройствами стабилизации горения сварочной дуги, применение которых дает возможность использовать при сварке электроды для постоянного тока.

В отличие от сварочных трансформаторов источники питания, содержащие электронные схемы управления сварочным током, генерируют больше гармоник тока, особенно это касается сварочных инверторов. Несмотря на преимущества (небольшую массу, обеспечение заданной формы внешней характеристики, высокое значение $\cos \varphi$ и др.) сварочные инверторы генерируют в сеть наиболее широкий спектр гармонических составляющих тока и существенно искажают синусоидальную кривую тока и напряжения, поэтому в этом случае требуется обязательное применение фильтров высших гармоник тока. К подобным выводам пришли и китайские исследователи [15].

Однофазные сварочные источники питания для сетей, в отличие от трехфазных, значительно загружают нулевой провод, не предназначенный для больших нагрузок, высшими гармониками тока нулевой последовательности. Поэтому, помимо резонансных индуктивно-емкостных фильтров высших гармоник тока [16], следует применять автотрансформаторные фильтры токов нулевой последовательности [17, 18], используемые для трехфазных четырехпроводных сетей. Подобные фильтры к тому же симметрируют сеть. Их можно подключать параллельно с сетью на входе в предприятие или здание или использовать несколько

фильтров по длине сети. В ряде случаев целесообразно применение одновременно с однофазными сварочными источниками питания, у которых зафиксировано пониженное значение коэффициента мощности $\cos \varphi$, устройств компенсации реактивной мощности. В данном случае это источники питания СТШ-250 и ВДУ-201.

Рекомендуемые фильтры практически не генерируют в сеть реактивную мощность, которая отрицательно влияет на работу сетей, и отличаются повышенной надежностью при работе в «некачественных» сетях, обеспечивая снижение коэффициента ТНД_I до 5...15 % в однофазных сетях.

ИЭС им. Е. О. Патона и Институт электродинамики НАН Украины имеют большой опыт по разработке методик расчета параметров сетей и необходимых для их фильтрации устройств подавления высших гармоник тока.

Выводы

1. Показано, что однофазные сварочные источники питания генерируют в сеть высшие гармоники тока, ухудшая качество электроэнергии электрической сети. Особую опасность представляет генерация 3-й и кратных ей гармоник.

2. Суммарное значение коэффициента нелинейных искажений тока ТНД_I при работе источников питания составляет 8,7...121,5, а напряжения ТНД_U — 2,2...6,7 %, что свидетельствует о плохой электромагнитной совместимости однофазных сварочных источников питания.

3. Установлено, что коэффициент, учитывающий увеличение добавочных потерь от вихревых токов в оборудовании и сетях (*K*-фактор), равнялся 1,3...7,3, что не дает возможности однозначно отнести все однофазные сварочные источники питания к категории энергосберегающих.

4. Определена целесообразность, а в ряде случаев и необходимость применения фильтров высших гармоник тока и фильтров токов нулевой последовательности совместно с однофазными источниками питания сварочной дуги, снижающими коэффициент нелинейных искажений тока до значений 5...15 %. Для ряда источников питания требуется использование устройств компенсации реактивной мощности.

5. Установлено, что однофазные трансформаторные источники питания (сварочные трансформаторы с развитыми магнитными потоками рассеяния) и сварочные источники питания (без электронного регулирования тока), выполненные на их основе, помимо технологичности, надежности и небольшой стоимости, меньше всего влияют на сеть.

6. Показано, что наиболее широкий спектр высших гармоник тока генерируют однофазные сварочные инверторы, больше всего искажающие синусоидальную форму тока и напряжения сети,



поэтому требуется обязательное применение фильтров высших гармоник тока.

1. Paice D. A. Power electronic converter harmonics. Multipulse methods for clean power. — New York: IEEE Press, 1995. — 202 p.
2. Пентегов И. В., Волков И. В., Левин М. Устройства подавления высших гармоник тока // Технічна електродинаміка: Тем. вип. Проблеми сучасної електротехніки. — К.: ІЕД НАНУ, 2002. — Ч. 1. — С. 13–22.
3. ДСТУ ІЕЗ 61000-3-2:2004. Електромагнітна сумісність. Ч. 3-2: Норми. Норми на емісію гармонік струму (для сили вхідного струму обладнання не більше 16 А на фазу). — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 18 с.
4. IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems: IEEE Standard 519-1992. — New York: IEEE Standards Board, 1992. — 93 p.
5. Рымар С. В., Жерносеков А. М., Сидорец В. Н. Влияние сварочных источников питания на трехфазную электрическую сеть // Автомат. сварка. — 2011. — № 10. — С. 49–55.
6. Заруба И. И., Дыменко В. В. Многопостовые источники питания для сварки переменным током // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 63–66.
7. Пентегов И. В., Дыменко В. В., Склифос В. В. Сварочные источники питания с импульсным поджигом дуги // Автомат. сварка. — 1994. — № 7/8. — С. 36–39.
8. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги / Б. Е. Патон, И. И. Заруба, В. В. Дыменко, А. Ф. Шатан. — Киев: Екотехнологія, 2007. — 248 с.
9. Пентегов И. В., Латанский В. П., Склифос В. В. Малогабаритные источники питания с улучшенными энергетическими показателями // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 66–71.
10. Пентегов И. В., Рымар С. В. Перспективы развития новых типов трансформаторов для ручной дуговой сварки // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. — 2000. — № 10. — С. 217–223.
11. Пентегов И. В., Рымар С. В., Латанский В. П. Перспективы развития новых типов трансформаторов для ручной дуговой сварки // Там само. — 2000. — № 10. — С. 217–223.
12. Сидорец В. Н., Кункин Д. Д., Москович Г. Н. Гармонический анализ переменного тока электрической сварочной дуги // Технічна електродинаміка: Тем. вип. Силовая электроника та енергоефективність. Ч. 1. — К.: ІЕД НАНУ, 2011. — С. 219–222.
13. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 360 с.
14. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
15. Suppression technology of electromagnetic disturbance for IGBT inverter welder / Jie-Guang Xiao, Min-Zhou Xing, Gang Xiong et al. // Dian Han Ji = Electric Welding Machine. — 2009. — 39, № 12. — P. 39–42.
16. Улучшение качества электроэнергии в сетях промышленных предприятий посредством фильтров высших гармоник тока / И. В. Волков, М. Н. Курильчук, И. В. Пентегов, С. В. Рымар // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. — Энергетика, 2005. — 2, № 15. — С. 15–19.
17. Шидловский А. К., Кузнецов В. Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. — Киев: Наук. думка, 1985. — 268 с.
18. Пат. 88912 С2 Україна, МПК H01F27/24. Трифазний фільтр гармонік струмів нульової послідовності автотрансформаторного типу / І. В. Пентегов, І. В. Волков, С. В. Рymar та ін. — Оpubл. 10.12.2009, Бюл. № 23.

Harmonic composition of the electric mains was investigated in operation of single-phase welding power supplies. It is shown that the welding power supplies generate into the mains the high current harmonics, especially the triplen harmonics, thus deteriorating quality of the electric power. It is recommended to use the high harmonic filters to reduce the effect of single-phase power supplies on the electric mains.

Поступила в редакцию 15.07.2011

Хронологічний покажчик посилань на наукові праці Бориса Євгеновича Патона / Упорядник В. М. Заліський. — К.: ІЭС им. Е. О. Патона НАН України, 2011. — 38 с.

В последние годы в ряде стран активно создаются Национальные базы данных (БД) научного цитирования: в Японии «Citation Database for Japanese Papers», в Китае «Chinese Science Citation Database», в Польше «Polish Sociology Citation Index», в России «Российский Индекс Научного Цитирования (РИНЦ)» — новый интересный проект, стартовавший в 2005 г. и др. Особая роль Международных поисковых и оценочных инструментов принадлежит БД «Web of Science» (компания «Thomson Rienter») и «Scopus» (компания «Elsevier»).

В публикации представлена БД, охватывающая ссылки в работах отечественных и зарубежных ученых на научные труды академика Бориса Евгеньевича Патона с глубиной поиска 50 лет по электронным и традиционным ресурсам, с практически полным исключением источников корпоративного цитирования и самоцитирования. Материалы публикации отражают динамический профиль востребованности научных идей академика Б. Е. Патона — бессменного Президента НАН Украины на протяжении последних 50 лет.

Данная работа может оказаться полезной в качестве «первой ласточки» для создания новых электронных ресурсов: Атласа развития науки в Украине, рейтинга академических научных учреждений, оценки качества их научной деятельности и эффективности их финансовых затрат, а также мониторинга новых научных направлений и «точек роста» современного развития науки в Украине.





ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСЕЙ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА*

В. Н. ШЛЕПАКОВ, д-р техн. наук, **А. С. КОТЕЛЬЧУК**, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Показано, что образование расплавов еще на стадии нагрева порошкового сердечника до плавления оболочки проволоки и выделение газообразных продуктов (H_2O , CO_2 , SiF_4) определяют защитные функции электродного материала и существенно влияют на ход реакций взаимодействия металла с газами на стадиях капли и ванны. Температурные интервалы термохимических реакций, сопровождающих процесс нагрева, перекрываются, а их тепловые эффекты накладываются друг на друга, стимулируя развитие одних процессов и тормозя другие. Управление этими реакциями путем изменения состава смеси позволяет регулировать скорость плавления сердечника, достигая благоприятных характеристик плавления порошковой проволоки и переноса электродного металла в сварочную ванну.

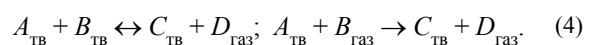
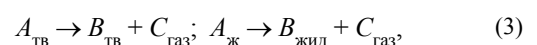
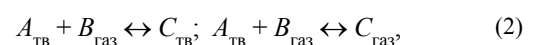
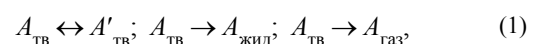
Ключевые слова: электродуговая сварка, порошковая проволока, композиция сердечника, термохимические процессы, термический анализ, термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия

Оболочка порошковой проволоки или стержень электрода при сварке в основном нагревается за счет тепла, которое выделяется при прохождении сварочного тока, и тепла от активного пятна сварочной дуги. При этом на вылете (участке проволоки от контактного устройства или держателя до дуги) устанавливается близкое к квазистационарному температурное поле [1–3]. Расчеты, проведенные ранее в [3], показывают, что при сварке электродный стержень или оболочка порошковой проволоки могут нагреваться на вылете до температуры свыше $1000^\circ C$. Порошковый композит сердечника проволоки или покрытия электрода при высокой скорости плавления в основном нагревается за счет теплопередачи от дуги и в меньшей степени от стержня или оболочки. Поскольку теплопроводность порошкового композита в десятки раз меньше теплопроводности металла, то при высоких скоростях плавления тепло, переданное торцу электродной проволоки от дуги, распространяется на значительно меньшую длину [3]. Это позволяет моделировать сердечник порошковой проволоки или покрытие электрода в виде цилиндра (сплошного или полого) бесконечной длины, который нагревается с поверхности (наружной или внутренней) и торца, и проводить расчетные оценки [1, 3]. Однако приме-

нение на практике расчетов для оценки степени развития реакций в порошковом композите затруднено необходимостью нахождения зависимостей и коэффициентов, которые сами определяются степенью развития реакций. Поэтому вполне оправданным подходом является использование физического моделирования для экспериментальной оценки развития процессов испарения, диссоциации, термической деструкции и окисления компонентов сердечника порошковой проволоки или покрытия электрода, которые сопровождают нагрев и плавление порошковых композитов при сварке [4–6].

Для изучения указанных процессов успешно применяют методы и технику термического анализа порошковых материалов и композитов: дифференциальный термический, термогравиметрический (ТГ), дифференциальный термогравиметрический анализы и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) [1, 2, 5, 6]. Указанные методы термического анализа дополняют масс-спектральным анализом газовой фазы, формируемой при нагреве и плавлении исследуемых веществ.

Методика исследований. Комплексный термический анализ для твердой, жидкой и газообразной фаз позволяет изучать реакции следующих типов (штрих означает аллотропный переход):



Уравнения (1)–(4) хорошо подходят для описания процессов испарения, окисления, разложе-

*По материалам доклада, представленного на VI Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ «Сварочные материалы. Разработка. Технология. Производство. Качество. Конкурентоспособность». — Краснодар, 2011. — С. 91–97.



Рис. 1. Термоанализатор TGA/DSC Q600 STD (справа), совмещенный с масс-спектрометром VG ProLab (слева), для мониторинга и анализа состава газовой фазы его нагревательной камеры

ния, восстановления и других фазовых переходов, характерных для сварочных процессов [1, 2]. Исследования таких процессов проводили с использованием совмещенного термоанализатора TGA/DSC Q600 STD (фирмы «TA Instruments», США) и масс-спектрометра VG ProLab (фирмы «Thermo Scientific Fisher», Великобритания) (рис. 1). Термоанализатор TGA/DSC Q600 STD представляет собой аналитический прибор, который позволяет одновременно проводить исследования методами ДСК и ТГ. При этом измеряют изменение теплового потока и массы, которые сопровождают фазовые переходы и реакции в исследуемых материалах. Полученные данные позволяют отличить эндотермические и экзотермические процессы, которые не приводят к изменению массы (например, плавление и кристаллизацию), от процессов взаимодействия с газовой фазой, вызывающих изменение массы образца (например, разложение или окисление). Одновременное проведение калориметрического и ТГ анализов одного и того же образца позволяет снизить экспериментальную погрешность и погрешность отбора проб.

Технические характеристики термоанализатора TGA/DSC Q600 STD, а также используемых тиглей, весов, нагревательной камеры и газов для продувки приведены ниже [7]:

Термопары.....	платина-платина + 13 % родий, тип R
Температурный интервал исследований, °С	5...1500
Скорость нагрева, °С/мин	до 100 (до 1000°С) до 25 (до 1500 °С)
Типы тиглей	платиновые, керамические (Al ₂ O ₃)
Емкость тиглей.....	платиновые: 40 и 110 мкл из оксида алюминия: 40 и 90 мкл
Точность измерений теплового потока (ДСК) для чистых металлов, %	≤ ± 2
Повторяемость измерений теплового потока (ДСК), для чистых металлов, %	≤ ± 2
Точность измерений температуры для чистых металлов, °С	±1
Повторяемость измерений температуры для чистых металлов, °С	±0,5

Чувствительность по разнице температур (DTA), °С	0,001 (200...1300)
Чувствительность при определении массы, мкг	0,1
Точность измерения массы, %	±1
Газы первичной продувки	He, N ₂ , воздух, Ar
Расход газа для первичной продувки, мл/мин	20...1000
Газы вторичной продувки	O ₂ , воздух, CO, CO ₂ , N ₂ , He, Ar
Расход газа для вторичной продувки, мл/мин	10...100

Система вторичной продувки разработана таким образом, чтобы обеспечить низкую концентрацию газа-реагента, подаваемого в камеру с образцом. Расход газов задается управляющим компьютером и регулируется расходомером, который осуществляет также переключение газов [7].

Экспериментальные исследования с применением термоанализатора строятся по одной общей схеме, включающей выбор режима и сигналов для регистрации; установку скоростей потоков газов для первичной и вторичной продувки; задание температурных условий эксперимента; выбор и установку пустых тиглей на плечах микровесов; тарирование сигнала массы; взвешивание необходимого количества образца; закрытие нагревательной камеры; запуск эксперимента; удаление остатков образца после завершения эксперимента; обработку и анализ полученных данных. Большинство операций осуществляется с помощью программы управления внешнего управляющего компьютера. Для достижения необходимой точности предварительно проводится калибровка прибора по сигналам массы, температуры, теплового потока и разности температур образца и эталона.

Мониторинг состава газовой фазы нагревательной камеры термоанализатора осуществляли с помощью квадрупольного масс-спектрометра VG ProLab, система которого спроектирована для анализа газов при давлении, близком к атмосферному (от 100 до 1500 мбар) и малом расходе (до 20 мл/мин) [8]. Отбор проб газа осуществляли с помощью кварцевой капиллярной линии с подогревом. Периодичность анализа проб составляет до 1 мс, при этом регистрируются ионы с массой до 300 а. е. м. В



масс-спектрометре используется стойкий к загрязнениям закрытый ионный источник, чувствительность которого не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ А/торр (для детектора Фарадея по азоту). Предел выявления при использовании детектора Фарадея не ниже 10^{-5} , а при канальном электронном умножителе — не ниже 10^{-6} [8]. Пакет программного обеспечения для управления масс-спектрометром и обработки его данных содержит библиотеку спектров для качественного анализа состава газовой смеси неизвестного состава.

Изучение термохимических процессов при нагреве и плавлении смесей на примере композиций сердечников порошковых проволок. Объектами для данного исследования послужили порошковые композиты, состав которых соответствовал двум типам самозащитных порошковых проволок: с сердечником фторидно-оксидного типа (система $MgO-BaF_2-LiF$) и карбонатно-флюоритного типа ($CaCO_3-CaF_2-Li_2O \cdot TiO_2-CaO \cdot SiO_2$) с раскислительной и легирующей системой на основе $Al-Mn-Ni-Zr$. Свойства таких композитов изучали на образцах массой $20,0 \pm 0,2$ мг в тиглях из оксида алюминия при динамическом нагреве до $1500^\circ C$ в потоке воздуха с расходом 100 мл/мин.

На рис. 2, а приведены типичные результаты ТГ анализа шихты порошковой проволоки карбонатно-флюоритного типа, содержащей карбонаты кальция, магния и натрия, а также гексафторсиликат натрия, на кривой изменения массы

образца можно отметить характерные интервалы удаления абсорбированной влаги примерно до $150^\circ C$, термическое разложение гексафторсилката натрия с выделением SiF_4 в температурном интервале $380...450^\circ C$, и карбонатов ($700...1450^\circ C$) с выделением CO_2 . Выделение указанных газов подтверждается масс-спектральным мониторингом состава газовой фазы нагревательной камеры. При температуре выше $450^\circ C$ на процессы термической деструкции с выделением газообразных продуктов накладывается прирост массы образца за счет развития окисления железного порошка, ферросплавов и легирующих компонентов. После достижения значения температуры $700^\circ C$ увеличение массы образца сменяется его уменьшением, а в масс-спектре усиливается интенсивность тока ионов углекислого газа, что свидетельствует об интенсификации термической диссоциации карбонатов.

На рис. 2, б показаны результаты анализа того же образца шихты методом ДСК и расчеты суммарных тепловых эффектов взаимно перекрывающихся реакций. Процесс нагрева смесей карбонатно-флюоритного типа сопровождается экзотермическими эффектами небольшой интенсивности в температурном интервале $600...800^\circ C$. Дальнейший нагрев сопровождается последовательным чередованием экзотермических и эндотермических эффектов, по которым можно судить об одновременном ходе процессов деструкции минеральных компонентов и окислении металлических составляющих. Применительно к самозащитным порошковым проволокам карбонатно-флюоритного типа экспериментальные исследования, результаты которых представлены в работе [9], позволили установить, что наиболее высокая эффективность газовой защиты обеспечивается при использовании композиций сердечника, для которого процессы выделения газов растянуты от $400^\circ C$ до температуры плавления стали. Другими словами, наиболее стойкая газовая защита формируется при сварке проволоками с сердечниками, генерирующими защитные газы на всех стадиях их нагрева и плавления.

На рис. 3, а приведены типичные результаты, полученные методом ТГ, анализа шихты порошковой проволоки оксидно-фторидного типа, содержащей лигатуры на основе алюминия (в частности, лигатуры $Al-Li$ и $Al-Mg$), а на рис. 3, б — результаты анализа этого же образца методом ДСК и подсчет суммарных тепловых эффектов реакций.

Процесс нагрева шихты порошковых проволок оксидно-фторидного типа характеризуется экзотермическими эффектами при температурах порядка 600 и $800^\circ C$ и значительно большей интенсивности в сравнении с шихтой проволоки карбонатно-флюоритного типа, которые сопровожда-

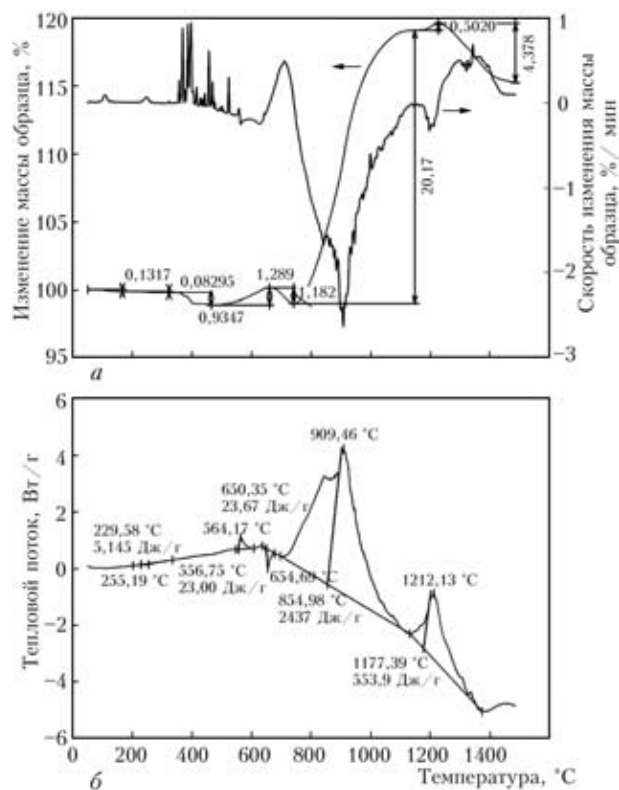


Рис. 2. Результаты анализа образца шихты порошковой проволоки карбонатно-флюоритного типа методом ТГ (а) и ДСК (б)

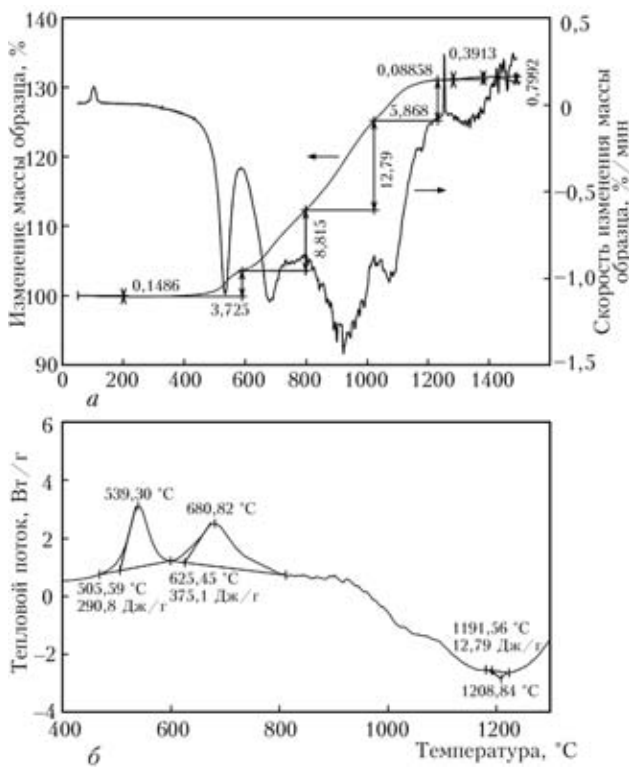


Рис. 3. Результаты анализа образца шихты порошковой проволоки оксидно-фторидного типа методом ТГ (а) и ДСК (б)

ются увеличением массы образца и снижением содержания кислорода в газовой фазе нагревательной камеры, что свидетельствует об интенсивных процессах окисления порошков алюминия и магния, железного порошка и ферросплавов. Шлаковый расплав образуется при температуре, близкой к 1200 °С, что отмечается заметным эндотермическим эффектом, достигающим максимума при этой температуре.

Обсуждение результатов и выводы. Исследования физико-химических свойств порошковых материалов и их смесей, моделирующих сердечник порошковой проволоки, проведенных методами комплексного термического анализа и масс-спектропии газовой фазы при динамическом нагреве от 30 до 1500 °С, позволяют устанавливать температурные интервалы, степень развития и затраты тепла для реакций термической деструкции с выделением газов, окисления компонентов, плавление смесей с образованием первичного расплава металлической и шлаковой

фаз. Образование расплавов еще на стадии нагрева порошкового сердечника до плавления оболочки проволоки и выделение газообразных продуктов (H_2O , CO_2 , SiF_4) определяют защитные функции электродного материала, существенно влияют на ход реакций взаимодействия металла с газами на стадиях капли и ванны. Температурные интервалы термохимических реакций (эндотермические процессы удаления влаги, деструкции, плавления и экзотермические окисления, комплексобразования), сопровождающих процесс нагрева, перекрываются, а их тепловые эффекты накладываются друг на друга, стимулируя развитие одних процессов и тормозя другие. Таким образом, управление этими реакциями путем изменения состава смеси позволяет регулировать скорость плавления сердечника, достигая благоприятных характеристик плавления порошковой проволоки и переноса электродного металла в сварочную ванну. Значения теплового потока при нагреве порошковых композитов позволяют оценивать затраты тепла на их нагрев и плавление с учетом взаимного влияния экзо- и эндотермических реакций, протекающих в исследуемом материале.

1. Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н. Сварка порошковой проволокой. — Киев: Наук. думка, 1972. — 223 с.
2. *Металлургия дуговой сварки: взаимодействие металла с газами* / И. К. Походня, И. Р. Явдошин, А. П. Пальцевич и др. / Под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 2004. — 448 с.
3. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. — М.: Наука, 1973. — 448 с.
4. Killing R. Welding with self-shielded wires — the mechanism of shielding and droplet transfer // *Metal Constr.* — 1980. — 12, № 9. — P. 433–436.
5. Шлепаков В. Н. Кинетика процессов взаимодействия металла с газами при сварке порошковой проволокой. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 168–173.
6. Shlepakov V. N., Suprun S. A., Kotelchuk A. S. Kinetics of gas generation in flux-cored wire welding. — [1987]. — 15 p. (*Intern. Inst. of Welding: IJW Doc. XII-1046–87*).
7. Совмещенный ДСК-ТГА Q600. Руководство пользователя. — М.: Intertech Corporation, 2003. — 47 с.
8. ProLab Operation manual // Thermo Scientific, Ion Path. Issue 7, July 2008. — 88 p.
9. Shlepakov V. N., Suprun S. A., Kotelchuk A. S. Estimating of the characteristics of flux-cored wire welding under the wind flow effect // *Welding under extreme conditions. Proc. of Intern. conf. Helsinki, Sept., 4–5, 1989.* — Oxford, New York: Pergamon press, 1990. — P. 171–179.

It is shown that formation of melts already at the stage of heating of the powder core up to melting of flux-cored wire sheath and evolution of gaseous products (H_2O , CO_2 , SiF_4) determines the shielding functions of electrode material, and essentially influences development of reactions of metal interaction with gases at the stages of the drop and the pool. Temperature ranges of thermochemical reactions accompanying the heating process, overlap, and their thermal effects are superposed on each other, stimulating development of some processes and slowing down other processes. Control of these reactions by variation of mixture composition allows regulation of the core melting rate, thus achieving favourable characteristics of flux-cored wire melting and electrode metal transfer into the weld pool.

Поступила в редакцию 05.08.2011



УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛА ШВА ПУТЕМ УРЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ОКИСЛЕННОСТИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

С. Т. РИМСКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Определена активность растворенного в металле сварочной ванны кислорода с использованием электрохимического метода непосредственно в процессе сварки низколегированной стали в окислительных защитных газах. Обосновано прогнозирование механических свойств металла швов в зависимости от активности кислорода в жидком металле и погонной энергии сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, окислительные защитные газы, сварочная ванна, электрохимический метод, активность кислорода, погонная энергия, металл шва, структура и механические свойства

Известно, что структура и свойства металла сварных швов на низколегированных сталях в значительной степени зависят от содержания в нем кислорода [1, 2]. При дуговой сварке стали в окислительных защитных газах кислород в жидком металле капель и сварочной ванны содержится в различных формах: как в растворенном, так и в химически связанном состоянии в виде частиц оксидов и комплексных включений, находящихся во взвешенном состоянии. Растворимый в металле кислород $[O]_p$ или активность кислорода a_o определяет ход процессов раскисления, рафинирования и вторичного окисления, влияет на конечный состав металла шва, процессы структурообразования и его свойства.

Методы анализа содержания кислорода в металле швов, которые применяются на практике, позволяют оценить его общую концентрацию, т. е. суммарное содержание кислорода $[O]_c$, активного и связанного в химические соединения. Эта операция требует нескольких часов: для отбора пробы, изготовления образца, транспортировки его в лабораторию и анализа методом вакуум-плавления.

Вместе с тем в большой металлургии получает все большее распространение метод оценки активности кислорода в расплавах на основе железа, заключающийся в измерении электродвижущей силы (ЭДС), которая возникает в концентрационном элементе с твердым оксидным электролитом [3]. Важной особенностью этого метода является то, что оксидная фаза, появляющаяся в жидком металле в результате его раскисления, не влияет на уровень генерируемой ЭДС, а значит и на активность кислорода в металле. Следовательно, измерения можно проводить без предварительной выдержки датчика в расплаве, осуществляемой с

целью стабилизации процессов в цепи гальванического элемента, что имеет существенное значение при исследовании кратковременных быстротекущих процессов в сварочной ванне. Диапазон измеряемых значений активности кислорода находится в пределах 0,0001...0,2 мас. % [4].

Содержание растворимого кислорода можно определить электрохимическим методом за 15...20 с, погружая в сварочную ванну кислородный гальванический элемент [5, 6]. Активность кислорода a_o (как величина доступная для прямых измерений принимается в качестве меры окисленности металла сварочной ванны) и определение суммарного содержания кислорода $[O]_c$ в шве взаимно дополняют друг друга, поскольку разность этих измерений $\Delta[O] = [O]_c - a_o$ характеризует содержание кислорода, связанного в химические соединения, т. е. содержание оксидных и комплексных включений в металле [6].

Кислород, участвуя в металлургических реакциях при сварке плавлением, в зависимости от его концентрации в расплаве может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на технологическую прочность [7, 8], склонность к образованию пор [8], показатели механических свойств сварных швов [9].

В настоящей работе анализируются механические свойства и структура металла швов во взаимосвязи с изменением активности кислорода в металле сварочной ванны непосредственно в процессе сварки низкоуглеродистой стали в окислительных защитных газах.

Для получения данных о содержании растворимого кислорода в расплаве использован электрохимический метод. Принципиальная схема экспрессного контроля активности кислорода a_o в металле сварочной ванны посредством измерения ЭДС, генерируемой в кислородном концентрационном гальваническом элементе на основе твердого электролита, показана на рис. 1. Применяли серийно выпускаемый промышленностью



датчик окисленности из ZrO_2 , стабилизированной Y_2O_3 , с электродом сравнения $Mo-MoO_2$, который погружали в низкотемпературную зону сварочной ванны на глубину 4...6 мм. Расстояние между датчиком, термопарой и дугой составляло 10...12 мм. Локальный замер температуры металла сварочной ванны проводили вольфрамовой термопарой ВР 5/20. Для регистрации ЭДС, наводимой в датчике и термопаре, использовали цифровые вольтметры с диапазоном измерения напряжения от нуля до 1000 мВ.

По измеренным значениям ЭДС гальванической ячейки и температуре металла сварочной ванны определяли активность кислорода [4]

$$\lg a_o = 2,685 - \frac{10,086E + 5661}{T}$$

где E — ЭДС, генерируемая в цепи концентрационного элемента, мВ; T — температура сварочной ванны, К.

Опытные сварки стыковых соединений с V-образной разделкой кромок на стали ВСтЗсп выполняли на токе обратной полярности проволокой Св-08Г2С диаметром 2 мм в CO_2 и смеси газов $Ar + 20\% CO_2$. Изменение активности кислорода a_o в металле сварочной ванны изучали в зависимости от напряжения на дуге в интервале 28...36 В при фиксированных значениях сварочного тока: 400, 450, 500 А и погонной энергии g/v сварки от 5 до 35 кДж/см. Результаты измерений a_o представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 2, при сварке в смеси $Ar + 20\% CO_2$ активность кислорода a_o в металле сварочной ванны линейно увеличивается с возрастанием напряжения дуги, причем наиболее

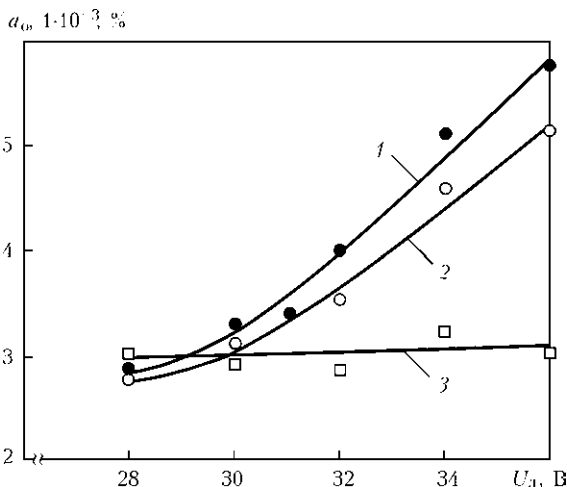


Рис. 2. Изменение активности кислорода a_o в металле сварочной ванны в зависимости от напряжения на дуге при сварке стали в смеси газов $Ar + 20\% CO_2$: 1 — $I_{св} = 400$; 2 — 450; 3 — 500 А

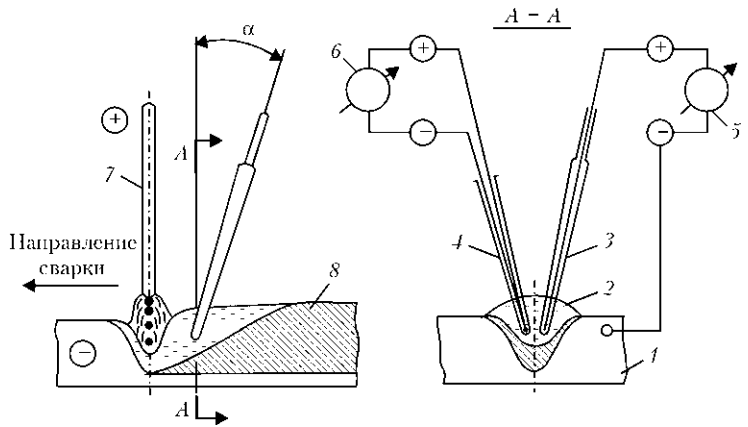


Рис. 1. Принципиальная схема экспрессного контроля активности кислорода в металле сварочной ванны: 1 — свариваемый металл; 2 — сварочная ванна; 3 — датчик окисленности; 4 — термопара; 5, 6 — измерительные приборы; 7 — сварочный электрод; 8 — сварной шов; α — угол наклона датчика и термопары, равный 15...20°

четко это проявляется при токе 400 А. Чувствительность a_o к изменению напряжения дуги уменьшается по мере повышения сварочного тока. При сварке на токе 500 А активность кислорода остается практически неизменной во всем интервале опробованных значений напряжения дуги. Определена область режимов сварки, в которой при неизменных составах защитного газа и сварочной проволоки изменение основных параметров режима ($I_{св}$, U_d , $v_{св}$) не вызывает существенного изменения активности кислорода, т. е. уровня окисленности жидкого металла. Как видно из рис. 3, по мере увеличения погонной энергии g/v сварки окисленность металла сварочной ванны сначала возрастает почти линейно, затем этот рост

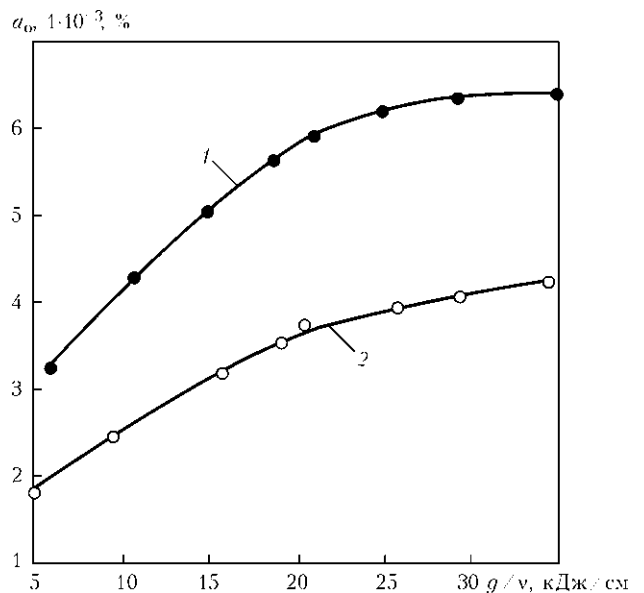


Рис. 3. Изменение активности кислорода a_o в металле сварочной ванны в зависимости от погонной энергии сварки стали в окислительных защитных газах: 1 — CO_2 ; 2 — $Ar + 20\% CO_2$



Механические свойства металла швов, выполненных в окислительных защитных газах на стали ВСтЗсп, в зависимости от погонной энергии сварки и активности кислорода в сварочной ванне

Защитный газ	g/v, кДж/см	[O] _c , мас. %	a _o , мас. %	Δ[O], мас. %	σ _{0,2} , МПа	σ _в , МПа	δ ₅ , %	ψ, %	KCV, Дж/см ² , при T, °C		
									+20	-20	-40
CO ₂	18,4	0,054	0,0056	0,0484	350	420	26,5	55,2	120	60	32
	28,8	0,061	0,0063	0,0547	335	380	25,2	53,4	98	42	16
Ar + 20 % CO ₂	18,4	0,035	0,0034	0,0316	384	530	33,0	66,0	165	115	55
	28,8	0,046	0,0040	0,0420	353	465	29,3	58,6	136	91	43

Примечание. Приведены средние значения по результатам испытаний трех-пяти образцов.

замедляется и в области режимов с погонной энергией выше 20 кДж/см активность a_o остается практически неизменной. Эта закономерность проявляется при сварке в CO₂ и смеси газов Ar + 20 % CO₂, имеющих различную окислительную способность. Такой характер зависимости активности кислорода от параметров режима сварки, по-видимому, можно объяснить, во-первых, увеличением доли основного металла в сварочной ванне, а также повышением содержания паров железа в атмосфере дуги, снижающим парциальное давление окислительных газов, а следовательно, и поглощение кислорода каплями электродного металла.

Дальнейшие исследования позволили оценить влияние погонной энергии сварки на активность кислорода в расплаве и показатели механических свойств швов, выполненных на стали ВСтЗсп в CO₂ и смеси газов Ar + 20 % CO₂ (таблица). Данные таблицы свидетельствуют о том, что с повышением окислительной способности защитной среды значения a_o возрастают. Однако они на порядок ниже общего содержания кислорода [O]_c в металле шва, определенного методом вакуум-плавления.

Изучена структура металла опытных швов с использованием оптического и электронного микроскопов, а также исследован характер $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения этого металла в условиях непрерывного охлаждения с помощью чувствительной дилатометрической аппаратуры в сочетании с высокотемпературной металлографией на установке «Ала-Тоо». Для точного измерения температуры использовали термопару Pt – Pt-10 % Rh. Для предотвращения окисления или обезуглероживания образца дилатометр был вакуумирован до давления $2 \cdot 10^{-4}$ торр, затем заполнен высокочистым аргоном. Для исследования влияния кислорода на особенности распада аустенита в металле швов образцы нагревали до температуры 1250 °C с выдержкой 2 мин при этой температуре, обеспечивающей одинаковый размер зерен. Охлаждение осуществляли со скоростью 5 °C/c в интервале от 800 до 500 °C. Во время этого термического цикла, имитирующего условия сварки, выполняли запись температуры в зависимости от времени удлинения образца с помощью специально проградуированного потенциометра КСП-4.

Установлено, что высокие значения ударной вязкости металла швов и максимальное количество игольчатого феррита в структуре металла швов достигаются при содержании химически связанного кислорода Δ[O] в швах от 0,015 до 0,045 % (рис. 4, а) и изменениях содержания легирующих элементов и примесей в следующих пределах, мас. %: 0,08...0,11 C; 0,40...0,55 Si; 1,2...1,5 Mn; 0,015...0,020 серы и фосфора. Отклонения концентрации кислорода в большую и меньшую сторону от указанного диапазона соп-

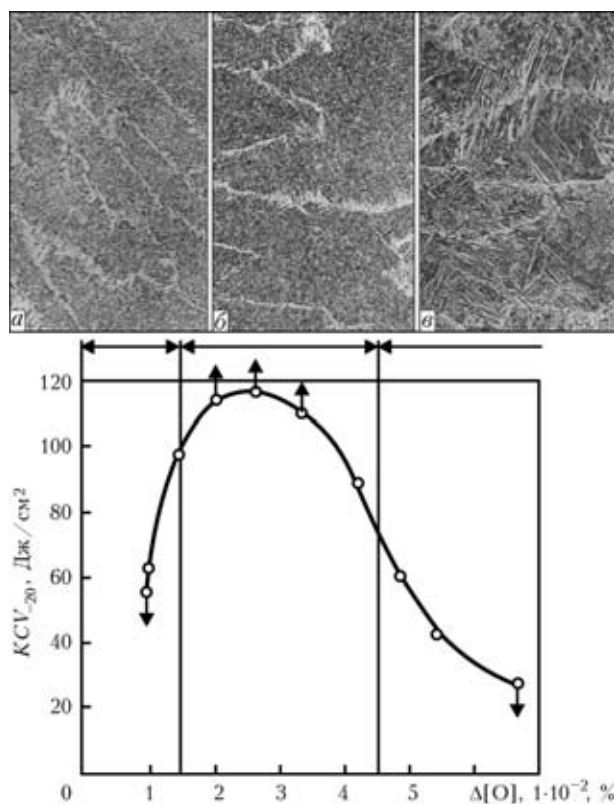


Рис. 4. Влияние кислорода, связанного в химические соединения Δ[O], на ударную вязкость и микроструктуру (×200) металла швов, выполненных в окислительных защитных газах: а — структура игольчатого феррита с бейнитными участками; б — структура, в которой преобладает игольчатый феррит; в — зернограничный феррит и пластинчатые выделения видманштеттового феррита

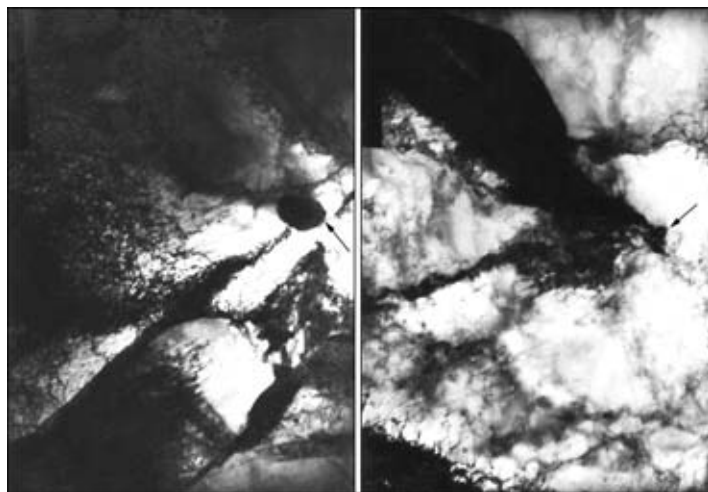


Рис. 5. Микроструктура ($\times 13200$) игольчатого феррита в металле швов, сваренных в смеси $Ag + 20\% CO_2$ (стрелками обозначены оксидные включения, связанные с конечными участками ферритных игл)

ровождаются уменьшением количества игольчатого феррита в структуре. В металле швов с высоким ($0,06...0,07\%$) содержанием кислорода $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение происходит при более высокой температуре от 720 до $680\text{ }^\circ C$, что на $20...30\text{ }^\circ C$ выше по сравнению со швами, содержащими его $0,045\%$ и менее. Понижение температуры начала превращения замедляет диффузионные процессы в области перлитного превращения. В результате основная часть аустенита претерпевает превращение по сдвиговому механизму с образованием мелкодисперсного игольчатого феррита. Обнаружено, что при содержании кислорода в пределах $0,015...0,045\%$ в структуре металла швов содержится $75...80\%$ игольчатого феррита (см. рис. 4, б). Электронно-микроскопические исследования показывают, что образовавшаяся игольчатая фаза не является бейнитом, поскольку по краям игл отсутствуют характерные выделения карбидной фазы (рис. 5). В матрице, окружающей растущую ферритную иглу, наблюдается повышенная плотность дислокаций.

Мелкодисперсные оксидные частицы размером менее $0,1\text{ }\mu m$, присутствующие в металле, являются зародышами ферритной фазы в теле аустенитных зерен, что подтверждается результатами электронно-микроскопических исследований (рис. 5). Уменьшение содержания игольчатого

феррита в швах с концентрацией кислорода менее $0,015\%$ (см. рис. 4, а) можно объяснить уменьшением количества оксидных частиц, т. е. количества центров зарождения ферритной фазы. Такие частицы в зависимости от их количества и размеров способствуют формированию той или иной морфологии ферритной фазы [1], оказывающей влияние на тонкую структуру металла и в итоге — на его склонность к хрупкому разрушению.

Таким образом, количественные данные об активности кислорода в жидком металле сварочной ванны не только дают возможность объяснить наблюдаемые при сварке явления, но и, что более важно, позволяют научно обоснованно планировать тот или иной эффект. В частности, такие данные крайне необходимы при разработке схем легирования новых сварочных проволок, выбора оптимального сочетания защитного газа — проволока, а также при разработке технологии сварки конструкционных сталей, более уверенно прогнозировать механические свойства металла швов.

1. *Cochrane R. C., Kirkwood P. R.* The effect of oxygen on weld metal microstructure // Proc. Intern. conf. on trends in steels and consumables for welding. — London, 14–16 Nov., 1978. — Cambridge: Weld. Inst., 1979. — 1. — P. 103–122.
2. *Куликов И. С.* Раскисление металлов. — М.: Металлургия, 1975. — 504 с.
3. *Экспрессное определение содержания кислорода в стали / В. И. Явойский, А. Ф. Вишкарев, В. П. Лузгин и др.* — М.: Металлургия, 1975. — 120 с.
4. *Лузгин В. П., Явойский В. И.* Газы в стали и качество металла. — М.: Металлургия, 1983. — 229 с.
5. *А. с. СССР, G 01 N 27/46.* Способ определения активности элементов в расплаве / С. Т. Римский, В. Г. Швецинский, Т. П. Бондаренко и др. — Приор. 22.12.1986.
6. *Определение активности кислорода в жидком металле при сварке стали в защитных газах / В. Г. Швецинский, Т. П. Бондаренко, С. Т. Римский, В. В. Подгаецкий // Автомат. сварка.* — 1988. — № 2. — С. 73.
7. *Римский С. Т., Швецинский В. Г.* Влияние состава окислительной аргоновой смеси на стойкость шва на стали ВСтЗсп против образования кристаллизационных трещин // Там же. — 1977. — № 10. — С. 48–52, 54.
8. *Подгаецкий В. В.* Пори, включения і тріщини в зварних швах. — К.: Техніка, 1970. — 236 с.
9. *Швецинский В. Г., Римский С. Т., Петров Ю. Н.* Особенности тонкой структуры металла швов, сваренных в защитных газах // Автомат. сварка. — 1974. — № 8. — С. 5–8.

Activity of oxygen dissolved in the weld pool metal directly in the process of welding of low-alloy steel in the oxidising shielding gas atmosphere was determined by using the electrochemical method. Prediction of mechanical properties of the weld metal depending on the activity of oxygen in molten metal and on the welding heat input is substantiated.

Поступила в редакцию 24.06.2011



ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ ВЫСОКООСНОВНОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ФЛЮСА

С. И. МОРАВЕЦКИЙ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Экспериментально установлено, что гигроскопичность синтетического кислого флюса находится на том же уровне, что и у стандартных плавящихся флюсов. С повышением основности синтетических флюсов от 0,8 до 2,4 их гигроскопичность возрастает не менее чем в 10 раз. Это, вероятно, обусловлено наличием свободной извести, образующейся в синтетическом флюсе в результате твердофазной реакции между оксидом магния и фторидом кальция во время спекания флюса. Результаты термодинамического расчета и данные эксперимента подтверждают сделанное предположение.

Ключевые слова: сварочный флюс, оксидно-фторидная система, основность, гигроскопичность, фазовый состав, твердофазная химическая реакция

Важным результатом исследований, выполненных в ИЭС им. Е. О. Патона, была разработка сварочных флюсов, получаемых путем твердофазного синтеза исходных шихтовых компонентов и механического измельчения спеченного продукта на гранулы [1].

Увеличение основности флюсов может вызывать ухудшение их сварочно-технологических свойств. Указанная тенденция была отмечена и для синтетического флюса. Так, после сравнительно недолгой выдержки флюса СФТ-6 (ТУ ИЭС 839–93) с основностью $B_{\text{МИС}} = 2,4$ во влажных атмосферных условиях при наплавке под ним низколегированной теплоустойчивой стали обнаружены некоторое ухудшение формирующей способности флюса, потускнение поверхности шва,

а в некоторых случаях — и единичные поры. При повторной прокатке такого флюса при 550...600 °С в течение 2 ч эти недостатки устранялись. Выдержка во влажной атмосфере низкоосновных синтетических флюсов, например опытного флюса СФ-1 ($B_{\text{МИС}} = 0,8$), не приводит к заметному ухудшению сварочно-технологических свойств. Поэтому можно предположить, что с ростом основности синтетические флюсы, подобно другим, приобретают повышенную гигроскопичность.

Цель настоящей работы заключалась в экспериментальном определении гигроскопичности и установлении причин ее увеличения с ростом основности синтетических флюсов типа СФТ-6 системы $\text{MgO}-\text{CaF}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Для сравнительных оценок определяли также гигроскопичность стандартных флюсов других типов (агломерированного, плавящихся стекловидных и плавящего пемзовидного), а также низкоосновного синтетического флюса. Для изготовления синтетических

Таблица 1. Некоторые шихтовые материалы, используемые для изготовления синтетических флюсов

Шихтовый материал	Основной компонент материала	Марка	Нормативный документ
Порошок периклазовый спеченный для сталеплавильного производства (магнезит)	MgO	ППК-88	ГОСТ 24862–81
Концентрат плавикошпатный кусковой (флюорит)	CaF ₂	ФКС-95А	ГОСТ 4421–73
Глинозем	Al ₂ O ₃	ГК	ГОСТ 6912–87
Полевой шпат для электродных покрытий	NaK[AlSi ₃ O ₈]	ПШМ	ГОСТ 4422–73
Стеклобой*	Na ₂ O-CaO-6SiO ₂	—	—
Песок кварцевый	SiO ₂	ПБ-150-1	ГОСТ 22551–77
Концентрат марганцеворудный для покрытия электродов	MnO	—	ГОСТ 4418–75
Марганец металлический	Mn	Mn95	ГОСТ 6008–90
Известь кальциевая негашеная	CaO	Сорт 1	ГОСТ 9179–77
Графит кристаллический литейный	C	ГЛ-1	ГОСТ 5279–74

* Порошковый материал, продукт помола натрий-кальций-силикатного стекла (Soda-lime glass), являющегося браком и отходами производства посуды и декоративных стеклянных изделий по ГОСТ 24315–80 и (или) листового стекла по ГОСТ 111–2001.



Таблица 2. Гигроскопичность флюсов различных типов

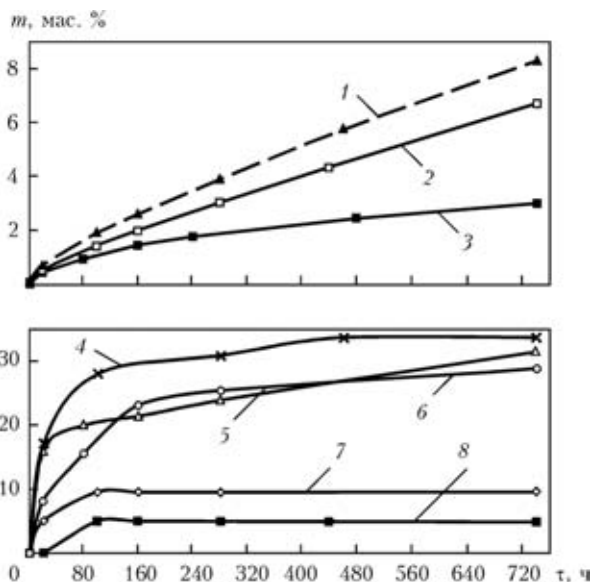
Марка флюса	Тип флюса	Основность флюса $B_{\text{МИС}}$	Гигроскопичность*, мас. %
ОК 10.63	Агломерированный	2,56	8,4
СФТ-6	Синтетический	2,40	6,8
Б1	»	2,40	3,08
АН-66	Плавленный пемзовидный	0,97	0,34
АН-22М	Плавленный стекловидный	1,35	0,32
СФ-1	Синтетический	0,80	0,29
АН-67Б	Плавленный стекловидный	1,04	0,097
АН-43	»	1,12	0,050

* Гигроскопичность за 744 ч выдержки во влажной атмосфере.

флюсов (объектов исследования данной работы) выбрали шихтовые компоненты из табл. 1. Определение гигроскопичности флюсов проводили с помощью гравиметрического метода.

Влага во флюсах условно подразделяется на несколько форм, отличающихся видом и энергией связи между атомами водорода, кислорода и материалом флюса [2]. Значение указанной энергии определяет температуру термической десорбции влаги из флюса. В плавленных флюсах, гранулированных выливанием расплава в воду, большая часть химически связанной влаги (около 80 %) относится к высокотемпературной форме и удаляется при значениях температуры 800...1000 °С [2]. Во флюсах, не подвергающихся «мокрой» грануляции, высокотемпературная форма влаги отсутствует.

Для определения содержания влаги во флюсах существует стандартный метод [3], позволяющий установить общее (валовое) выделение влаги из флюса в температурном интервале 20...1000 °С. Однако ввиду поставленной задачи предстояло оценить гигроскопичность флюсов, т. е. их способность поглощать влагу после повторной прокалики и при последующей выдержке в атмосфере. Объектами оценки были флюсы, существенно отличающиеся по способу изготовления и поэтому постоянно содержащие заранее неизвестное количество влаги различных форм. С учетом отмеченного применение метода, описанного в работе [3], с неизбежностью приведет к получению численных результатов, которые трудно интерпретировать и корректно сравнивать без проведения большого количества вспомогательных экспериментов. Влага, сорбированная флюсами в ходе данного эксперимента, являлась бы в каждом случае неопределенным слагаемым в уровне ее валового выделения, определяемого методом, приведенным в работе [3]. Вместе с тем проще оценить гигроскопичность флюсов, выдерживая небольшие порции (навески) флюсов в атмосфере



Кинетика поглощения влаги сварочными флюсами: 1 — ОК 10.63; 2 — СФТ-6; 3 — Б1; 4 — АН-66; 5 — АН-22М; 6 — СФ-1; 7 — АН-67Б; 8 — АН-43; m — относительный прирост массы

с заданной относительной влажностью и определяя прирост их массы путем взвешивания до и после выдержки, как например в работе [4].

Перед испытанием агломерированный флюс ОК 10.63 прокаливали при температуре 300 °С, 2 ч (рекомендация производителя — фирмы ЭСАБ, Швеция). Плавленные флюсы АН-43, АН-67Б, АН-66 и синтетический СФ-1 прокаливали при 400 °С, 2 ч; флюсы АН-22М и СФТ-6 — при 570 °С, 2 ч (с учетом общих рекомендаций работы [5]). Непосредственно после прокалики и охлаждения до значения температур, близких к комнатным, производили начальное взвешивание навесок указанных флюсов массой 30...80 г. Затем навески помещали в атмосферу, создаваемую в плотно закрытом эксикаторе с водой на дне, и выдерживали при температуре 20...25 °С. Толщина слоя флюсов в навесках равнялась 12...15 мм. Размер гранул флюсов составлял 0,63...2,00 мм. В ходе эксперимента навески взвешивали с помощью аналитических весов и набора разновесов 4-го класса точности по ГОСТ 7328-61. Результаты испытания отражены на рисунке и табл. 2, где приведены значения основности, вычисленные по формуле МИС [6] с использованием средних массовых долей компонентов по данным соответствующих нормативных документов. Как следует из рисунка, гигроскопичность синтетического флюса СФТ-6 (кривая 2) за 744 ч выдержки лишь на 19 % ниже, чем агломерированного флюса ОК 10.63 (кривая 1).

Далее в штатную технологию изготовления высокоосновного синтетического флюса внесли следующие изменения: нагрев и охлаждение спекаемой шихты вместе с печью, повышение максимальной температуры спекания от 1050 до



1160 °С и длительности выдержки при максимальной температуре от 1 до 2 ч. Гигроскопичность высокоосновного синтетического флюса базового состава, спеченного по измененной технологии (табл. 2, флюс Б1, рисунок, кривая 3), оказалась в 2,2 раза ниже, чем у флюса СФТ-6. Однако и при этом гигроскопичность синтетического флюса остается существенно выше, чем у наиболее гигроскопичного из плавленных флюсов — пемзовидного марки АН-66. Гигроскопичность низкоосновного синтетического флюса СФ-1 соизмерима с гигроскопичностью плавленных флюсов.

Следует отметить, что определенные значения прироста массы навесок характеризуют общий (валовый) уровень поглощения флюсами влаги различных форм. В плавленных флюсах типа АН-348А доля влаги, сорбированная поверхностью зерен, микропор и удаляющаяся при температурах 20...200 °С, составляет всего 5 %. В интервале 20...600 °С удаляется 15 % общего количества влаги, которую следует относить, по-видимому, к сорбированной и цеолитной формам. Основное количество влаги удаляется из флюса при нагреве выше 800 °С и относится к химически связанной форме в виде гидроксильных групп [2]. Точное соотношение в распределении различных форм влаги, поглощенной синтетическими флюсами, может дать только применение специальных методов исследования. Тем не менее полагаем, что доля влаги, сорбированной поверхностью зерен и микропор синтетических флюсов, имеет тот же порядок, что и у плавленных. Учтем также, что появление в синтетическом флюсе цеолитов исключено из-за существенного отличия условий природного и промышленного их синтеза [7] от

условий спекания синтетических флюсов [1]. Следовательно, пренебрегая долей сорбированной влаги в виду ее малости, в дальнейшем считаем, что вся влага, поглощенная синтетическим флюсом, относится к химически связанной форме.

Таким образом, изменение компонентного состава и основности, отраженное в табл. 3, вызвало резкое (в 10...23 раза) повышение гигроскопичности синтетического флюса. Исходя из этих данных и с учетом указанных замечаний предположили, что такое изменение компонентного состава способствовало появлению в готовом флюсе склонных к гидратации химических соединений, которые и обусловили (подобно силикат-глыбе в агломерированных флюсах) повышение склонности флюса к поглощению влаги. В связи с этим представляло интерес исследование фазового состава флюса СФТ-6.

Фазовый рентгеноструктурный анализ флюса СФТ-6, выполненный с помощью дифрактометра «ДРОН-УМ1» в монохроматическом $\text{CuK}\alpha$ -излучении методом пошагового сканирования (ускоряющее напряжение 35 кВ, ток 25 мА), позволил выявить основные компоненты фазового состава флюса СФТ-6 — флюорит CaF_2 , алюмомагнезиальную шпинель $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, форстерит $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, куспидин $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot\text{CaF}_2$ и свободный MgO . Флюс содержит также небольшие и следовые количества диопсида $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$, псевдоволастонита $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и других соединений. Номенклатура основных компонентов в составе флюса СФ-1 (для которого ранее проводился аналогичный анализ [1]) не совпадает с приведенной и включает нефелин $\beta\text{-Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$, энс-

Таблица 3. Влияние компонентного состава, основности и параметров спекания синтетических флюсов на их гигроскопичность*

Марка флюса	Массовая доля компонентов, %								Особенности спекания	$V_{\text{мис}}$	Гигроскопичность, мас. %
	Магнетит	Флюорит	Глинзем	Полевой шпат	Стеклобой	Руда марганцевая	Марганец металлический	Графит			
СФ-1	5	15	20	—	50	10	—	—	Установка шихты в печь, нагретую до температуры 950 °С, выдержка при этой температуре 1 ч, охлаждение на воздухе	0,8	0,29
СФТ-6	31	26,25	16	23	—	—	1,75	2	Установка шихты в печь, нагретую до температуры 1050 °С, выдержка при этой температуре 1 ч, охлаждение на воздухе	2,4	6,8
Б1	31	26,25	16	23	—	—	1,75	2	Выдержка шихты при максимальной температуре 1160 °С в течение 2 ч, нагрев и охлаждение с печью	2,4	3,08

* Сопоставлены значения гигроскопичности за 744 ч выдержки во влажной атмосфере.



титит $MgO \cdot SiO_2$, андалузит $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, браунит $MnO \cdot SiO_2$, волластонит $\beta-CaO \cdot SiO_2$ и диопсид.

Попробуем экспериментально определить, какие из химических соединений флюса СФТ-6 ответственны за его высокую гигроскопичность. С этой целью произведем спекание упрощенных модельных шихт, состоящих из фторида и оксидов. Последние выбраны во взаимном мольном соотношении, отвечающем известным минералам. Отношение массовой доли фторида к суммарной массовой доле оксидов в шихте составляло 2:3, что характерно для флюсов с большим содержанием CaF_2 . Предполагали, что при таких соотношениях и наличии необходимых термодинамических условий выход исследуемого соединения будет максимальным. В то же время удастся вос-

произвести все особенности твердофазных реакций между компонентами, которые обуславливает наличие большого количества CaF_2 . Компонентный состав шихт приведен в табл. 4. Использовали шихтовые материалы, приведенные в табл. 1.

Путем механического измельчения и просеивания из спеченных шихт получали гранулированный материал с тем же размером зерен, что и у ранее испытанных флюсов. Далее оценивали гигроскопичность полученных гранулированных продуктов с помощью указанного гравиметрического метода. Максимальная длительность выдержки во влажной атмосфере для всех навесок ограничивалась 336 ч. С учетом возможности существования во флюсах реальных составов непрореагировавших компонентов в свободном сос-

Таблица 4. Компонентный состав и гигроскопичность спеченных модельных шихт

Марка шихты	Массовая доля компонентов, %								m*, мас. %
	Флюорит	Оксид магния	Магнезит	Глинозем	Известь	Полевой шпат	Кварцевый песок	Другие компоненты	
<i>Базовый состав флюса СФТ-6</i>									
СФТ-6	26,25	—	31	16,0	—	23,0	—	Графит 2,0; Mn 1,75	3,50
Б1	26,25	—	31	16,0	—	23,0	—	»	2,05
<i>Шихта состава флюорит + алюмомагнезиальная шпинель $MgO \cdot Al_2O_3$</i>									
ФШ	41,0	—	18,0	41,0	—	—	—	—	0,22
ФШ-1**	36,9	—	16,2	36,9	—	10,0	—	—	0,21
<i>Флюорит + форстерит ($2MgO \cdot SiO_2$)</i>									
ФФ	39,77	—	35,28	—	—	—	24,95	—	0,50
<i>Флюорит + диопсид ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$)</i>									
ФД	39,0	—	12,0	—	17,0	—	32,0	—	0,47
<i>Флюорит + волластонит ($CaO \cdot SiO_2$)</i>									
ФВ	40,0	—	—	—	29	—	31,0	—	0,13
<i>Куспидин ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot CaF_2$)</i>									
К	21,3	—	—	—	45,9	—	32,8	—	0,17
<i>Фторсиликаты с избытком и недостатком полевого шпата</i>									
ФС1	31,0	—	—	—	—	69,0	—	—	0,11
ФС2	43,0	7,4	—	—	—	49,6	—	—	0,04
<i>Флюорит + магнезит ($CaF_2 \cdot MgO$)</i>									
ФМ	65,0	—	35	—	—	—	—	—	1,46
<i>Шихтовые компоненты (известь, химически чистый MgO, глинозем, магнезит, флюорит, полевой шпат)</i>									
И	—	—	—	—	100	—	—	—	30,10
MgO	—	100	—	—	—	—	—	—	2,60
Г	—	—	—	100	—	—	—	—	0,83
М	—	—	100	—	—	—	—	—	0,21
Ф	100	—	—	—	—	—	—	—	0,07
ПШ	—	—	—	—	—	100	—	—	0,04

* Относительный прирост массы навесок гранулированных продуктов за 336 ч выдержки во влажной атмосфере. ** Шихта с добавкой полевого шпата для улучшения спекаемости.

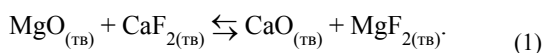


тоянии (например, MgO, CaF₂) определяли также гигроскопичность отдельных шихтовых компонентов после их термообработки по режиму спекания модельных шихт (максимальная температура 1125 °С; время нагрева до максимальной температуры 2 ч; длительность выдержки при максимальной температуре 2 ч; нагрев и охлаждение шихт с печью).

Относительный прирост массы навесок, характеризующий гигроскопичность спеченных продуктов, указан в табл. 4. Установлено, что гигроскопичность фаз флюса СФТ-6 не выходит за пределы диапазона от 0,07 для флюорита до 0,50 мас. % для спеченной смеси флюорит + форстерит. Отмечено, что гигроскопичность чистого MgO (оксид магния особочистый ТУ 6-09-2807-78) на порядок выше, чем обожженного магнетита. Однако даже если гипотетически принять, что весь магнетит в шихте флюса СФТ-6 был не только химически инертен во время спекания, но и получил свойства чистого MgO, то его вклад в прирост массы флюса составил бы $0,31 \cdot 2,6 = 0,81$ %, что существенно меньше фактически зафиксированной гигроскопичности флюса СФТ-6 при любых условиях спекания (2,0...3,5 мас. % за 336 ч). Из этих данных следовало, что увеличенная гигроскопичность синтетического флюса СФТ-6 не может быть объяснена суммарным вкладом основных его минеральных составляющих. Однако экспериментальные данные, полученные в работе [8], позволили предположить, что повышенная гигроскопичность флюса СФТ-6 создается вкладом свободной извести CaO в составе готового флюса.

Как показано в работе [8], при нагреве многокомпонентной шихты агломерированного флюса с преобладанием кислых оксидов свободная известь может являться промежуточным продуктом химических реакций между CaF₂, оксидами и силикат-глыбой с образованием и распадом сложных оксифторидов благодаря действию механизма анионного перераспределения между катионами кальция и магния. В дальнейшем появившаяся в таком флюсе известь расходуется на образование минерала анортита.

Если опустить возможные промежуточные реакции образования оксифторидов магния и кальция, то процесс образования извести можно представить более простой реакцией



Константа равновесия такой реакции может быть записана как

$$k_p = (a_{\text{CaO}} \cdot a_{\text{MgF}_2}) / (a_{\text{CaF}_2} \cdot a_{\text{MgO}}), \quad (2)$$

где a — активность веществ, указанных в индексах.

Применяя точный метод Л. П. Владимирова и справочные значения величин [9], можно рассчитать температурную зависимость константы равновесия этой реакции. С учетом формулы (2) полученные расчетом значения $\lg k_p$ от $-3,027$ до $-2,414$ при значениях температуры соответственно от 800 до 1127 °С свидетельствуют о появлении в системе $\text{MgO}_{(тв)}-\text{CaF}_{2(тв)}$ после длительной ее выдержки при температуре 1125 °С нескольких процентов продуктов реакции (1). Указанная реакция имеет тенденцию интенсифицироваться с ростом температуры.

С целью проверки возможности образования свободной извести по реакции (1) была спечена модельная шихта, состоящая из MgO и CaF₂ в мольном соотношении 1:1. Гигроскопичность спеченного продукта составила 1,46 мас. % за 336 ч выдержки, что соответственно в 7 и в 21 раз выше, чем у магнетита и флюорита, спеченных по отдельности (табл. 3). Полученный результат свидетельствует о том, что в процессе спекания в системе $\text{MgO}_{(тв)}-\text{CaF}_{2(тв)}$ появляется фаза, гигроскопичность которой намного выше, чем у исходных компонентов. Оценена также гигроскопичность извести после термообработки по режиму спекания модельных шихт, которая составила 30,1 мас. % за 336 ч выдержки в эксикаторе. Этот результат хорошо согласуется с теоретическим соотношением молярных масс негашеной (CaO) и гашеной (Ca(OH)₂) извести. Последняя больше первой на 32,12 %.

Учитывая аддитивность гигроскопичности m_{Σ} спеченного продукта системы $\text{MgO}_{(тв)}-\text{CaF}_{2(тв)}$ от вкладов всех фаз этого продукта и допуская, что указанный спеченный продукт не содержит иных веществ, кроме исходных реагентов и продуктов реакции (1), можно приближенно оценить содержание в нем свободной извести. Для этого примем также, что гигроскопичность флюорита m_{ϕ} и фторида магния m_{MgF_2} равны. Совокупность магнетита, флюорита и MgF_2 в спеченном продукте рассмотрим как одно вещество, гигроскопичность m_0 которого состоит из вкладов магнетита m_M и флюорита m_{ϕ} , принятых с учетом их массовых долей в исходной шихте

$$m_0 = 0,65m_{\phi} + 0,35m_M = 0,65 \cdot 0,07 + 0,35 \cdot 0,21 = 0,119 \%$$

Зная гигроскопичность извести $m_{и}$, ее массовую долю $x_{и}$ в спеченном продукте системы $\text{MgO}_{(тв)}-\text{CaF}_{2(тв)}$ легко определить путем решения следующего уравнения относительно $x_{и}$

$$m_{\Sigma} = x_{и}m_{и} + (1 - x_{и})m_0. \quad (3)$$



Расчет по выражению (3) показал, что содержание свободной извести в спеченном продукте системы $MgO_{(ТВ)}-CaF_{2(ТВ)}$ составляет 4,47 мас. %.

Такие минералы, как алюмомагнезиальная шпинель $MgO \cdot Al_2O_3$, алюминаты кальция $CaO \cdot Al_2O_3$ и $CaO \cdot 2Al_2O_3$ и др. являются термодинамически весьма устойчивыми соединениями в широком температурном интервале. Поэтому их образование начинается при достижении достаточной диффузионной подвижности атомов исходных компонентов, что обеспечивается повышением температуры. В реальных условиях множество факторов (дефектность решетки, наличие примесей и конституционной влаги в компонентах, появление в солеоксидных системах жидких и газовых фаз) способствует минералообразованию, снижая температуру начала твердофазных реакций. Например, образование шпинели из компонентов промышленной чистоты и естественной влажности становится заметным уже при 700...800, форстерита — при 900 °C [10]. В силу этого в шихте спекаемого флюса, где основные оксиды и флюорит преобладают над кислыми оксидами, последние к моменту достижения оксидной системой максимальной температуры, вероятно, полностью или большей частью расходуются на образование комплексных оксидов и оксифторидов. Флюорит и магнезит, напротив, остаются в избытке. В этих условиях известь, образуемая по реакции (1), при температуре примерно 700...1100 °C, реагирует, например с Al_2O_3 , образуя алюминаты кальция. Однако после исчерпания свободного Al_2O_3 известь, появляющаяся во время выдержки при максимальной температуре, не может быть быстро связана в минералы.

Повышение температуры спекания и длительности выдержки при максимальной температуре заметно снижает гигроскопичность высокоосновного синтетического флюса (см. рисунок, табл. 1). Такую закономерность можно объяснить, вероятно, уменьшением содержания свободной извести вследствие процессов взаимного растворения компонентов при высоких температурах, а также реагирования CaO с первичными химическими соединениями с образованием более сложных вторичных минералов [10]. Однако скорость этих процессов, по-видимому, недостаточна для полного связывания извести, образованной по реакции (1). Следовательно, некоторое количество CaO остается в свободном виде, обуславливая повышенную гигроскопичность готового высокоос-

новного синтетического флюса системы $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$.

Выводы

1. Показано, что с возрастанием основности синтетического флюса от 0,8 до 2,4, что обеспечивается одновременным увеличением в его составе массовых долей магнезита и флюорита, гигроскопичность флюса возрастает в 10...23 раза и становится соизмеримой с гигроскопичностью агломерированных флюсов.

2. Определено, что причиной высокой гигроскопичности синтетических флюсов системы $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$ является наличие в их составе свободной извести, образующейся в результате химической реакции между CaF_2 и MgO , протекающей в системе $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$ при высоких (примерно 1100 °C) значениях температуры и отсутствии кислых оксидов в свободном виде, которые могли бы эффективно связывать известь в минералы.

3. Установлено, что путем повышения температуры спекания и длительности выдержки при этой температуре можно значительно снизить гигроскопичность высокоосновных синтетических флюсов. Вместе с тем гигроскопичность остается существенно выше, чем у плавящихся.

1. *Синтетические* сварочные флюсы, изготовление и области применения / Б. С. Касаткин, А. К. Царюк, Ю. Н. Вахнин и др. // Автомат. сварка. — 1994. — № 3. — С. 62–66.
2. *О форме* существования водорода в сварочных плавящихся флюсах / И. А. Гончаров, А. П. Пальцевич, В. С. Токарев и др. // Там же. — 2001. — № 4. — С. 28–32.
3. *ГОСТ 22974.14–90.* Флюсы сварочные плавящиеся. Метод определения содержания влаги. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 7 с.
4. *Кузьменко В. Г., Гузей В. И.* Гидратация флюсов с локально измененным химическим составом зерен // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 44–46.
5. *Потанов Н. Н.* Основы выбора флюсов при сварке сталей. — М.: Машиностроение, 1979. — 168 с.
6. *Основность* расплавленных флюсов и возможность ее экспериментального определения / В. И. Галинич, В. Э. Сокольский, В. П. Казимиров, В. А. Шовский // Автомат. сварка. — 1991. — № 5. — С. 35–37.
7. *Еремин Н. И.* Неметаллические полезные ископаемые // <http://web.ru/db/msg.html?mid=1172887&uri=glava10.htm>.
8. *О фазовых* превращениях в агломерированном флюсе солеоксидной шлаковой системы при нагреве / В. Э. Сокольский, А. И. Роик, А. О. Давиденко и др. // Автомат. сварка. — 2010. — № 12. — С. 13–19.
9. *Владимиров Л. П.* Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций. — М.: Металлургия, 1970. — 528 с.
10. *Будников П. П., Гинстлинг А. М.* Реакции в смесях твердых веществ. — М.: Госстройиздат, 1965. — 476 с.

It was experimentally found that hygroscopicity of synthetic acid fluxes is at the same level as that of standard fused fluxes. Hygroscopicity of the synthetic fluxes grows not less than 10 times with increase in their basicity from 0.8 to 2.4. This probably is caused by the presence of a free lime, which forms in the synthetic flux as a result of the solid-phase reaction occurring between magnesium oxide and calcium fluoride in flux sintering. The thermodynamic calculation results and experimental data confirm the above assumption.

Поступила в редакцию 06.09.2011



КОНСТРУКЦИИ ПРЕОБРАЗУЕМОГО ОБЪЕМА (Обзор)

Академик **Б. Е. ПАТОН**, академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **В. С. ВОЛКОВ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены основные классы конструкций преобразуемого объема, представляющие собой оболочки мягкого и жесткого типов. Изложены основные проблемы, значительно сужающие сферу применения подобных конструкций в современной технике. Предложены технические решения, позволяющие оптимизировать функциональные свойства оболочечных конструкций преобразуемого объема.

Ключевые слова: конструкции преобразуемого объема, несущие оболочки, трансформируемые оболочки

Поиск компромисса между необходимостью создания конструкций оболочечного типа требуемых параметров и возможностью их дальнейшего транспортирования к месту эксплуатации связан с решением широкого спектра технических задач, сопровождаемых модернизацией действующих технологий и проведением работ в труднодоступных местах. Главная проблема заключается в сложности реализации в предполагаемом месте использования конструкции длительного и трудоемкого процесса ее изготовления. В то же время развитие техники определяет потребность в оболочках все большего объема и габаритов, диапазон применения которых ограничен либо отсутствием соответствующих средств транспортирования, либо их чрезмерной затратностью. Указанные условия требуют применения конструкций особого класса, способных в широких пределах изменять свои геометрические параметры при практически неизменных механических свойствах материала оболочки — конструкций преобразуемого объема (КПО).

Актуальность работ по созданию КПО обусловлена не только появлением новых нестандартных технических задач, требующих поиска решений соответствующего уровня. Распространенным является случай «оболочки в оболочке», когда необходима модернизация либо замена крупногабаритных емкостей, замкнутых в ограниченном технологическом пространстве (например, отсеке цельносварного корпуса судна).

Известен ряд примеров использования КПО, при которых процесс трансформации применяют для решения самостоятельной технической задачи или получения новых физических свойств объекта — избыточной плавучести, жесткости, отражающей способности и т. п., что может быть выполнено в том случае, когда функциональные и технологические характеристики КПО соответствуют требованиям, предъявляемым к ее прототипу.

Опыт практического применения технических устройств данного класса позволил выделить основные проблемы, устранение которых способно существенно расширить сферу применения КПО в технике. Решение этих проблем сводится к обеспечению многократной воспроизводимости геометрических параметров, герметичности и стабильности прочностных характеристик трансформированной оболочки.

Наибольшее прикладное значение в современной технике имеют несущие оболочки, воспринимающие нагрузку при достаточной жесткости. Их способность к значительным упругим перемещениям можно рассматривать как нежелательное следствие малой толщины и пологости оболочки, связанное с геометрической нелинейностью и потерей устойчивости. Однако именно это свойство является основой для технологии формоизменения оболочек, сочетающих достоинства ограждающих и несущих конструкций.

В большинстве случаев известные КПО условно можно рассматривать как тела типа оболочки, которые распределяются на три основных класса: несущие мягкие; построенные на основе преобразуемого каркаса; жесткие. По типу преобразования КПО делят на конструкции, преобразуемые путем создания избыточного давления во внутреннем объеме, и с помощью механической трансформации несущего каркаса, в том числе с применением материалов с памятью формы. По функциональным признакам КПО можно также условно разделить на герметичные и негерметичные.

В ИЭС им. Е. О. Патона создан отдельный класс КПО, относящихся к твердым оболочкам и способных сочетать характеристики, присущие различным типам трансформируемых оболочек [1]. Технология формоизменения тонкостенных металлических оболочек, большой вклад в создание которой внес В. М. Балицкий, создана на основе способа изометрического изгибания поверхностей и сочетает основные достоинства рассмотренных классов КПО:

возможность непрерывного преобразования конструкции без применения вспомогательных технологических операций;

отсутствие необходимости в поддержании во внутреннем объеме избыточного давления, используемого только в процессе преобразования;

герметичность трансформируемых оболочек, достигаемая путем применения технологии сварки стыковых соединений;

отсутствие необходимости в использовании несущего каркаса;

высокие значения коэффициента трансформации K_T ;

компактность конструкции до формоизменения.

Разработанные способы формоизменения оболочечных конструкций с сохранением топологически эквивалентной поверхности позволили создать широкий спектр КПО на основе пространственных тел вращения — сферы, эллипсоида и т. д. В основу технологии их изготовления положены способы комбинаторной геометрии; в большинстве случаев практическое решение задачи реализуется замещением поверхности семейством равных многоугольников, последовательно складываемых путем изгиба по линиям сопряжения до взаимного наложения с образованием компактного пакета.

Наиболее перспективными с точки зрения эффективности использования рабочего пространства и удобства при производстве исходных заготовок являются конструкции, форма которых приближена к цилиндрической и конической [2].

В основу конструктивно-технологического решения КПО цилиндрического типа положен принцип преобразования гиперболической складки в оболочку равномерного круглого сечения. Гиперболическая складка — это сложная многогранная поверхность, определяемая двумя видами ребер, которые являются прямолинейными образующими двух соосных однополостных гиперболических поверхностей. При определенных геометрических соотношениях такая складка отличается подвижностью в осевом направлении и может быть ком-

пактно сложена до соприкосновения ее панелей и торцевых ребер. Благодаря изометричности поверхностей складки и цилиндра сложенная складка может быть преобразована в цилиндрическую оболочку давлением, создаваемым внутри ограниченного этой оболочкой объема. При этом происходит поворот одного из цилиндрических оснований относительно другого, формоизменение складки и изгиб прямолинейных ребер по цилиндрической поверхности. Степень распрямления складки зависит от уровня формирующего давления; при соединении нескольких складок по торцевым кромкам можно получить многосекционную гиперболическую складку, каждая секция которой является самостоятельным преобразуемым элементом.

На рис. 1 показана трансформируемая цилиндрическая оболочка, полученная сопряжением двух гиперболических складок. Различная ориентация ребер по отношению к основаниям цилиндрических заготовок позволяет получить складки правого и левого направления.

В однонаправленных многосекционных системах угол взаимного поворота цилиндрических оснований возрастает пропорционально их количеству. Исключить поворот, крайне нежелательный в большинстве случаев потенциального использования цилиндрических КПО (например, шлюзовых камер, исключаяющих деформацию и круговое смещение стыковочных узлов), можно при равном количестве правых и левых складок.

К основным недостаткам цилиндрических КПО следует отнести трудоемкую технологию формирования гиперболических складок, требующую создания сложного специального оборудования для каждого типоразмера конечного изделия. Опытным путем установлено, что оптимальный результат при формировании складок можно получить лишь в определенном диапазоне соот-

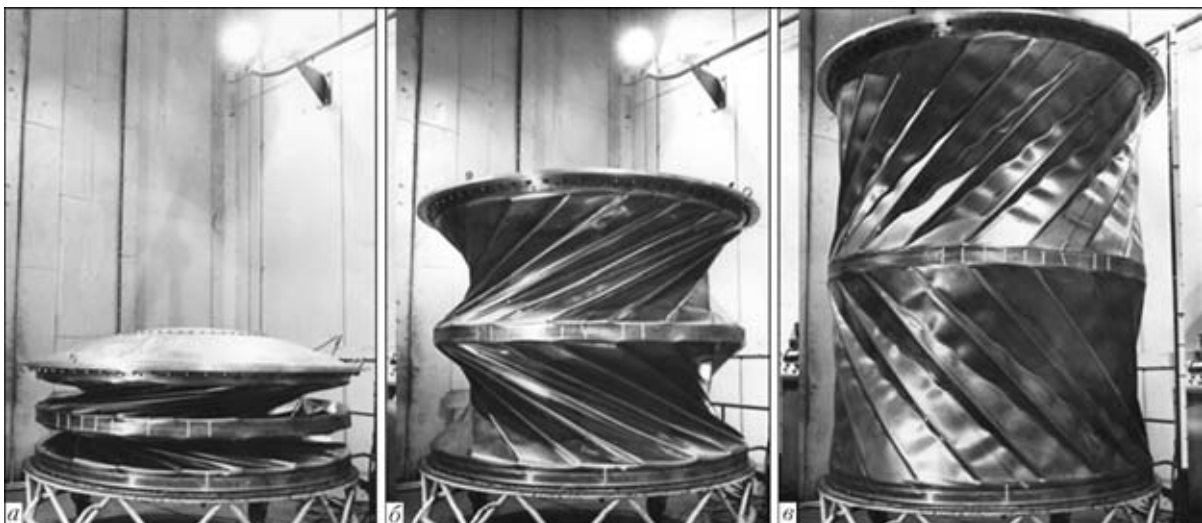


Рис. 1. Трансформируемая цилиндрическая двухсекционная оболочка (материал — сталь 12Х18Н10Т, толщина 1 мм и диаметр 2000 мм) на промежуточных стадиях трансформации (а, б) и в развернутом состоянии (в) ($K_T = 10$)



ношений $0,3 \leq H/D \leq 0,6$, где H — высота трансформируемой части оболочки; D — диаметр оболочки-заготовки.

В большинстве случаев предпочтительной является хорошо отработанная технология изготовления КПО путем формирования гофрированных дисков из тонкостенных конических заготовок, позволяющая создавать конструкции широкого диапазона типоразмеров и параметров.

Как и в рассмотренном случае конструкций цилиндрической формы, технология изготовления КПО конического типа основана на способе изометрического преобразования поверхности, которая предусматривает возможность изгиба оболочки без растяжения или сжатия материала [3]. Технология заключается в формоизменении заготовки (замкнутой конической усеченной оболочки) в диск с множественными кольцевыми гофрами. Исходная высота конуса уменьшается до значения, соответствующего глубине канавки формирующей матрицы.

Широко используемые в приборостроении металлические диски с кольцевыми гофрами имеют преимущественно небольшие размеры и гофры малой глубины. Такие мембраны обычно изготавливают способом штамповки, что неприемлемо для изделий с глубокими кольцевыми гофрами при относительно небольшом шаге.

Поскольку деформированию подвергается одновременно вся поверхность заготовки, требуется использование технологического процесса с мощным прессовым оборудованием; штамповка мембран со значительной глубиной гофров не может быть осуществлена в однопроходном процессе, необходимо применение набора штампов с плавно возрастающей глубиной ручьев.

Кроме того, материал заготовки претерпевает значительные (до 50 %) пластические деформации, вызывающие появление наклепа и повышающие его твердость. Для восстановления пластичности заготовки требуются межоперационный отжиг, очистка поверхности от окалины и т. п.

С учетом перечисленных факторов наиболее приемлемой технологией формоизменения конической заготовки можно считать ротационное выдавливание формирующим роликом на формематрице, воспроизводящей расчетную геометрию конечного гофрированного диска. Технология позволяет формировать диски диаметром от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. После герметизации дисков по большому и малому основанию исходного конуса можно осуществить их обратное преобразование в коническую оболочку путем создания во внутреннем объеме избыточного давления. При этом на поверхности оболочки сохраняются кольцевые гофры, вызванные местным растяжением матери-

ала при формовке и повышающие радиальную жесткость конструкции.

Необходимое количество отдельных гофрированных дисков можно объединить с помощью сварки по большим и малым основаниям в одну структуру, которая после преобразования приобретает форму многоконусной оболочки требуемых размеров и конфигурации. Перспективным является использование многоконусных оболочек в космической отрасли в качестве несущих штанг, шлюзовых отсеков и переходных тоннелей, дополнительных функциональных объемов либо контейнеров для отработанных материалов [1].

На рис. 2 представлены многоконусная оболочка периодического профиля, состоящая из трансформируемых гофрированных дисков (1), и общий вид после раскрытия герметичной КПО (2), которая может найти применение при создании крупногабаритных космических конструкций [2]. Диаметр оболочек может достигать 4000 мм, общий объем 40 м³ и более, что позволяет использовать подобные конструкции в качестве накопительных емкостей и хранилища для сыпучих и жидких веществ [3]. На рис. 3 изображена крупногабаритная КПО, используемая в качестве бака-аккумулятора в системе автономного водоснабжения.

В мировой практике первыми из КПО нашли промышленное применение трансформируемые несущие мягкие оболочки, которые использовали в строительстве, при создании летательных и космических аппаратов. Их совершенствованию способствовало появление новых материалов, сочетающих высокую прочность со стойкостью против воздействия агрессивных факторов окружающей среды и малым удельным весом.

В строительной отрасли нашли применение пневматические конструкции на основе воздуонесомых покрытий, функции каркаса в которых выполняют несущие пневмобаллоны. Наибольшей функциональностью характеризуются мягкие оболочки с двойной трансформацией (рис. 4): первый шаг преобразования объема предназначен для создания базовых элементов несущей конструкции, второй — технологического пространства необходимой конфигурации на их основе.

Развитие в последние десятилетия полимерных и композитных материалов способствовало появлению нового подкласса инженерных сооружений, получивших название воздухоопорных конструкций. Фиксация несущей оболочки в рабочем положении осуществляется с помощью поддержания в эксплуатационном объеме незначительного избыточного давления, не превышающего уровня нормальных барометрических колебаний. Мягкая оболочка из армированной светонепроницаемой ПВХ ткани герметично крепится на лен-

точном фундаменте, периметр которого может составлять сотни метров (рис. 5).

Вариант воздухоопорной конструкции обтекателя антенны радиолокационной станции [6], выполненный из армирующего материала типа вектран (vectran), представлен на рис. 6. Оболочка диаметром 36 м, высотой 39 м и массой около 8 т способна противостоять ветровым нагрузкам, соответствующим скорости ветра более 200 км/ч без снижения эксплуатационных характеристик радара.

Использование несущих мягких оболочек стало одним из первых удачных решений по снижению массы искусственных спутников Земли. В частности, в США реализованы проекты запуска на околоземную орбиту трех спутников научного назначения и серии коммерческих спутников, представляющих собой различные типы мягких трансформируемых оболочек. В US Naval Research Laboratory планируется запуск сферического исследовательского спутника, построенного на основе трансформируемого каркаса [7]. Из-за особенностей эксплуатации рассматриваемых конструкций в условиях открытого космоса большое значение имеет создание материалов оболочки, характеризующихся заданными свойствами.



Рис. 2. КПО периодического профиля (материал — титан ВТ1-0, толщина 0,15 мм), состоящая из 11 базовых конических оболочек [2]: 1 — конструкция в компактном сложенном состоянии; 2 — конструкция после раскрытия

На рис. 7 представлен общий вид спутника со сферической оболочкой из синтетического полиэфирного волокна — майлара (mylar) — с металлизированным покрытием.

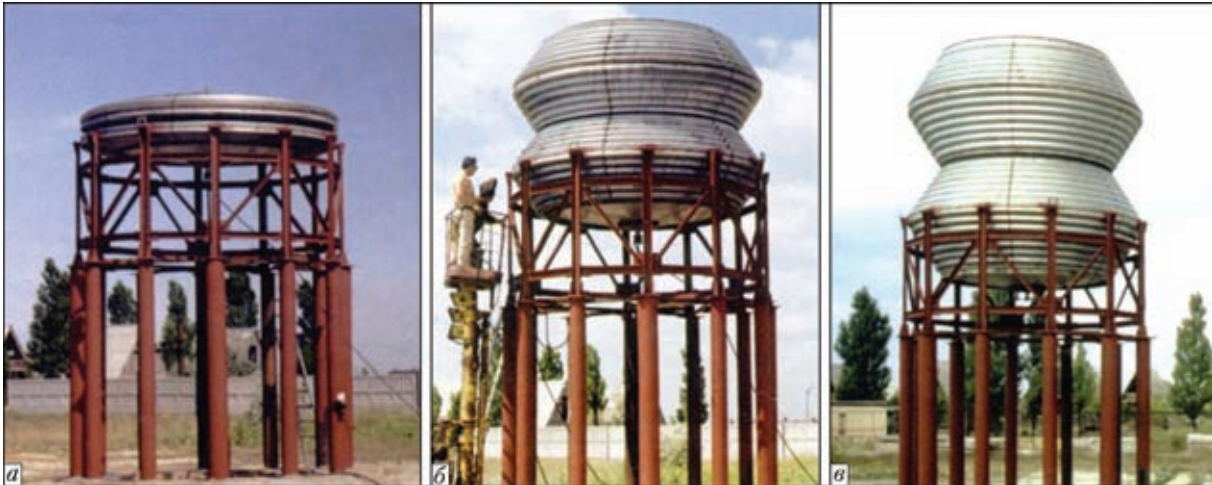


Рис. 3. Крупногабаритная КПО из четырех конических оболочек (материал — сталь 08X18H10T, толщина 2,5 мм, диаметр 3800 мм, высота 4500 мм, объем 40 м³) [3]: а — начальная; б — промежуточная; в — заключительная стадия преобразования

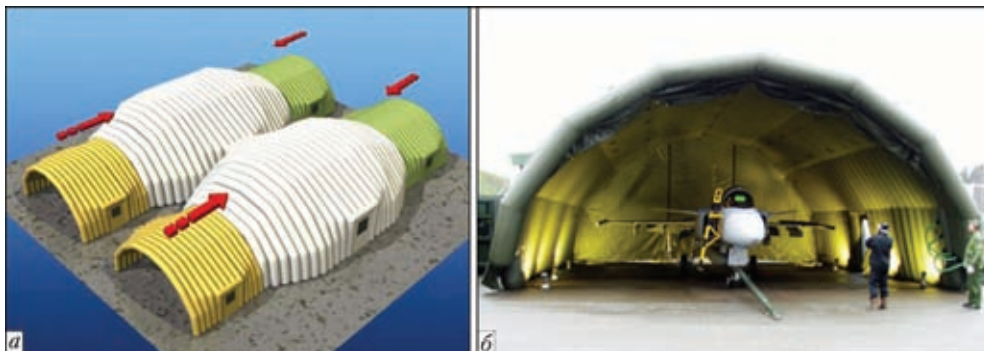


Рис. 4. Воздухонесомые конструкции ангарного типа на основе пневмобаллонов, предназначенные для использования в качестве мобильных жилых и складских помещений (а, стрелками указаны направления обратной трансформации) и для укрытия авиатехники в ВВС Швеции (б) [4]



Рис. 5. Варианты конфигурации воздухоопорных конструкций компании «Вингида», Финляндия—Латвия [5]

В 2009 г. исследовательский центр НАСА «Лэнгли» (NASA LaRC) провел удачный эксперимент по запуску и возвращению с орбиты спускаемого аппарата, построенного компанией «ILC Dover» на основе упругой преобразуемой оболочки. Конструктивно аппарат представлял собой пневматическую конструкцию с воздухомесомым покрытием и каркасом из несущих пневмобаллонов (рис. 8).

На высоте 211 км уложенная в цилиндрический пакет диаметром 0,4 м оболочка из кевлара раскрылась избыточным давлением до диаметра 3 м и возвратилась в плотные слои атмосферы. В результате эксперимента продемонстрирована способность конструкций подобного класса противостоять давлениям и температурам, возникающим при прохождении атмосферных слоев на гиперзвуковых скоростях, сохраняя при этом структурную целостность и аэродинамическую стабильность оболочки [9].

Результатом совместных работ «ILC Dover» и НАСА по проектированию обитаемых долговременных лунных баз стало создание прототипа тороидальной лунной обитаемой станции (Toroidal Lunar Habitat), представляющей собой преобразуемую воздухоопорную конструкцию из вектрана, армированного полосами кевлара, и жесткого цилиндрического основания для размещения энергетического оборудования (рис. 9).



Рис. 6. Воздухоопорная конструкция антенного обтекателя на испытательной платформе ILC Dover в Мексиканском заливе [6]

В рамках программы НАСА «Созвездие» компанией «ILC Dover» разработаны жилые модули обитаемых лунных станций X-Hab Lunar Habitat, представляющие собой гибридные конструкции на основе двух металлических полусферических оболочек, соединяемых между собой мягким цилиндрическим туннельным переходом переменной длины с коэффициентом трансформации, т. е. отношением определяющих параметров в исходном и преобразованном состояниях, $K_T = 10...12$ [6]. На рис. 10 представлены стадии преобразования конструкции в лаборатории исследовательского центра НАСА «Лэнгли».

По всей видимости, широкому применению несущих мягких оболочек в условиях космоса может препятствовать возрастающая засоренность околоземного пространства. Эксплуатацию описанных конструкций проводили на низких орбитах, практически свободных от остатков отработанных космических аппаратов, а их столкновения с твердыми частицами внеземного происхождения могли носить лишь случайный характер.

Стационарные космические станции для защиты от столкновения с мелкими телами снабжены системой слежения и корректировки орбиты; тем не менее ремонт и замена элементов наружной



Рис. 7. Спутник наблюдения PAGEOS с массой оболочки 56 кг и диаметром 31 м [8]

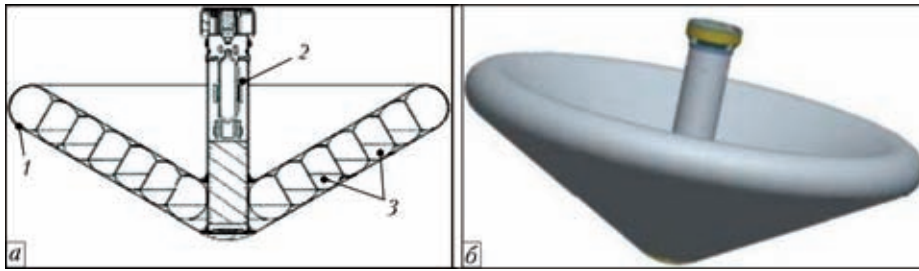


Рис. 8. Схема преобразуемого спускаемого аппарата (*а*: 1 — защитная оболочка из кевлара; 2 — жесткая центральная часть конструкции с системой наддува; 3 — тороидальные несущие пневмобаллоны) и общий вид аппарата (*б*) [9]

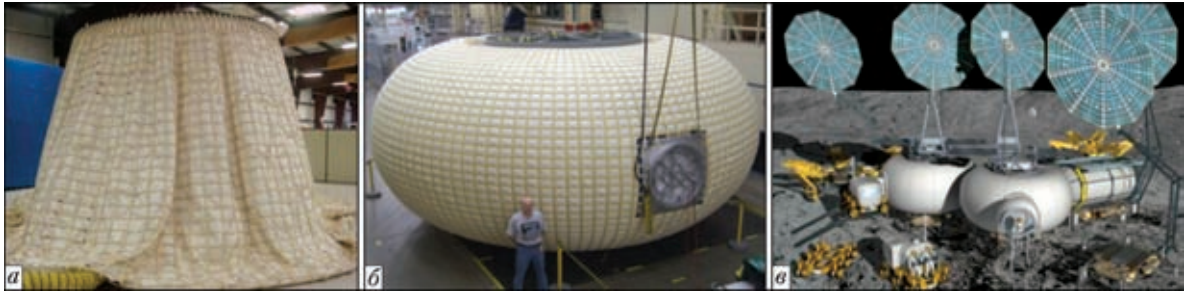


Рис. 9. Тороидальная лунная обитаемая станция: *а* — сложенное состояние; *б* — состояние полного раскрытия; *в* — проект обитаемой лунной базы НАСА, построенной на основе Toroidal Lunar Habitat [6]



Рис. 10. Стадии преобразования модуля X-Hab [6]

обшивки входит в число обязательных регламентных мероприятий.

Очевидное преимущество несущих мягких оболочек заключается в способности к неограниченному количеству прямых и обратных преобразований, компактности в сложенном состоянии и малом удельном весе конструкции. Коэффициент трансформации K_T может достигать 25...30. Главные их недостатки — это отсутствие достаточной жесткости, необходимость постоянного поддержания во внутреннем объеме избыточного давления, низкая устойчивость материала оболочки против колебаний температур, ультрафиолетового излучения, ветровых нагрузок и т. п.

При построении мягких оболочек на основе несущего преобразуемого каркаса преследуются две основные цели: сделать процесс преобразования одношаговым и создать каркас, конфигурация которого несущественно влияет на коэффициент трансформации конструкции. В складывающейся конструкции (рис. 11) точки шарнирного закрепления 2 и 3 несущих стержневых элементов каркаса имеют скользящие связи; возникающие на них усилия последовательно передаются соседним узлам по на-

правлению 4, в результате трансформация каркаса проходит в направлении уменьшения его горизонтального сечения.

Поиск средств по обеспечению геометрической стабильности каркаса способствовал появлению конструкций с переменной жесткостью оболочки, в которых применение несущей основы сочетается с преобразованием с помощью избыточного давления.

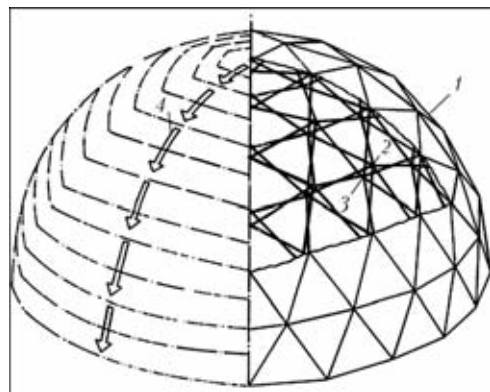


Рис. 11. Схема складывающейся конструкции [10]: 1 — сферическая конструкция; 2, 3 — точки шарнирного закрепления; 4 — направление складывания

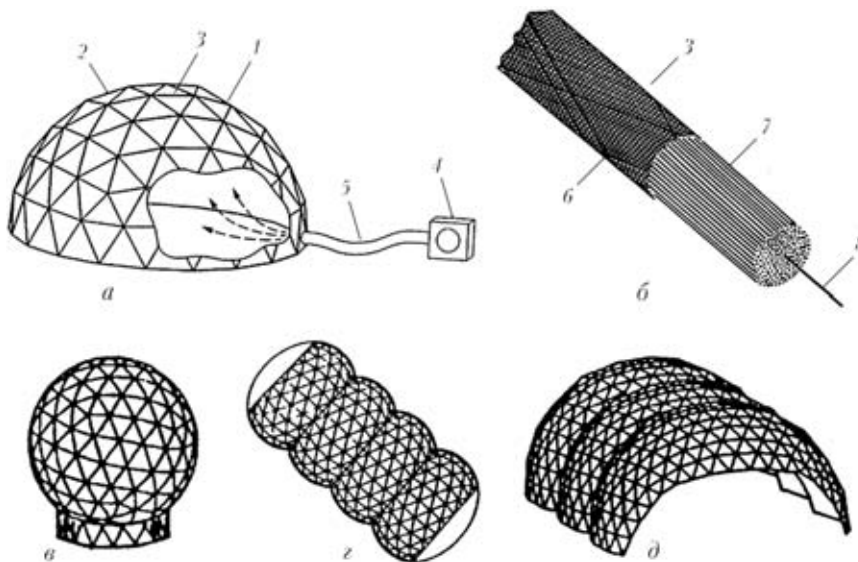


Рис. 12. Схема надувной конструкции с переменной жесткостью оболочки [11]: *a* — вариант использования технологии для формирования герметичной полусферической оболочки; *б* — элемент с переменной жесткостью; *в–д* — возможные конфигурации конструкций, созданные по данной технологии: *1* — трансформируемая конструкция; *2* — внешнее покрытие оболочки, выполненное из майлара или каптона; *3* — элементы с переменной жесткостью; *4* — компрессор; *5* — нагнетательный канал; *6* — внешнее покрытие элемента *3*; *7* — жгут из термопластического волокна; *8* — нагревательный элемент

На рис. 12 представлены трансформируемые оболочки, которые фиксируются в раскрытом положении с помощью элементов на основе термопластического волокна. Нагрев элементов и их последующее охлаждение приводят к жесткой фиксации размягченных волокон в положении, определяемом конфигурацией отдельных участков каркаса.

Главным недостатком элементов с переменной жесткостью является невозможность многократной трансформации конструкций на их основе — характерного свойства мягких оболочек. Альтернативным решением стало появление геометрически стабильных несущих конструкций со сложной пространственной конфигурацией, приближенной к сферической оболочке.

Распространение получили различные варианты так называемой сферы Хобермана, при разработке несущего каркаса которой использовали технологии компьютерного моделирования.

На рис. 13 дано схематическое изображение спутника PERCS, транспортируемого на орбиту в сложенном компактном состоянии [12]. Проект PERCS можно считать удачным вариантом применения технологии преобразования оболочки,

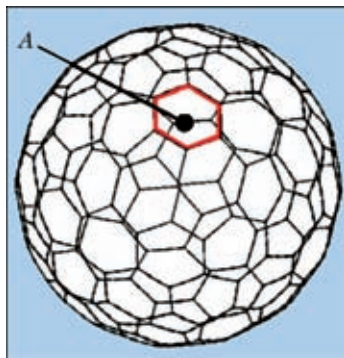


Рис. 13. Схема спутника PERCS — трансформируемой сферы, образованной подвижно соединенными между собой панелями *A* [13] (диаметр в исходном состоянии 1,25 м, в трансформированном 10,3 м)

герметичность которой не является обязательной; объект относится к классу пассивных спутников и не оснащается какой-либо аппаратурой.

В последние годы предприняты попытки испытаний вне земной атмосферы обитаемых трансформируемых конструкций оболочечного типа, однако ни один из заявленных проектов до сих пор не реализован в полном объеме. В 2006–2007 гг. компанией «Bigelow Aerospace» (США) выведены на орбиту высотой 500 км два первых прототипа обитаемых космических станций, представляющих собой мягкие герметичные многослойные оболочки толщиной 150 мм на каркасной основе (рис. 14). После трансформации путем создания избыточного давления во внутреннем объеме диаметр модуля увеличивается до 2,54 м при неизменной длине [14]. При значительном удельном весе жесткого металлического каркаса и низком коэффициенте трансформации конструкции модулей лишены главных преимуществ гибких оболочек, но имеют решающие преимущества при выводе на орбиту ракетами-носителями с относительно малым сечением транспортного отсека.

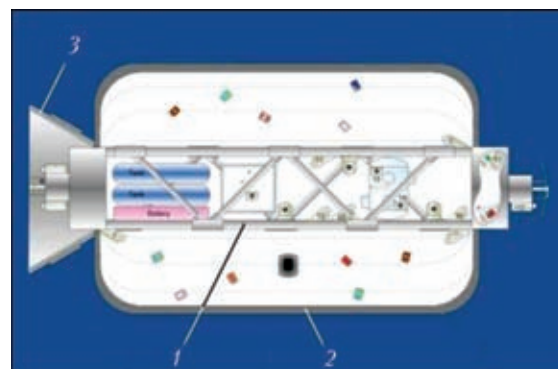


Рис. 14. Космический модуль Genesis I/II [14] (масса 1363 кг, длина в транспортном состоянии 4,4 м; диаметр до трансформации 1,6, после трансформации 2,54 м): *1* — жесткий металлический каркас, на котором расположены системы жизнеобеспечения модуля; *2* — трансформируемая оболочка; *3* — стыковочный узел



Рис. 15. Модель двухстенчатой преобразуемой конической оболочки (материал — титан ВТ1-0, толщина 0,15 мм): *а* — компактное состояние; *б* — развернутое состояние; *в* — осевые сечения несущих элементов (шпангоутов) *I* и *II*; *С*, *D* — несущий и вспомогательный шпангоуты; *F* — днище оболочки; *G* — преобразуемые конические оболочки

Современные материалы с новыми свойствами позволяют создавать космические КПО, коэффициент объемной трансформации K_T которых может достигать 10. Однако задача сочетаемости этих параметров с достаточной прочностью и герметичностью оболочек остается нерешенной. В частности, конструкции вакуумплотных оболочек модулей Genesis способны обеспечить коэффициенты трансформации $K_T \approx 1,6$, которые в земных условиях приемлемы лишь при преобразовании объема некоторых лабораторных и измерительных устройств либо перспективных конструкций, в которых решаются параллельные задачи оптимизации массогабаритных и прочностных характеристик.

Преобразование объема отдельных элементов приборов широко применяют в лабораторной и измерительной технике, в узлах систем трубопроводов и специальной запорной арматуре, в частности в трубчатых компенсаторах — тороидальных оболочках с круговой или близкой к окружности формой меридиана, способных испытывать незначительные упругие деформации. Большое распространение получили сильфоны — тонкостенные трубы с кольцевыми гофрами, в большинстве случаев изготавливаемые из сплавов цветных металлов и легированных сталей.

Коэффициент трансформации K_T в сильфонных конструкциях определяется особенностями профиля оболочки, способной сжиматься лишь в пределах промежутков между гофрами. Сильфоны герметичны, могут подвергаться многократному формоизменению под действием изменяющегося давления, но имеют особенность — потерю осевой устойчивости при внутреннем давлении, не отличаясь достаточной жесткостью на изгиб.

На основании сравнительного анализа существующих классов КПО можно сделать вывод о том, что сочетание технологически приемлемых прочностных характеристик оболочки со значительными коэффициентами трансформации при одновременной герметичности возможно лишь в жестких несущих оболочках, среди которых наиболее оптимальными благодаря простоте технологии формо-

изменения являются конические и многоконусные преобразуемые конструкции. Тем не менее, функциональные качества данного класса преобразуемых конструкций ограничены отсутствием отлаженного алгоритма многократного формоизменения, а отсутствие инвариантности конструктивных исполнений требует создания универсальной расчетной методики определения базовых геометрических параметров. Одним из основных подходов к оптимизации конструкции жестких трансформируемых оболочек, позволяющим существенно расширить сферу их применения, является создание двухслойной конструкции, в которой благодаря дублированию наружной стенки можно предотвратить последствия возможной разгерметизации.

Опытным путем установлено, что процесс, реализуемый в основном за счет деформации изгиба материала, позволяет производить также совместное формоизменение нескольких заготовок равной геометрии. Дальнейшая сборка и сварка базовых элементов в КПО осуществляется на кольцевых силовых элементах (шпангоутах), выполняющих функции кондуктора при совмещении кромок базовых элементов, подкладки в ходе сварочного процесса и силового элемента, несущего технологические и эксплуатационные нагрузки (рис. 15, *б*). Плотность прилегания кромок двухслойных оболочек обеспечивается специально разработанным приспособлением, позволяющим стягивать базовые элементы вдоль оси КПО.

После герметизации полученных дисков по большому и малому основанию исходного конуса осуществляется их обратное преобразование в коническую оболочку путем создания во внутреннем объеме избыточного давления. При окончательной трансформации на поверхности оболочки сохраняются характерные кольцевые гофры, вызванные местным растяжением материала в вершинах технологических ребер при формообразовании и повышающие радиальную жесткость полученной конструкции.

Цель эксперимента с опытной двухслойной оболочкой заключалась в определении влияния



дублирующей стенки на характер трансформации и степень увеличения избыточного давления, необходимого для преобразования конструкции. На рис. 15 представлена модель двухстенчатой оболочечной конструкции в компактном и развернутом состоянии. Оболочка оснащалась манометром с ценой деления $0,01 \cdot 10^4$ Па. При плавном увеличении давления раскрытие двухслойного гофрированного диска проходило ступенями, начиная с гофров большего диаметра и заканчивая меньшими, при этом деформация внутренней оболочки вызывала возрастание избыточного давления в межстеночном пространстве и, как следствие — раскрытие наружной оболочки.

По достижении максимального значения давления для текущего диаметра гофр скачкообразно разворачивался, при этом давление резко падало из-за увеличения внутреннего объема оболочки; процесс повторялся вплоть до полной трансформации КПО к расчетным размерам. Необходимое для полной трансформации двухслойной оболочки давление составляло $P_2 = 22,1 \cdot 10^4$ Па, для однослойной оболочки с аналогичными парамет-

рами $P_1 = (9,32 \dots 9,51) 10^4$ Па. Таким образом, для дублирующей стенки требуется более чем двукратное повышение технологического давления трансформации.

В процессе преобразования усеченного конуса в гофрированный диск и последующей обратной трансформации обеспечиваются четкие геометрические зависимости между углом конусности, длиной образующей конуса и параметрами гофрированного диска, что позволяет с высокой точностью моделировать технологические операции и узлы КПО с двойной оболочкой. Полученные в ходе эксперимента результаты позволяют сделать заключение о возможности создания длинномерных двухстенчатых конструкций, подобных существующим многоконусным КПО периодического профиля.

Перспективные задачи использования многоконусных КПО в качестве выдвижных систем и корпусных конструкций орбитальных космических модулей связаны с необходимостью их последующей утилизации, требующей отработки механизма обратной трансформации с сохранением исходной геометрии. Способность жестких оболочек преобразуемого объема к многократной воспроизводимости стабильных геометрических параметров согласуется с основами метода регулярного изометрического преобразования. Однако реальная металлическая оболочка после первого повторного цикла преобразования приобретает волнообразные деформации в межгофровых промежутках, свидетельствующих о местной потере устойчивости (рис. 16).

В ходе проведенного эксперимента во внутренней полости модели с помощью вакуумного насоса создали разрежение примерно $P = -9,32 \cdot 10^4$ Па, что соответствует обратному значению давления, необходимого для раскрытия исходного гофрированного диска. В пределах полного цикла трансформации продолжительностью 33 с зафиксировано полное восстановление исходной формы двухстенчатой оболочки с локальными деформациями в окрестностях вершин ребер. При последующих циклах отмечено нарастание местных деформаций и объединение зон их локализации, приводящих к общей потере устойчивости конструкции.

Одним из возможных вариантов изменения технологии преобразования для реализации многократного формоизменения оболочки может быть уменьшение радиуса закругления вершин ребер матрицы, увеличивающее жесткость остаточных кольцевых гофров. При этом зоны максимальных упругопластических деформаций локализируются в окрестностях вершин гофров, а синусоидальный профиль конической образующей приближается к виду кусочно-ломаной кривой, соответствующей исходной математической мо-

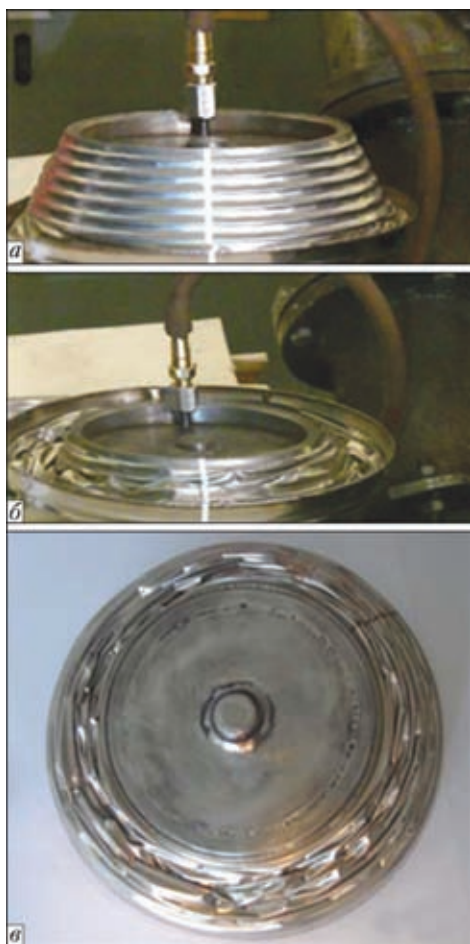


Рис. 16. Обратная трансформация конической оболочки с синусоидальным профилем образующей (материал — титан ВТ1-0, толщина 0,15 мм): а — промежуточная стадия преобразования; б — полная обратная трансформация оболочки; в — внешний вид оболочки после полной обратной трансформации

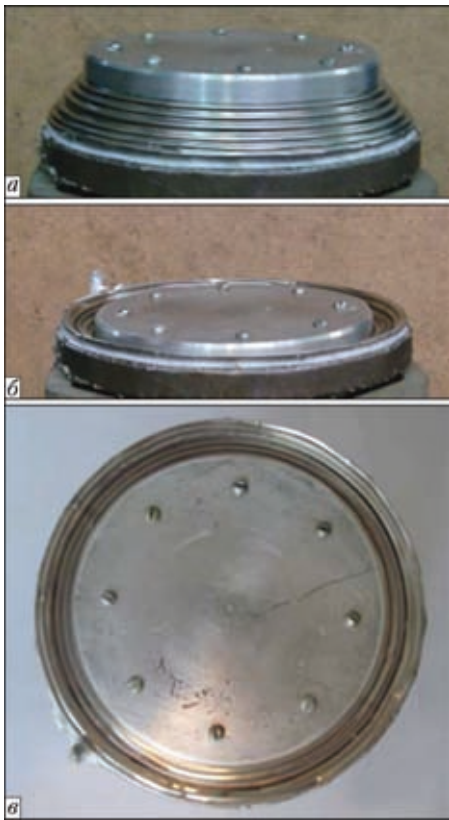


Рис. 17. Обратная трансформация конической оболочки с кусочно-ломаным профилем образующей (материал — титан VT1-0, толщина 0,15 мм): *а* — промежуточная стадия преобразования; *б* — полная обратная трансформация оболочки; *в* — внешний вид оболочки после полной обратной трансформации

дели зеркального отображения усеченной конической поверхности.

На рис. 17, *а*, *б* показаны стадии обратной трансформации модели конической КПО с кусочно-ломаным профилем образующей и конфигурацией, соответствующей оболочке, представленной на рис. 16. После полного восстановления исходной формы появления деформаций не отмечалось, при трех последующих циклах также не обнаружено зон локальной потери устойчивости конструкции. На рис. 16, *в* и 17, *в* показан внешний вид конических КПО с синусоидальным и кусочно-ломаным профилями образующей после полного обратного преобразования. На рис. 16, *в*

различно резкое искажение поверхности оболочки в виде множественных изломов межгофровых промежутков, оболочка на рис. 17, *в* полностью сохранила исходные геометрические параметры.

Проведенные эксперименты на модельных образцах свидетельствуют о возможности повторной трансформации КПО с конструктивными элементами конического типа и создания двухстенчатых КПО.

Анализ различных классов КПО показал, что они находят все более широкое использование в строительной отрасли и аэрокосмической технике. Созданные в ИЭС им. Е. О. Патона КПО на основе жестких несущих оболочек являются перспективными для применения в различных условиях монтажа и эксплуатации, включая экстремальные.

1. *Космос: технологии, материаловедение, конструкции*: Сб. науч. тр. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — 528 с.
2. *Патон Б. Е., Лапчинский В. Ф.* Сварка и родственные технологии в космосе. — Киев: Наук. думка, 1998. — 183 с.
3. *Расчет и особенности технологии изготовления крупногабаритной сварной конструкции преобразуемого объема* / Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, В. Н. Самилев и др. // Автомат. сварка. — 2006. — № 7. — С. 3–12.
4. *Надувные конструкции* // www.lindstrandusa.com.
5. *Воздухоопорные конструкции* // www.vingida.ru.
6. *Воздухоопорные сооружения для военных целей* // www.ilcdoover.com.
7. *The design and applications of a versatile HF radar calibration target in low-earth orbit* / A. Bernhardt, C. L. Siefring, J. F. Thomason et al. // *Radio Sci.* — 2008. — № 8. — P. 11–21.
8. *Описание проекта PAGEOS* // www.nssdc.gsfc.nasa.gov.
9. *Inflatable Re-entry vehicle experiment (IRVE) design overview* / S. J. Hughes, R. A. Dillman, B. R. Starr et al. // 18th AIAA aerodynamic decelerator systems technology conference» and seminar (Munich, Germany, May 23–26, 2010). — Munich, 2010. — P. 52–58.
10. *Pat. 4290244 USA, MKU E04 B1/32*. Collapsible self-supporting structures a panels and nud therefor / Th. R. Zeigler. — Publ. 22.09.1981.
11. *Pat. 5579609 USA, MKU B64699/00*. Rigidizable inflatable structure / B. T. Sallee. — Publ. 12.03.1996.
12. *Раскрывающийся спутник PERCS* // www.hoberman.com.
13. *Pat. 6834465 USA, MKU E04 B1/344*. Folding covering panels for expanding structures / C. Hoberman. — Publ. 28.12.2004.
14. *Модуль Genesis II* // www.bigelow aerospace.com.

The paper deals with the main classes of transformable structures, which are shells of soft and rigid type. The main problems are outlined, which greatly reduce the range of application of such structures in modern engineering. Technical solutions, allowing optimization of functional properties of transformable shell structures, are suggested.

Поступила в редакцию 20.07.2011

ПАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»



Украинское предприятие ПАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий» является на протяжении многих лет одним из крупнейших в Европе производителем сварочных флюсов и силиката натрия. На сегодняшний день мы предлагаем более 20 марок сварочных флюсов.



На заводе разработана и внедрена Система управления качеством с получением Сертификатов TUV NORD CERT GmbH на соответствие стандарта ISO 9001:2008 и Государственного предприятия научно-технического центра «СЕПРО3» ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001–2009 (ISO 9001:2008, IDT).



Продукция сертифицирована в УкрСЕПРО, Системе Российского Морского Регистра судоходства, Госстандарта России, TUV Nord.



СВАРОЧНЫЕ ФЛЮСЫ для автоматической и полуавтоматической сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей.
АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-АД, АН-348-АП, АН-47, АН-47Д, АН-47П, АН-60, АН-60М, ОСЦ-45, АНЦ-1А, ОСЦ-45 мелкой фракции



(ГОСТ 9087-81, ТУ У 05416923 049-99, ГОСТ Р 52222–2004).

Основные потребители — металлургические, машиностроительные, мостостроительные, судостроительные, вагоностроительные предприятия, нефтегазовый комплекс, которым мы всегда гарантируем стабильность поставок и самые низкие в СНГ цены.

Благодаря тесному сотрудничеству с Институтом электросварки им. Е.О. Патона завод освоил производство сварочных флюсов новым методом — двойным рафинированием расплава. Этот наиболее прогрессивный способ сварки флюсов, защищенный патентами, существенно улучшил сварочно-технологические свойства флюсов при сохранении благоприятного соотношения качества к цене. Завод также освоил технологию производства агломерированных флюсов, применяющихся для многодуговой сварки газопроводных труб большого диаметра, для одно и много проходной сварки углеродистых и низколегированных сталей, для нанесения износостойкого слоя твердостью до 250 НВ.

СИЛИКАТ НАТРИЯ РАСТВОРИМЫЙ, силикатный модуль от 2,0 до 3,5.

Широко применяется для изготовления жидкого стекла и сварочных электродов.

Наша цель — более полное удовлетворение Ваших потребностей в качественных и современных сварочных материалах

ПАО «Запорожстеклофлюс»

Украина, 69035, г. Запорожье, ГСП-356, ул. Диагональная, 2,
Отдел внешнеэкономических связей и маркетинга
Тел.: +380 (61) 289-0353, 289-0350; факс: 289-0350, 224-7041
E-mail: market@steklo.zp.ua
<http://www.steklo-flus.com>

Официальный представитель ПАО «Запорожстеклофлюс» по реализации флюсов сварочных на территории Российской Федерации
ЗАО «ЕвроЦентр», г. Москва.

Отгрузка со складов Москвы, Курска.
Тел.: (495) 646-2755, 988-3897 — Коваленко Людмила Викторовна,
Кашавцев Владимир Викторович, Кашавцев Юрий Викторович

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОГЛОЩАЮЩИХ ВСТАВОК КОНТЕЙНЕРОВ ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

В. А. БОГДАНОВСКИЙ, В. М. ГАВВА, Н. М. МАХЛИН, А. Д. ЧЕРЕДНИК, А. В. ТКАЧЕНКО, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. Б. КУДРЯШЕВ, А. П. КУЛИКОВ, А. В. КОВАЛЮК, инженеры
(ОП «Атомэнергомах» ГП НАЭК «Энергоатом», г. Киев)

Рассмотрено применение автоматической орбитальной сварки ТИГ для получения герметичных стыкозамковых соединений поглощающих элементов, являющихся основой поглощающих вставок контейнеров хранения отработанного ядерного топлива. Приведены результаты обработки технологии сварки ТИГ и области оптимальных режимов при выполнении этих соединений, описана промышленная установка для сварки замковых соединений поглощающих элементов и результаты ее опробования.

Ключевые слова: автоматическая орбитальная сварка, поглощающие вставки, атомные электростанции, стыкозамковые соединения, технологический стенд, ядерная безопасность

В соответствии с требованиями ядерной безопасности водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) энергоблоков атомных электростанций (АЭС) для поддержания требуемого уровня подкритичности топливные тепловыделяющие сборки (ТВС) комплектуют поглощающими стержнями системы управления и защиты (ПС СУЗ). Такой же принцип обеспечения ядерной безопасности применяют и в отношении хранения отработанного ядерного топлива, согласно чему значение коэффициента размножения нейтронов не должно превышать 0,95 в условиях нормальной эксплуатации и при проектных авариях [1–3].

Одним из способов обеспечения ядерной безопасности грузов вентилируемых контейнеров хранения сухого хранилища отработанного ядерного топлива (ВКХ СХОЯТ) является комплектация отработанных ТВС поглощающими вставками (ПВ), используемыми наряду с отработанными ПС СУЗ и компенсирующими дефицит последних.

Применяемая в ВКХ СХОЯТ Запорожской АЭС ПВ разработки Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» (НТК ЯТЦ ННЦ ХФТИ) представляет собой траверсу и 18 поглощающих элементов (ПЭЛов). Траверса ПВ служит для обеспечения одновременной транспортировки ПЭЛов и их дистанционирования при проведении

транспортно-технологических операций. ПЭЛы предназначены для размещения поглощающего материала в направляющих каналах отработанных ТВС. По конструкции, форме, габаритным и установочным размерам ПЭЛы являются аналогом ПС СУЗ.

ПЭЛ состоит из оболочки (рис. 1), наполненной виброуплотненным порошком карбида бора, утяжелителя, наконечника, конуса (заглушки) и пробок. Для изготовления оболочки используется труба диаметром 8,2 мм с толщиной стенки 0,6 мм из хромоникелевой стали аустенитного класса 08X18N10T или 12X18N10T, наконечника и конуса (пруток из такой же стали).

Согласно разработанной и применяемой в НТК ЯТЦ ННЦ ХФТИ технологии изготовления ПВ, герметизирующие стыкозамковые соединения оболочки ПЭЛа с его наконечником и конусом выполняют способом дуговой сварки поворотных стыков неплавящимся электродом в инертных газах, при котором свариваемое изделие подвергается вращению вокруг своей оси со сварочной скоростью, а горелка с неплавящимся электродом находится в фиксированном пространственном

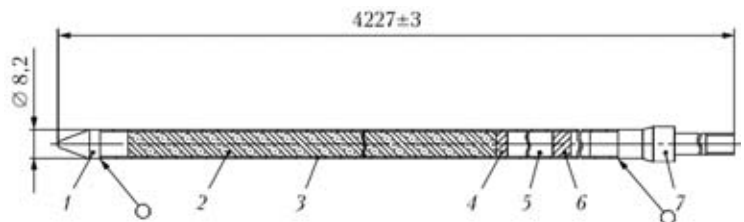


Рис. 1. Схема ПЭЛа: 1 — конус (заглушка); 2 — наполнитель (порошок карбида бора); 3 — оболочка; 4, 6 — пробки; 5 — утяжелитель; 7 — наконечник



положении. Сварка оболочки с конусом производится в аргоне, а оболочки с наконечником — в контролируемой среде (гелии) [4]. Для процесса сварки используют специализированные установки АСТЭ-7 и СА-281 разработки НИКИМТ (г. Москва) [5]. Такая технология обеспечивает требуемое качество сварных соединений ПЭЛов, что подтверждается опытом изготовления ПВ и их эксплуатации в ВКХ СХОЯТ Запорожской АЭС. Вместе с тем увеличение объемов изготовления ПЭЛов, обусловленное наметившимся ростом потребности в ПВ, в определенной степени сдерживается особенностями находящихся в длительной эксплуатации установок для сварки поворотных стыков, их функциональными возможностями и уровнем конечной производительности, сложностями модернизации этого оборудования или его замены новым. Отмеченные особенности применяемого оборудования затрудняют и модернизацию некоторых составляющих технологического цикла изготовления ПЭЛов.

Одним из возможных путей совершенствования существующей технологии изготовления ПВ является разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ОП «Атомэнергомаш» ГП НАЭК «Энергоатом» технология герметизации стыкозамковых соединений ПЭЛов способом автоматической орбитальной сварки неповоротных стыков неплавящимся электродом в инертных газах (сварка GTAW) и технологическое оборудование для осуществления этого процесса.

Отработку технологии сварки GTAW оболочки ПЭЛа с его наконечником и конусом выполняли с использованием разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона и промышленно изготавливаемого автомата АДЦ 627 УЗ.1 для орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов.

Техническая характеристика автомата АДЦ 627.УЗ.1

Диапазон диаметров свариваемых труб, мм	8...24
Наименьшее межтрубное расстояние, мм	60
Пределы регулирования значений сварочного тока, А:	
нижнее, не более	8
верхнее, не менее	260
Пределы регулирования напряжения на дуге, В	8...24
Наибольшее отклонение сварочного тока от заданного значения при колебаниях напряжения питающей сети не более номинального значения и изменениях длины не более ±2,0 мм от заданного значения, %	±2
Точность поддержания заданного значения напряжения дуги, В, не хуже	±0,20
Пределы регулирования скорости вращения планшайбы головки сварочной, об/мин	0,3...12,0
Номинальный диаметр вольфрамового электрода (марок ВЛ, ВИ или ВТ), мм	1,6
Номинальное радиальное перемещение горелки, мм	15
Наибольшее перемещение горелки поперек стыка, мм	±1
Количество проходов дуги	1...4

Автомат АДЦ 627 УЗ.1 обеспечивает выполнение двух видов работы («Наладка» и «Сварка»), двух видов управления («Ручное» или «Автоматическое») и реализацию заданных циклов сварки в ее непрерывном режиме, режиме шагоимпульсной сварки или сварки модулированным током. В состав автомата входят многофункциональный источник питания чопперного типа ИЦ 616 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в инертных газах, блок контроллера (система управления) ИЦ 616.20.00.000, выносной пульт управления (пульт оператора) ИЦ 616.30.00.000, головка сварочная АДЦ 627.03.00.000 и коллектор АДЦ 625.07.00.000.

При отработке технологии сварки стыкозамковых соединений ПЭЛов исходили из результатов и рекомендаций ранее проведенных исследований [6, 7], в которых установлены следующие особенности сварки GTAW тонкостенных изделий без присадочной проволоки:

основными факторами, влияющими на качество сварных соединений, являются характер изменения в процессе сварки погонной энергии и тепловложения, форма заточки и состояние рабочей части вольфрамового электрода, состояние поверхности основного металла;

определяющими параметрами сварки GTAW без присадочной проволоки являются сварочный ток, напряжение дуги, скорость сварки и расход инертного газа, соотношения значений которых должны соответствовать определенной расчетно-экспериментальным путем области режимов сварки, обеспечивающей высокое качество сварного шва [8];

нахлесточные типы сварных соединений (к которым относятся и стыко-замковые соединения ПЭЛов) (по сравнению со стыковыми) менее чувствительны к нестабильности параметров режима сварки, но при их выполнении необходимо некоторое смещение (до 0,5 мм) электрода от линии стыка и его наклон под углом 15° в сторону большего теплоотода [7] (рис. 2).

Для определения областей оптимальных режимов однопроходной сварки GTAW стыкозамковых соединений оболочки ПЭЛа с его конусом и наконечником проводили опытные сварки на образцах (макетах) ПЭЛов. При подготовке образцов под сварку выполняли подрезку торцов макетов оболочек (отрезков трубы диаметром 8,2 мм из стали 08Х18Н10Т) и обезжиривание как этих макетов, так и конусов и наконечников. Сборку соединений под сварку производили по схеме, приведенной на рис. 2, обеспечивая при этом плотную посадку (d10) конуса или наконечника с оболочкой.

Сварку оболочки с конусом выполняли в аргоне с варьированием следующих параметров ее режима: сварочный ток — 25; 28; 30; 32; 35А, напряжение на дуге — 9...11 В при ее длине от

0,5 до 1,5 мм, скорость сварки — от 11,5 до 13,5 м/ч (от 7,64 до 8,97 об/мин), длительность плавного нарастания сварочного тока — от 0,5 до 1,5 с, длительность «прогрева» (интервала времени между моментами окончания плавного нарастания сварочного тока и начала вращения дуги) — от 1,0 до 1,5 с, длительность плавного спада сварочного тока в завершающей стадии процесса сварки (заварки кратера) — от 1,0 до 2,5 с, расход инертного газа — от 5 до 8 л/мин.

Сварку оболочки с наконечником осуществляли в гелии с учетом характеристик дуги, обусловленных его тепло- и электрофизическими свойствами. При этом сварочный ток составлял 16; 18; 20; 22; 25 А, напряжение на дуге — 18,0...21,5 В при длине дуги от 0,5 до 1,5 мм, длительность плавного спада сварочного тока (заварки кратера) — от 1,0 до 3,5 с, значения других параметров режима сварки варьировались в пределах, принятых для опытных сварок в аргоне оболочки ПЭЛа с конусом.

Качество полученных при опытных сварках соединений оценивали путем визуально-измерительного контроля, металлографических исследований, испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК) и контроля герметичности. Визуально-измерительный контроль выполняли в соответствии с требованиями действующей в отрасли нормативной документации [9] с помощью микрометра, а также лупы и бинокулярного микроскопа (например, МВС-9) при увеличении 8...10. Металлографические исследования производили на вырезанных из полученных сварных соединений макрошлифах с использованием металлографического микроскопа при увеличении 50...100, при этом определяли глубину провара, наличие дефектов в металле шва (немаллических включений, пор, свищей и несплавлений), структуру металла шва и зоны термического влияния, размеры аустенитного зерна. Испытания на стойкость против МКК металла зоны сварного шва и ЗТВ проводили по методу АМУ ГОСТ 6032–89. Контроль герметичности осуществляли с помощью масс-спектрометра и гелиевого течеискателя ПТИ-10 методом вакуумной камеры в соответствии с требованиями и методикой, регламентируемой действующей нормативно-технической документацией [10].

Выполнение нескольких серий опытных сварок оболочки ПЭЛа с его конусом и наконечником, всесторонний контроль качества этих сварных соединений и анализ полученных результатов позволили установить, что для обеспечения стабильно высокого качества стыкозамковых соединений ПЭЛов основные параметры режимов сварки GTAW должны соответствовать значениям, указанным в таблице.

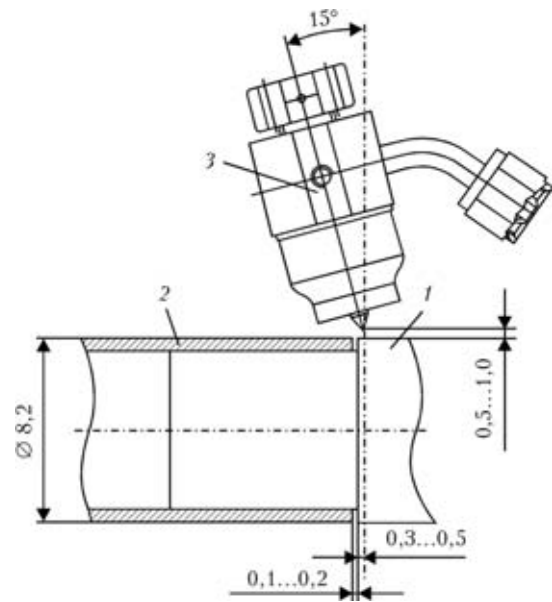


Рис. 2. Схема собранного под сварку стыкозамкового соединения ПЭЛа: 1 — конус (наконечник); 2 — оболочка; 3 — горелка с неплавящимся электродом

Результаты проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона экспериментальных и опытно-технологических работ по отработке технологии сварки GTAW герметизирующих стыкозамковых соединений ПЭЛов подтвердили целесообразность промышленного применения этой технологии при серийном производстве как ПВ для ВКХ СХОЯТ, так и (в перспективе) ПС СУЗ для ТВС реакторов типа ВВЭР.

Для обеспечения возможности осуществления сварки GTAW герметизирующих соединений ПЭЛов и аналогичных им изделий при их промышленном изготовлении в ОП «Атомэнергомаш» ГП НАЭК «Энергоатом» разработан и изготовлен специальный технологический стенд, схема которого приведена на рис. 3.

В состав стенда входят все составные части АДЦ 627 УЗ.1 для орбитальной сварки неповоротных стыков неплавящимся электродом в инертных газах, сварочная камера, агрегат вакуумный золотниковый, направляющий ложемент и газобаллонная стойка.

Камера (рис. 3) с жестко закрепленной внутри ее сварочной головкой обеспечивает:

повторяемость, а при необходимости и корректировку, фиксацию пространственного положения и центровку подготовленных под сварку стыкозамковых соединений ПЭЛов относительно неплавящегося электрода горелки, установленной на планшайбе сварочной головки;

свободный доступ к сварочной головке и ее корректорам пространственного положения горелки с неплавящимся электродом, что облегчает техническое обслуживание головки без извлечения из камеры;



Основные параметры режимов сварки GTAW соединений ПЭЛов

Параметр	Оболочка-конус	Оболочка-наконечник
Марка вольфрамового электрода диаметром 1,6 мм	ЭВИ-1; ЭВИ-2; ЭВИ-3; ЭВТ-15; ЭВЛ-20 по ГОСТ 23949-80 или WT-20; WR-2; WR-2D фирмы «Abicor Binzel»	
Защитный газ	Аргон по ГОСТ 10157-79	Гелий по ТУ 51-940-80
Сварочный ток, А	30,0±1,2	20,0±1,0
Напряжение на дуге, В	9...10	19...20
Длина дуги, мм	0,5...1,0	
Скорость сварки (скорость вращения планшайбы головки сварочной), м/ч (об/мин)	12,0±0,4 (7,98±0,27)	13,0±0,45 (8,63±0,30)
Длительность плавного нарастания сварочного тока, с	1,0±0,1	
Длительность интервала времени прогрева, с	0,75±0,05	
Длительность плавного спада сварочного тока (заварки кратера), с	2,0±0,1	3,0±0,1
Расход защитного газа, л/мин	5,9...7,1	4,9...6,1
Длительность предварительной продувки зоны сварки защитным газом (интервал времени «газ до сварки»), с, не менее	5...10	
Длительность обдува зоны сварки защитным газом на завершающем этапе цикла сварки (интервал времени «газ после сварки»), с, не менее	10...20	

электрическую изоляцию токогазоподвода сварочной горелки и цепей управления ее вращателя относительно корпуса камеры, свариваемого изделия и других нетоковедущих частей входящего в состав стенда оборудования;

выполнение требований по герметичности при вакуумировании внутреннего объема камеры для последующего создания в нем контролируемой среды путем его заполнения гелием с поддержанием избыточного давления на уровне (1,96±0,2) кПа;

возможность наблюдения за ходом процесса сварки через смотровое окно. Внешний вид камеры приведен на рис. 4.

Агрегат (рис. 3) предназначен для осуществления вакуумирования внутреннего объема камеры с разрежением до уровня не менее 1,33 Па.

Ложемент является направляющей опорой для размещения в стенде свариваемого ПЭЛа, предохраняющей его оболочку от деформаций и механических повреждений при выполнении как подготовительно-заключительных операций, так и сварки герметизирующих соединений ПЭЛа.

Опробование в производственных условиях ОП «Атомэнергомаш» ГП НАЭК «Энергоатом» разработанной ИЭС им. Е. О. Патона технологии сварки GTAW герметизирующих соединений ПЭЛов показало, что при использовании стенда (рис. 3) достигается не только стабильно высокое

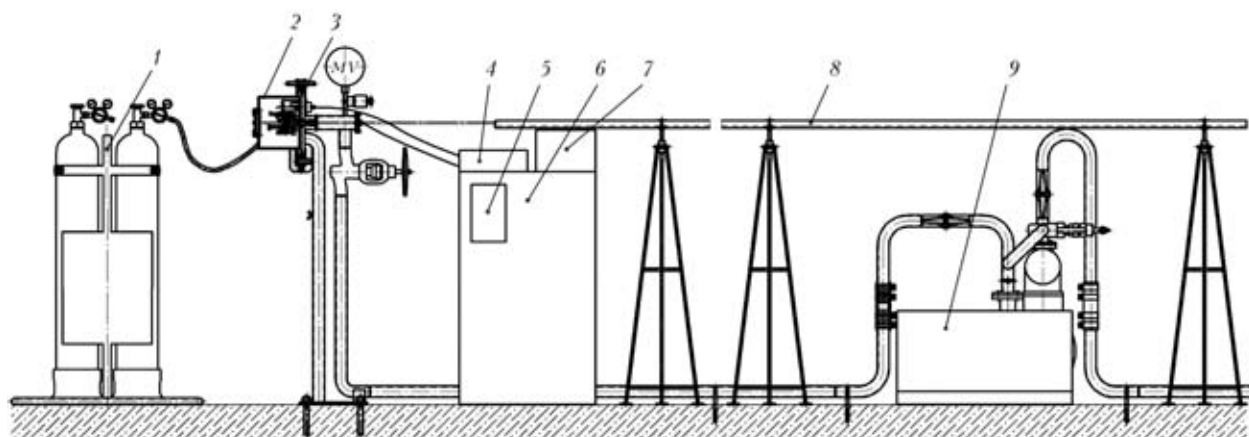


Рис. 3. Схема стенда для сварки GTAW стыкозамковых соединений ПЭЛов: 1 — стойка газобаллонная; 2 — сварочная камера; 3 — головка сварочная АДЦ 627.03.00.000; 4 — коллектор АДЦ 625.07.00.000; 5 — пульт управления выносной ИЦ 616.30.00.000; 6 — источник питания ИЦ 616.У3.1; 7 — блок контроллера ИЦ 616.20.00.000; 8 — ложемент; 9 — агрегат вакуумный золотниковый

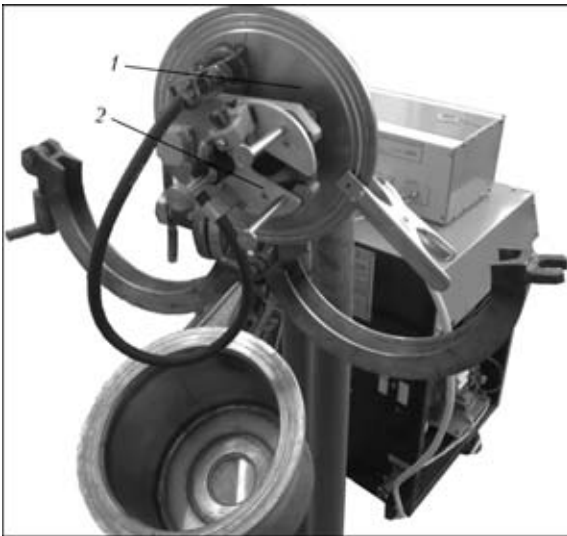


Рис. 4. Внешний вид камеры (1) и сварочной головки АДЦ 627.03.00.000 (2)

качество сварных соединений ПЭЛов, но и несколько снижаются трудоемкость и продолжительность предшествующих процессу сварки наладочных операций (по сравнению с существующей технологией сварки поворотных стыков), а также упрощается подготовка сварщиков и обслуживающего персонала. Результаты опробования послужили весомыми аргументами в пользу организации в ОП «Атомэнергомаш» специализированного участка по промышленному изготовлению ПЭЛов. Технологическое оснащение и производительность этого участка при использовании одного сварочного станда позволяют производить до 1200 ПЭЛов в год. На оборудовании участка изготовлена опытная партия ПЭЛов, образцы которой подвергнуты комплексным испытаниям (в том числе методами разрушающего контроля) в НТК ЯТЦ ННЦ ХФТИ. В результате этих испытаний установлено полное соответствие качества выполненных по технологии сварки GTAW соединений ПЭЛов требованиям нормативной документации. Установлено также, что по глубине провара, структуре металла шва и ЗТВ, размерам аустенитного зерна и механической прочности стыкозамковые соединения ПЭЛов, сваренные по технологии сварки GTAW, идентичны таковым, выполняемым по существующей технологии сварки поворотных стыков.

Application of automatic orbital TIG welding is considered for production of tight butt-clutch joints on absorbing elements, which are the base of the absorbing inserts of the used nuclear fuel storage containers. Results of optimisation of the TIG welding technology and ranges of optimal parameters for making such joints are presented. The industrial unit designed for welding of the clutch joint on the absorbing elements and the results of its run-up operation are described.

Выводы

1. Разработанная технология сварки GTAW нахлесточных соединений разнотолщинных тел вращения малых диаметров с применением орбитальных автоматов типа АДЦ 627 УЗ.1 обеспечивает возможность выполнения высококачественных стыкозамковых соединений ПЭЛов и подобных им изделий.
2. Промышленное применение разработанной технологии сварки GTAW и средств технологического оснащения позволит изготавливать ПВ, ПС СУЗ и аналогичные им изделия в объемах, соответствующих потребностям атомной энергетики.

1. ПН АЭ Г-14-029-91. Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики / Госатомнадзор СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 34 с.
2. НП 306.2.105-2004. Основні положення забезпечення безпеки проміжних сховищ сухого типу. — К.: Держатомрегулювання, 2004. — 36 с.
3. Технічний регламент щодо контейнерів для зберігання та захоронення радіоактивних відходів / Постанова КМ України № 939 від 18.07.2007. — К., 2007. — 14 с.
4. Исследования технологии изготовления и разработка программы освоения производства ПС СУЗ в Украине: Отчет НТК ЯТЦ ННЦ ХФТИ. — Харьков, 1999. — 197 с.
5. Сварочное оборудование: Каталог / Под ред. А. А. Куркумели. — М.: ЦНИИатоминформ, 1985. — 147 с.
6. Ищенко Ю. С. Физико-технологические основы формирования швов в процессе дуговой сварки // Сварка в атомной промышленности и энергетике: Тр. НИКИМТ. — М.: ИздАТ, 2002. — Т.2. — С. 204-240.
7. Букаров В. А. Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // Там же. — М.: ИздАТ, 2002. — Т.1. — С. 149-210.
8. Полосков С. И., Букаров В. А., Ищенко Ю. С. Влияние отклонений параметров режима аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений // Сварка и смежные технологии: Сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. — Москва, сент., 2000. — М.: МЭИ, 2000. — С. 22-25.
9. Унифицированная методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Визуальный и измерительный контроль ПН АЭ Г-7-016-89 / Госатомнадзор СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 4 с.
10. Унифицированная методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Контроль герметичности. Газовые и жидкостные методы ПН АЭ Г-7-019-89 / Госатомнадзор СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 34 с.

Поступила в редакцию 27.07.2011



ДВУХСЛОЙНОЕ БИОКЕРМЕТНОЕ ПОКРЫТИЕ ТИТАН — ГИДРОКСИАПАТИТ

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО, Ю. С. БОРИСОВ**, д-р техн. наук,
С. Г. ВОЙНАРОВИЧ, А. Н. КИСЛИЦА, кандидаты техн. наук,
Е. К. КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложено использование двухслойных биокерметных (титан—гидроксиапатит) покрытий для эндопротезов из сплава титана. Сочетание пористого титана с внешним слоем гидроксиапатита обеспечивает высокую прочность сцепления такого покрытия с поверхностью эндопротезов (24...25 МПа) и последующее активное врастание в него костной ткани. Технология микроплазменного напыления позволяет формировать слой гидроксиапатита с содержанием кристаллической фазы 88...98 %, при этом обеспечивается высокая степень использования этого порошка при напылении (до 90 %), что повышает экономичность процесса.

Ключевые слова: микроплазменное напыление, покрытия медицинского назначения, биосовместимые покрытия, пористый титан, гидроксиапатит, эндопротезирование, тазобедренный сустав

В настоящее время в медицинской практике для эндопротезирования широко используют металлические имплантаты с покрытием из биоактивной керамики, которые характеризуются тройным положительным эффектом: повышенной скоростью формирования костной ткани, возможностью образования связи с костью (остеоинтеграция) и уменьшением образования продуктов коррозии металла. Это позволяет значительно сократить продолжительность вживления эндопротеза, обеспечить надежную связь с костью и увеличить надежность имплантатов. Наиболее часто в качестве биоактивной керамики находят применение керамика на основе фосфата кальция — гидроксиапатит (ГА) либо близкие к нему по составу другие фосфаты кальция [1, 2].

Для нанесения биокерамических покрытий из ГА используют различные методы (магнетронное напыление, электрофоретическое осаждение, золь-гель метод и др.), среди которых находится и плазменное напыление, получившее реальное практическое применение при производстве эндопротезов с покрытием [2–5].

На основании опыта клинического применения эндопротезов с биокерамическими покрытиями выработаны следующие основные требования к качеству таких покрытий: достаточно высокая прочность сцепления с поверхностью эндопротеза (15 МПа и более согласно ISO 13779-2); высокое содержание кристаллической фазы (не менее 70 %); наличие развитой пористости, обеспечивающей врастание костной ткани.

Фазовый состав покрытия (степень кристаллическости) в значительной степени влияет на про-

цесс остеоинтеграции. Аморфная фаза ГА имеет более высокую скорость растворения при протекании этого процесса, что сокращает время выздоровления пациента и в то же время снижает надежность фиксации эндопротеза в кости.

Недостатком обычного плазменного напыления является формирование покрытий, содержащих высокую долю аморфной фазы, что обусловлено условиями как нагрева частиц ГА (в связи с необходимостью использования рабочих газов с повышенной теплопроводностью — смеси $Ar+H_2$, $Ar+He$), так и затвердевания их на поверхности основы [6].

В ИЭС им. Е. О. Патона в течение последних лет разработан метод и оборудование для микроплазменного напыления, позволяющий напылять керамические покрытия с помощью ламинарной струи аргоновой плазмы [7]. Невысокая теплопроводность аргона снижает интенсивность нагрева частиц, уменьшая градиент температуры по их сечению, что при напылении ГА покрытий позволяет избежать перегрева расплава ГА и образования токсичных продуктов его разложения (СаО). Невысокие скорости движения частиц ГА в условиях ламинарной струи приводят к формированию покрытий из частиц с меньшей степенью деформации и соответственно меньшей скоростью закалки на основе, что обеспечивает высокое содержание кристаллической фазы (до 95...98 %).

В связи с этим в ИЭС им. Е. О. Патона проведен комплекс работ по разработке составов и технологии нанесения биокерамических покрытий на эндопротезы с помощью микроплазменного напыления [8–10].

Для повышения прочности сцепления покрытия с поверхностью имплантата с костью разработана технология микроплазменного напыления



Рис. 1. Внешний вид установки для микроплазменного напыления МППН-004

на поверхность имплантата двухслойного биокерметного покрытия (Ti+ГА). При этом использована возможность нанесения методом микроплазменного напыления покрытия из титана с регулируемой пористостью с применением варианта проволочного напыления.

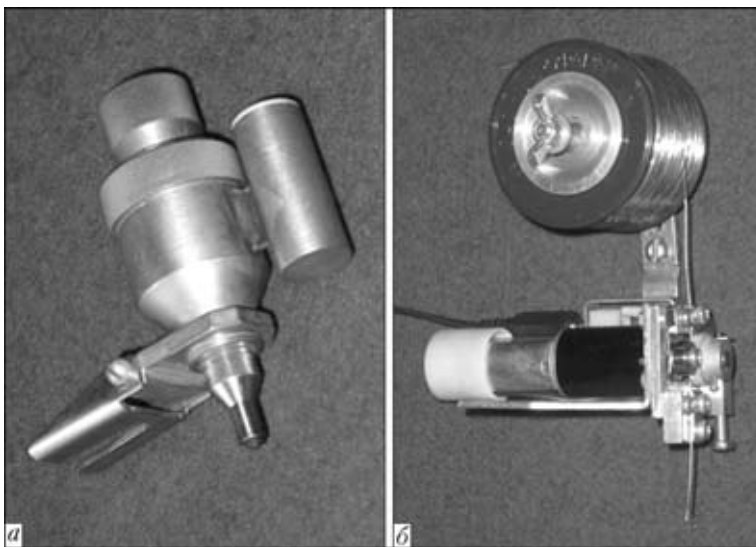


Рис. 2. Внешний вид порошкового дозатора МПД-004 (а) и устройства для подачи проволоки МППН-04 (б)

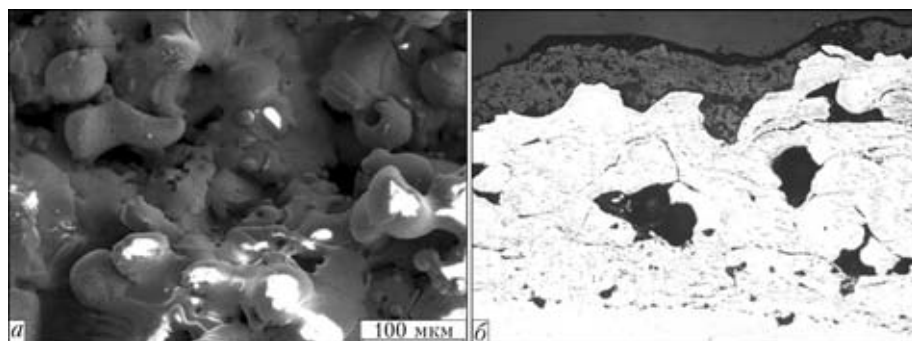


Рис. 3. Внешний вид поверхности (а) и микроструктура ($\times 140$, б) биокерметного покрытия

Для напыления двухслойного биокерметного покрытия применяют установку для микроплазменного напыления МППН-004 (рис. 1), которая включает источник питания с блоком охлаждения, блок управления, плазматрон, а также взаимозаменяемые механизм для подачи проволоки и порошок дозатор МПД-004 (рис. 2).

В качестве напыляемых материалов для нанесения двухслойного биокерметного покрытия применяют титановую проволоку диаметром 0,3 мм марки ВТ-1-00 для нанесения титанового покрытия с развитой пористостью, а для биоактивного верхнего слоя используют порошок ГА, фазовый состав которого представляет собой полностью кристаллический $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ с соотношением Са/Р-1,67, производимый ЦНТУ «РАПИД».

Внешний вид поверхности и структура биокерметного покрытия представлены на рис. 3.

Размер затрат на процесс нанесения ГА-покрытия зависит от расхода напыляемого порошка ГА, при этом следует учитывать его высокую стоимость. Проведенные экспериментальные исследования коэффициента использования материала (КИМ) ГА при напылении двухслойного биокерметного покрытия показали, что в случае микроплазменного напыления он в 1,5...2 раза выше, чем при традиционном плазменном напылении.

Так, по литературным данным при плазменном напылении ГА максимальные значения КИМ при напылении на пластину составляют 50...62 %, тогда как при микроплазменном напылении максимальное значение КИМ достигает 90 % [10]. В условиях микроплазменного напыления пятно напыления имеет форму эллипса с соотношением осей 1,1...1,3 и размер 8...15 мм (вместо 30...40 мм при обычном плазменном напылении) в зависимости от параметров процесса напыления. Проведенные расчеты потерь порошка ГА показали, что суммарные потери материала (на отскок, разбрызгивание и потери из-за геометрического фактора) при микроплазменном напылении на имплантаты размером 8...10 мм (стоматологические,



Рис. 4. Примеры изделий с биокерметным покрытием, полученным микроплазменным напылением: *а* — эндопротезы тазобедренного сустава; *б* — металлокерамический имплантат для межтелового спондилодеза; *в* — стоматологический имплантат

межпозвоночные кейджи) составляют 20...40 %, тогда как при традиционном плазменном напылении они достигают 85...90 %.

В результате проведенных исследований установлена количественная зависимость фазового состава покрытия из ГА от таких параметров микроплазменного напыления, как сила тока, расход плазмообразующего газа, дистанция напыления и расход порошка. Так, наиболее существенное влияние на количество фазы кристаллического ГА в покрытии и количество аморфной фазы оказывает дистанция напыления. Количество трикальций-фосфата (β -ТКФ) в покрытии существенно зависит от расхода плазмообразующего газа и дистанции напыления. Таким образом, изменяя параметры микроплазменного напыления (силу тока, расход плазмообразующего газа, дистанцию напыления, расход порошка), можно управлять фазовым составом покрытий из ГА в пределах содержания кристаллической фазы ГА 88...98 %, степенью аморфности от 0 до 7 %, содержанием трикальцийфосфата (степени разложения ГА) от 0 до 6 % и формированием за счет этого ГА покрытия с заданным фазовым составом.

Прочностные свойства двухслойных биокерметных покрытий должны обеспечивать их сохранность и надежное функционирование в организме в течение длительного времени. Согласно стандарту ISO 13779-2 достаточная прочность сцепления покрытия с основой должна быть не менее 15 МПа. При напылении двухслойных биокерметных покрытий с использованием покрытия из титана с развитой пористостью (размер пор 100...150 мкм) обеспечивается прочность сцепления $24,2 \pm 0,85$ МПа.

Токсико-гигиеническая оценка биокерметных покрытий была проведена Институтом химии высокомолекулярных соединений НАН Украины*. Образцы покрытий согласно норме ISO 10993-2 имплантировали белым крысам. Гистологические исследования тканей вокруг имплантированных покрытий показали, что биокерметные покрытия

из ГА и титана (Ti+ГА) являются нетоксичными, биосовместимыми с живыми тканями, не имеют раздражающего и сенсибилизирующего действия.

В результате проведенных биомедицинских исследований получено заключение о безопасности и биосовместимости эндопротезов с микроплазменным биокерметным покрытием (Ti+ГА). На основе результатов исследований выработаны рекомендации по нанесению биокерметных покрытий методом микроплазменного напыления.

Разработанную технологию микроплазменного напыления применяли для нанесения покрытий на эндопротезы тазобедренного сустава, имплантаты для межтелового спондилодеза [11] и стоматологические имплантаты (рис. 4).

Выводы

1. Микроплазменное напыление биокерамического покрытия из ГА отличается возможностью получения слоев с высокой степенью кристаллическости (88...98 %), которая может управляться путем изменения режима напыления. Малый размер пятна напыления (3...8 мм) обеспечивает существенное снижение (в 2...3 раза) затрат порошка при напылении на имплантаты малых размеров по сравнению с обычным плазменным напылением.

2. Биокерметное двухслойное покрытие (пористый титан+ГА) обеспечивает прочность сцепления с эндопротезом 24...25 МПа и интенсификацию врастания кости в поверхность покрытия.

3. Токсико-гигиеническая экспертиза биокерметных микроплазменных покрытий установила их нетоксичность и биосовместимость с живыми тканями.

4. Биокерметное покрытие (Ti+ГА) и технологию его микроплазменного напыления использовали для нанесения на эндопротезы тазобедренного сустава, стоматологические имплантаты, межпозвоночные кейджи и т. п.

1. *Каназав Т.* Неорганические фосфатные материалы. — Киев: Наук. думка, 1998. — 297 с.
2. *Шпак А. П., Карбовский В. Л., Грачевский В. В.* Апатиты. — Киев: Академперіодика, 2002. — 414 с.

3. *Калита В. И.* Физика и химия формирования биоинертных и биоактивных поверхностей на имплантатах (Обзор) // Физ. и химия обработки материалов. — 2000. — № 5. — С. 28–45.
4. <http://www.biomet.co.uk>.
5. <http://www.stryker.com>.
6. *The influences of plasma spraying parameters on the characteristics of hydroxyapatite coatings: a quantitative study / C. Y. Yang, B. C. Wang, E. Chang, B. C. Wu // J. of Materials Sci.: Materials in Medicine.* — 1995. — № 6. — P. 249–257.
7. *Пат. 2002076032, В 23 К 10/00 Украина.* Плазмотрон для напыления покрытий / Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, О. О. Фомакин, К. А. Ющенко. — Заявл. 19.07.2002; Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.
8. *Микроплазменное напыление биокерамических покрытий / Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, В. Г. Бобрик и др. // Автомат. сварка.* — 2000. — № 12. — С. 63–67.
9. *Исследование биокерамических покрытий, полученных методом микроплазменного напыления / Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, Н. В. Ульянич и др. // Там же.* — 2002. — № 9. — С. 6–8.
10. *Войнарович С. Г.* Влияние параметров микроплазменного напыления на коэффициент использования материала при напылении биокерамического покрытия // 36. науч. пр. Нац. ун-ту кораблестроения. — 2010. — 433, № 4. — С. 58–61.
11. *Пат. 200112870, В 23 К 10/00 Украина.* Металлокерамический имплантат для межтелового спондилодезу / О. М. Брехов, С. Л. Єлісєєв, Н. В. Ульянич та ін. — Заявл. 03.12.2001; Опубл. 15.03.2002; Бюл. № 3/2002.

The use of two-layer bio-cermet (titanium-hydroxyapatite) coatings for Ti-alloy endoprostheses is suggested. Combination of a porous Ti-coating with an external hydroxyapatite (HA) layer provides a high strength of adhesion of such coating to the surface of endoprostheses (24...25 MPa) and subsequent active growth of bone tissue into it. The microplasma spraying technology allows formation of HA layer with 88...98 % content of the crystalline phase, thus providing a high degree of utilisation of the HA powder in spraying (up to 90 %) and rise in cost efficiency of the process.

Поступила в редакцию 17.07.2011

Камерный электрошлаковый переплав
эффективный способ выплавки, рафинирования и
легирования металлов и сплавов



В Донецком национальном техническом университете создано оборудование и новая технология выплавки, рафинирования и легирования титана и его сплавов.



ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕМАТИКА НИР В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ СОЕДИНЕНИЯ, ПРОВОДИМЫХ БРИТАНСКИМ ИНСТИТУТОМ СВАРКИ И ОБЪЕДИНЕНИЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ DVS (Обзор)

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

Приведены данные об организации и тематике исследований в области технологий соединения, проводимых Британским институтом сварки и Объединением исследователей Немецкого общества сварщиков.

Ключевые слова: технологии соединения, тематика НИР, Британский институт сварки, Объединение исследователей DVS

В условиях глобализации мирового экономического развития практика «открытости» тематики исследований приобретает общепринятый характер. Ведущие сварочные институты, центры и сварочные общества многих стран мира публикуют в национальных изданиях, а также на страницах своих web-сайтов тематику планируемых и проводимых научных проектов и программ фундаментальных и прикладных исследований, приглашая к сотрудничеству и взаимному обмену научной информацией.

Британский институт сварки и Объединение исследователей DVS — ведущие европейские и мировые научные центры в области технологий соединения. Тематика работ, проводимых в этих научных центрах, ориентирована на решение конкретных, актуальных задач промышленности: разработку новых технологий соединения, изучение свариваемости новых конструкционных материалов, сокращение производственных затрат в сварочном производстве, улучшение качества и безопасности сварочных работ, повышение надежности сварных конструкций, получение научно-экспериментальных обоснований к нормам и стандартам и др. В программах исследований TWI и DVS предусмотрен высокий уровень завершенности разработок, резко сокращающий время на трансфер технологии.

Британский институт сварки (TWI) в последние годы заметно наращивает свой научно-технический потенциал. За период 2005–2010 гг. в 1,3 раза увеличилась численность института с 500 до 640 человек. Общий доход от различных сфер деятельности в 2010 г. превысил 53 млн фунт. стерл.

Основу фундаментальных и прикладных научных исследований в области сварки и родственных технологий TWI составляют работы по тематическому плану Программы основных исследований (CRP). Бюджет программы CPR на 2010–2012 гг. составил около 3,3 млн фунт. стерл., а доход TWI в 2010 г. от результатов выполненных НИОКР — порядка 10 млн фунт. стерл.

TWI выполняет значительный объем работ по подготовке, переподготовке и аттестации сварочного персонала, инженерных и научных кадров — общий фонд финансирования этой сферы деятельности превышает 14 млн фунт. стерл. в год.

Основным источником финансирования научно-производственной деятельности TWI являются членские взносы предприятий и физических лиц как Великобритании, так и других стран мира. В последние годы заметно увеличивается численность членов TWI. Так, в 2010 г. коллективными членами стали 110 компаний, что позволило дополнительно получить около 1 млн фунт. стерл., а общий доход от членских взносов составил около 7 млн фунт. стерл. В 2010 г. количество организаций и предприятий — коллективных членов TWI достигло 660.

Промышленные предприятия и фирмы (члены TWI) оказывают финансовую поддержку при выполнении конкретных тем и влияют на направленность выполняемых исследований или разработок. Представители отраслей промышленности, как правило, рассчитывают на получение максимальной выгоды от результатов Программы CRP для обеспечения конкурентоспособности своей продукции на мировом рынке. Заключительные отчеты результатов НИР, выполненных в рамках Программы CRP, предоставляются исключительно промышленным членам TWI, которые также могут получать дополнительную информацию по проектам CRP, в том числе в процессе их выполнения.



Организация проведения исследований в TWI осуществляется по целевым проектам: для выполнения работ по тому или иному научному направлению на время проведения проекта НИР создается научная лаборатория или отдел, который прекращает свое существование после окончания работ по данному направлению.

Программа CRP TWI на 2009–2012 гг. включает 57 проектов НИР, которые сгруппированы по пяти тематическим направлениям (прочность сварных конструкций; металлы и свариваемость; лазерная, дуговая и контактная сварка, обработка поверхности; электронно-лучевые технологии и технологии сварки трением; пластмассы, клеи, керамика и электроника). Каждый исследовательский проект четко ориентирован на один или несколько конкретных секторов промышленного производства (аэрокосмический; автомобилестроение; сварные конструкции и проектирование; военная промышленность; нефте-, газо-, химическая промышленность; энергетика; железнодорожный транспорт; датчики контроля и медицина; судостроение), где предполагается реализация полученных результатов НИР или который является заказчиком данной темы.

По направлению «Прочность сварных конструкций» было выполнено/выполняется 17 проектов, тематику которых можно разбить на две основные группы: математическое моделирование и визуализация физико-химических и механических процессов (6) и методы контроля качества сварных соединений (11 проектов). Математическое моделирование и визуализация при исследованиях сварочных процессов находят все более широкое распространение, заменяя проведение многочисленных дорогостоящих экспериментов. В проекте «Разработка прогрессивных методов оценки сварных кольцевых швов трубопроводов» предполагается разработать и обосновать модели точного прогнозирования остаточных напряжений в сварных кольцевых швах трубопроводов. Проект включает исследование изменения свойств металла кольцевого шва в напряженно-деформированном состоянии с использованием диаграмм напряженного состояния (a strain-based failure assessment diagram), разработку и обоснование модели достоверного прогнозирования остаточных напряжений в сварных кольцевых швах трубопроводов, создание методики определения влияния остаточных напряжений на образование трещин для оценки сопротивления разрушению кольцевого шва. Целью проекта «Прогрессивные методы моделирования» является разработка модели направленного осаждения металла (Direct Metal Laser Deposition) с использованием лазерных технологий, что позволит определить зависимости между параметрами процесса, свойствами материала и результирующим качеством.

Большая группа проектов посвящена разработке методов неразрушающего контроля, сварных металлоконструкций, которые, в частности, касаются оценки коррозионных повреждений сталей в кислых средах, разработки ультразвуковых методов контроля фазированными решетками, обнаружения малых усталостных трещин. Интересным представляется использование для контроля и оценки пористости и волнистости волокна углепластика компьютерной рентгеномографии.

Тематика исследований по направлению «Металлы и свариваемость» включает 15 проектов, направленных на исследование свариваемости конструкционных, жаропрочных, нержавеющих сталей, никелевых сплавов и разнородных материалов с применением различных технологий сварки, включая электронно-лучевую, дуговую, сварку вольфрамовым электродом в инертном газе (ТИГ). В частности, ведутся исследования по следующим проектам НИР:

«Улучшение технологии сварки разнородных материалов» — тематика актуальная в атомной энергетике;

«Оценка свариваемости ультрасверхкритических материалов для силовых установок/электростанций» — для разработки новых конструкционных материалов, предназначенных для изготовления турбогенераторов ТЭС с суперсверхкритическими параметрами пара;

«Ремонт сварных конструкций из жаропрочных сталей с 9 % Cr без термообработки» — применительно к ремонту турбо- и котлоагрегатов в условиях ТЭС и АЭС.

Тематика исследований по направлению «Лазерная, дуговая сварка, сварка сопротивлением и инженерия поверхности» включает 12 проектов. В ней представлены работы, тематика которых направлена на разработку новых технологий сварки — дуговой МИГ/МАГ, лазерной, гибридной (лазерно-дуговая) для сварки изделий из углеродистой стали, коррозионностойких сплавов, разнородных материалов (сталь и медь, сталь и алюминий), жаропрочных сталей, сплавов никеля, титана, алюминия.

Проекты «Сварка и резка с применением нового поколения сверхмощных волоконных лазеров», «Одно- и многопроходная лазерная гибридная сварка с адаптивным управлением» непосредственно связаны с изучением особенностей взаимодействия лазерного и дугового источников нагрева при гибридном процессе; выбором альтернативных сочетаний лазера с дуговыми или плазменными источниками нагрева, обеспечивающих высокую производительность сварки и качество соединения; исследованием и разработкой технологии лазерно-дуговой гибридной сварки тонких листов алюминиевых сплавов и комбинации разнородных материалов.



Такие исследовательские темы, как «Высокопроизводительная лазерная послойная наплавка металла» и «Лазерное напыление и плакирование» отражают направление исследования TWI в области создания и разработки процессов наплавки и нанесения специальных и защитных покрытий, а также разработки расходных материалов улучшенного качества со специальными физико-механическими и трибологическими свойствами, предназначенных для нанесения покрытий.

Тематика исследований по направлению «Технологии сварки электронным лучом и сварка трением» включает семь проектов. В программе представлены проекты, связанные с разработкой новых технологий электронно-лучевой сварки и сварки трением с перемешиванием ферритных и аустенитных сталей, высокопрочных алюминиевых сплавов.

В TWI, несмотря на то, что STIR-процесс был создан и реализован еще в 1990-х годах, в том числе путем продажи лицензий на технологию и оборудование, объем серьезных поисковых исследований в области создания новых разновидностей STIR-техники и рабочего инструмента не сокращается. Так, по плану TWI разработана и уже широко внедряется технология микросварки трением с перемешиванием (μ FSW) применительно к выполнению протяженных и точечных швов на алюминиевых сплавах толщиной от 0,2...0,3 до 1,5...2,0 мм.

Аддитивные технологии находят все большее применение в промышленном производстве, в частности, заменяя технологии литья в черной металлургии. В проекте «Аддитивные технологии применительно к сварке трением» предполагается исследовать возможность применения этой технологии для процесса сварки трением, в частности, создания рабочего инструмента.

Тематика исследований по направлениям «Пластмассы, клеи, керамика и электроника» включает девять проектов. В программе представлены проекты, направленные на исследование и разработку технологии сварки (лазерную сварку, стыковую сварку плавлением) и нанесения покрытий на изделия из пластмасс и композитов, в частности:

«Исследование полимерных материалов, усиленных углеродными нанотрубками, предназначенных для работы в экстремальных условиях окружающей среды»;

«Улучшение качества сварки армированных волоками термопластов»;

«Технологии соединения в медицине» [1].

Немецкое сварочное общество (DVS) — федеральное общество (союз), осуществляющее управление и координацию научно-технической, производственной и образовательной деятельности различных учреждений Германии, занимаю-

щихся проблемами сварки и родственных технологий. DVS входит в состав Ассоциации промышленных исследовательских объединений им. Отто фон Герике (AiF) и включает 14 земельных и 94 окружных отделения, 9 сварочных учебно-экспериментальных центра (институты SLV) и более 12 учебно-сварочных центров (SL).

Количество членов DVS (коллективных и индивидуальных) в 2010 г. составило 18 456, включая 597 коллективных членов.

В соответствии с основными функциями DVS в его составе сформированы:

Объединение (Сообщество) исследователей DVS;

DVS — издательство;

DVS-ZERT — сертификационный центр;

AiF — комиссия по профобучению и независимый орган DVS- PersZert ;

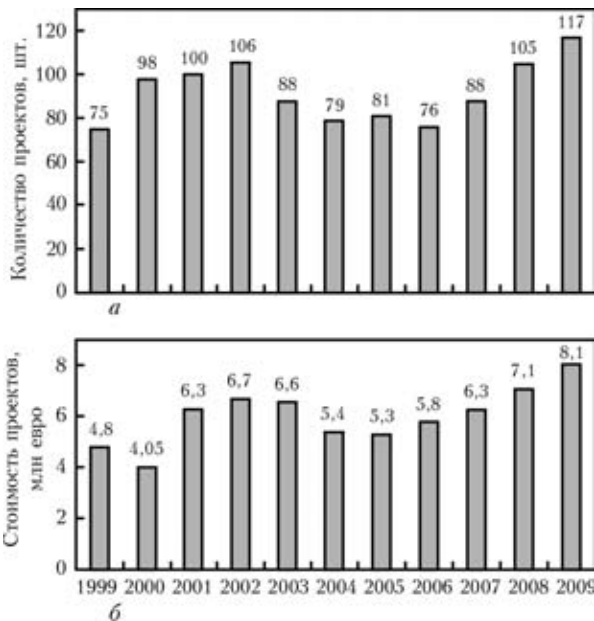
TK — технический комитет по стандартизации;

Национальная делегация в МИС и ЕСФ.

С целью активизации инженерных исследований и повышения эффективности профессионального обучения с 1999 г. в составе DVS функционирует Общество институтов сварочной техники (GSI) DVS, которое объединяет сварочные учебно-экспериментальные центры (институты): SLV Дуйсбург, SLV Берлин-Бранденбург, SLV Галле, SLV Мюнхен, SLV Фелбах, SLV Ганновер, SLV Саабрюккен, SLV Билефельд.

Объединение исследователей DVS (Forschungsvereinigung Schweissen und Verwandte Verfahren E.V.) формирует программу тематики исследований DVS, отвечающую интересам промышленности и общей стратегии развития научных направлений; осуществляет ежегодное распределение ассигнований на их выполнение, координирует комплексные разработки. Отбор проектов НИР для включения в план НИР Объединения исследователей DVS осуществляется в рамках 15 экспертных комиссий (комитетов): FA1 — металлургия и металловедение; FA2 — термическое напыление и автогенная техника; FA3 — дуговая сварка; FA4 — сварка сопротивлением; FA5 — специальные способы сварки; FA6 — лучевые процессы; FA7 — пайка; FA8 — склеивание; FA9 — конструирование и расчет; FA10 — техника микросоединений; FA11 — соединение пластмасс; FA12 — моделирование процессов сварки; FA Q6 — техника безопасности и охрана окружающей среды; FA V4 — подводная сварка; FA13 — способы изготовления — технология производства.

В 2010 г. Объединение исследователей DVS выполняло НИР по 160 проектам, с общим объемом финансирования 11,5 млн евро. Большая часть проектов НИР финансируется AiF. В 2010 г. AiF про-



Количество (а) и общая стоимость (б) выполненных проектов НИР

финансировал 124 исследовательских проекта DVS на сумму 8,8 млн евро.

На рисунке приведены данные о количестве проектов НИР, выполненных Объединением исследователей DVS в рамках финансирования AiF, в период с 1999 по 2009 гг. и их стоимость.

В 2009 г. тематика исследований DVS была распределена следующим образом: 86 % — исследования в области технологий соединения и по 7 % — исследования в области технологии нанесения покрытий и в области технологии резки.

Тематика исследований DVS в области технологий соединения в разные годы приведена в табл. 1.

В структуре тематики исследований DVS основную долю составляют исследования в области сварочных технологий, хотя их доля в период с 2002 по 2009 гг. сократилась на 10 %. За этот же период практически в 3 раза возросла доля исследований по технологиям соединения пайкой. Немецкие ученые значительное внимание уделяют технологиям соединения склеиванием, которая относится к числу наиболее востребованных на рынке техники соединения. Прогнозируется, что наряду с технологией лазерной сварки склеивание будет иметь наибольший прирост. Например, в 2007 г. в странах ЕС в структуре производства сварочной техники и предоставления услуг более

Таблица 1. Тематика исследований DVS в области технологий соединения, %

Вид соединения	2002	2007	2009
Сварка	73	62	64
Микросоединения	11	14	12
Склеивание	11	16	8
Пайка	5	8	16

Таблица 2. Распределение направлений исследований в области технологий сварки, %

Технология соединения	2002	2007	2009
Дуговая сварка в среде защитного газа	45	37	38
Сварка сопротивлением	18	12	13
Электронно-лучевая	7	5	5
Гибридная	8	13	13
Лазерная	17	22	19
Прочие	5	11	12

30 % объема производства составлял клей и оборудование для склеивания (около 6500 млн евро).

Тематика исследований DVS в области технологий сварки в разные годы приведена в табл. 2. Как видно из таблицы, дуговая сварка плавлением сохраняет позиции базовой сварочной технологии. Доля тематики исследований в этой области высока и составляет порядка 40 %. В структуре исследований DVS растет доля лазерных и гибридных технологий.

Основным материалом для сварных конструкций остается сталь (табл. 3). После роста объема исследований в области технологий сварки алюминия в 2002, 2007 гг. в 2009 г. отмечено сокращение работ по этому направлению. В связи с увеличением применения во многих отраслях промышленности (транспорте, авиапромышленности и др.) новых материалов — керамики, композитов, а также возрастанием потребности соединения разнородных материалов объем исследований по этим направлениям повышается.

Количественно тематика исследований DVS по основным направлениям НИР была распределена следующим образом: технологии соединения соответственно в 2007 г. — 42, в 2009 г. — 38 %; материалы — 27 и 17 %; расчет, конструирование, моделирование — 13 и 28 %; автоматизация — 10 и 7 %; техника безопасности — 8 и 10 %.

Разработка новых технологий соединения занимает в тематике исследований DVS основную долю — около 40 %. Однако все большее внимание уделяется исследованиям по визуализации сварочных процессов, включающих расчеты, кон-

Таблица 3. Структура исследований в области соединения свариваемых материалов, %

Материал	2002	2007	2009
Сталь	40	28	34
Алюминий	28	36	21
Пластмассы	6	7	14
Стекло/ керамика	5	5	7
Разнородные материалы	14	16	10
Магний	5	5	—
Прочие	2	2	14



Таблица 4. Проекты НИР по отдельным тематическим направлениям

Тематическое направление	Название проекта
Металлургия и материаловедение	Системы легирования порошковых проволок для сварки в защитном газе деформируемых алюминиевых сплавов и сплавов, полученных литьем под давлением. Улучшение свариваемости алюминия путем измельчения зерна. Исследование предупреждения горячих трещин в аустенитных Cr–Ni-сталях и сплавах на основе никеля с помощью оптимизации температурного поля
Термическое напыление и автогенная техника	Разработка экспресс-методов неразрушающего контроля для измерения механических характеристик и пористости покрытий, нанесенных методом термического напыления. Термографические методы неразрушающего контроля для оценки термических покрытий. Улучшение качества покрытий, нанесенных дуговым способом путем применения модифицированной автогенной техники и высокоскоростных газовых потоков
Дуговая сварка	Повышение стабильности процесса сварки в защитном газе с использованием модифицированного потока защитного газа. Разработка системы управления сварочной горелкой для автоматической сварки в защитном газе сплавов стали и алюминия. Определение КПД современных способов сварки в защитном газе
Специальные способы сварки	Исследование сварки трением с перемешиванием стали и алюминия. Разработка концепции оценки пригодности установок для сварки трением с перемешиванием, а также определение параметров сварки. Разработка процесса он-лайн контроля для сварки трением с перемешиванием на базе интегрированных в инструмент сенсоров
Лучевые способы сварки	Применение многолучевой техники для снижения внутренних напряжений в деталях, сваренных электронно-лучевым и лазерным способами. Гибридная лазерно-дуговая сварка толстостенных прецизионных труб. Гибридная лазерно-дуговая сварка с использованием низкоэнергетических дуговых способов
Конструирование и расчет	Экспериментальные исследования и численное моделирование процесса деформации подвергавшихся удару алюминиевых сварных соединений. Расчет микромагнитных характеристик внутренних напряжений в свариваемых сталях
Соединение пластмасс	Сварка пластмасс с нагревом инфракрасным излучением. Лазерная сварка оптически прозрачных пластмасс без применения абсорбера. Автоматическая оптимизация и обеспечение качества на базе новой концепции машин для сварки нагревательным элементом
Моделирование процессов сварки	Быстрое, автоматическое воспроизведение температурного поля для моделирования сварочных деформаций. Цифровая диагностика холодных трещин деталей из высокопрочных сталей, сваренных лазером. Использование моделирования сварки для расчета несущей способности легких стальных конструкций сложной конфигурации

струирование и компьютерное моделирование. Увеличивается объем исследований, связанных с техникой безопасности и охраной окружающей среды (табл. 4).

В заключение следует отметить, что ознакомление с тематикой НИР, проводимых ведущими сварочными институтами мира, ее анализ позволяет определить научные приоритеты в исследованиях, выявить проблемы, над которыми работают ученые по заказам промышленности, пер-

сонифицировать тематику исследований, найти возможных партнеров и многое другое. Открытость тематики исследований дает возможность осуществлять международную координацию в разработке актуальных научных направлений [2].

1. Core research programme 2010–2012: Project summaries / TWI world centre for materials joining technology // www.twi.co.uk.
2. *Geschäftsbericht* 2010. Innovationen für die Wirtschaft. Forschung in der Fugetechnik // DVS. — www.dvs-ev.de.

The paper gives information on organization and topics of investigations in the field of joining technologies conducted by TWI and DVS.

Поступила в редакцию 05.10.2011



ВТОРОЙ УКРАИНСКО-ГРЕЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ ПО МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

В рамках Соглашения о сотрудничестве между Национальной академией наук Украины и Европейским обществом по целостности конструкций (ESIS) с 3 по 7 октября 2011 г. во Львове состоялся Второй украинско-греческий симпозиум по механике разрушения материалов и конструкций. Организаторами симпозиума выступили Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины (ФМИ НАНУ), Национальный университет «Львовская политехника», Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ИЭС НАНУ), Украинское общество по механике разрушения материалов. С греческой стороны соорганизатором выступили Университет Демокрита (Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece) и Национальный технический университет в Афинах (National Technical University of Athens). Заметим, что Первый греческо-украинский симпозиум состоялся в октябре 2010 г. в Ксанти (Греция).

На церемонии открытия второго симпозиума выступили академик НАН Украины В. Панасюк, глава греческой делегации проф. Э. Гдоутос (E. Gdoutos) и проректор НУ «Львовская политехника» проф. Д. Федасюк.

В своем выступлении В. Панасюк отметил, что создание материалов и конструкций с высокими физико-механическими характеристиками, в частности, с высокой прочностью и стойкостью противостоять действию различных эксплуатационных факторов (физически активной, коррозионно-агрессивной, наводораживающей сред), высоких или низких температур, а также разных параметров нагрузки (статической, циклической или динамической) — одно из приоритетных направлений материаловедения. Ведь с развитием общества постоянно возникают новые требования к обеспечению надежности и долговечности эксплуатации разных машин, сооружений и объектов. Соответственно перед наукой о прочности материалов и сварных конструкций возникают новые более сложные задачи относительно учета экстремальных условий их эксплуатации. Это касается и явлений деградации физико-механических свойств материалов во время их продолжительной эксплуатации и возникновения в них дефектов типа трещин.

Во второй половине XX столетия на стыке классической механики деформации твердого тела, физики твердого тела и химии поверхностных явлений сформировалась новая область науки о прочности и разрушении материалов — механика раз-

рушения и прочности (целостности) материалов или сокращенно «механика разрушения». Главные ее задачи направлены на решение проблем деформации, разрушения и обеспечение целостности конструкций (в том числе сварных) во время их эксплуатации.

Научный и практический интерес к этой области науки постоянно растет. Проходят международные всемирные (ICF), европейские (ECF), национальные (например, в 2009 г. в Украине состоялась уже Четвертая международная конференция «Механика разрушения материалов и прочность конструкций», в которой принял участие Президент ESIS проф. Э. Гдоутос), а также региональные конференции, симпозиумы и совещания по актуальным вопросам механики разрушения материалов и целостности конструкций. Такие конференции создают хорошую возможность для обмена информацией о новейших результатах фундаментального и прикладного значения, позволяют определить тенденции развития исследований и сделать выводы о главных направлениях исследований на мировом уровне.

На симпозиуме рассматривались актуальные вопросы фундаментальных и прикладных исследований по механике разрушения материалов и целостности конструкций, в частности, теория и исследовательские приемы оценки локальных деформаций возле вершины острого концентратора-трещины, методы оценки предельного равновесия (прочности) тел с трещинами при условии сложной нагрузки. Значительное внимание уделено проблеме взаимодействия водорода с деформированным металлом применительно, например, к оценке долговечности трубопроводов для транспортировки во-



Участники симпозиума

дорода и его смесей, неразрушающие методы контроля дефектности материалов, использование водорода как технологической среды для формирования анизотропных наноструктур некоторых ферромагнитных материалов с целью повышения их функциональных свойств, а также вопрос конструкционной прочности ответственных сварных соединений.

Глава делегации греческих научных сотрудников проф. Э. Гдоутос дополнил перечень задач механики разрушения, актуальных для Греции. Среди них оценка колебания статуй (незакрепленных на вершине колонн) вследствие колебания грунта, контроль структурного состояния композитных материалов с использованием акустической эмиссии, оценка и прогнозирование деформаций трубопроводов вследствие смещения грунтов, усовершенствование свойств бетонов армированием их наночастицами и др.

В симпозиуме приняли участие не только украинские и греческие специалисты, но и делегация ученых из Франции во главе с руководителем научной школы по механике материалов и прочности конструкций Paul Verlaine University (г. Метц) проф. Г. Плювинажем, а также экс-руководитель 10-го Технического комитета ESIS «Environmentally assisted cracking» доктор В. Дитзель (Германия) и настоящий его руководитель проф. Е. Торибио (Испания).

Всего на конференции было представлено 30 докладов, из которых 15 докладов украинских ученых (восемь ФМИ НАНУ, пять ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ и два НУ «Львовская политехника»).

Симпозиум был структурирован по четырем тематическим сессиям: 1) общие проблемы механики разрушения и прочности материалов и современные методы контроля дефектности конструкций; 2) методы мониторинга деформаций и повреждений в материалах (типа острых концентраторов напряжений) — трещин в конструкционных элементах; 3) влияние, в частности, наводораживающих сред на прочность материалов; 4) поведение материалов в экстремальных условиях их эксплуатации.

Участники от Украины представили свои доклады в трех из четырех сессий:

Panasyuk V. V., Dmytrakh I. M. Hydrogen effect on fatigue crack growth in structural steels and fracture risk assessment of defected pipelines (ФМИ НАН Украины, г. Львов);

Bobalo Yu. Ya., Kindracky B. I. Lviv polytechnic scientists contribution to solving problems of diagnostics and increase of residual life of long-term service structures (НУ «Львовская политехника», г. Львов);

Nazarchuk Z. T., Skalsky V. R., Rudavsky D. V. Specificities of barkhausen jumps variation under action of electrolytic hydrogenation (ФМИ НАН Украины, г. Львов);

Muravsky L. I., Ivanyts'kyi Ya. L. Study of structural material surface deformations by speckle metrology techniques (ФМИ НАН Украины, г. Львов);

Kindratsky B. I., Stasiuk B. M. Three-dimensional elastic problem for a limited bodies with crack (НУ «Львовская политехника», г. Львов);

Muravsky L. I., Ostash O. P., Kmet' A. B., Voronyak T. I., Andreiko I. M. Two-frame phase-shifting interferometry with a blind phase shift for determination of the fatigue process zone size (ФМИ НАН Украины, г. Львов);

Nykyforchyn H., Student O. Effect of hydrogen degradation on mechanical behaviour of refinery steels (ФМИ НАН Украины, г. Львов);

Pokhmurskii V. I., Vasylyv Ch. B., Vynar V. A., Holovchuk M. Ya., Ratska N. B. Influence of electrolytic hydrogenation on tribological behaviour of armco-iron and niobium as model materials with BCC lattice (ФМИ НАН Украины, г. Львов).

С греческой стороны были представлены доклады научных школ Национального технического университета в Афинах, Университета Демокрита в Трассе и Университета из Ионии. Все они касались разработки новых материалов для реставрации и прогнозирования надежности элементов архитектурных памятников Греции, применению метода акустической эмиссии для мониторинга структуры композиционных материалов, поиску путей учета смещения грунтов во время оценки работоспособности трубопроводов, свойствам композитов для высокотемпературного применения на основе алюминия, армированного частицами карбида кремния.

Представители французской школы механики разрушения представили четыре доклада, а Германии и Испании — по одному.

Представители ИЭС им. Е. О. Патона представили доклады на темы «Результаты исследований коэрцитивной силы в зависимости от структурных изменений металла кислородных баллонов при долгосрочном их использовании» (Л. М. Лобанов, М. Д. Рабкина, В. А. Нехотящий); «Исследование влияния ремонтной сварки ответственных конструкций из высокопрочных сталей на сопротивление сварных соединений к хрупкому разрушению и усталости» (В. Д. Позняков); «Оценка влияния ультразвуковой ударной обработки сварных соединений на накопление повреждений (В. В. Кныш, С. А. Соловей); «Обзор современного состояния проблемы индуцированных водородом холодных трещин при сварке высокопрочных сталей» (С. М. Степанюк, И. К. Походня); «Результаты расчетов влияния водородной локализации пластичности на прочность металла с ОЦК решеткой» (А. В. Игнатенко, И. К. Походня).

Во время работы симпозиума проходили обсуждения и научные дискуссии перспектив дальнейшего развития механики разрушения, расширения диапазона ее применения по соотношению к совре-



менным конструкционным материалам, объединение возможностей механики разрушения и методов неразрушающего контроля технического состояния реальных конструкций. В заключительных выступлениях во время закрытия конференции профессор Э. Гдоутос и В. Панасюк отметили высокий уровень докладов, презентованных на симпозиуме представителями разных школ по механике разрушения.

В рамках дискуссий участники симпозиума обсуждали также возможности расширения многостороннего сотрудничества ученых европейских государств и продолжения сотрудничества между Грецией и Украиной в рамках действующего пятилетнего Соглашения между НАН Украины и ESIS. Во время закрытия симпозиума было принято постановление, отметившее приоритетные направления для дальнейших исследований:

— установление критериев для оценки состояния предельного равновесия деформированного материала в вершине острых концентраторов напряжений с учетом совместного влияния напряжений и рабочей среды, в частности водородного;

— разработка современных методов контроля дефектности конструкционных материалов в эксплуатационных условиях и разработка систем мониторинга надежности и работоспособности конструкционных элементов;

— интенсификация исследований по использованию водорода как технологической среды с целью улучшения функциональных характеристик металлических материалов;

— разработка эффективных методов оценки работоспособности сварных соединений с учетом одновременного действия нагрузки, температуры и водородной среды.

Участники симпозиума поддержали идею об организации международных специализированных симпозиумов по проблемам механики разрушения материалов и прочности конструкций каждые два-три года. Было принято решение послать обращение Президенту ESIS с просьбой поддержать эту идею.

И. М. Дмитрах, О. З. Студент, доктора техн. наук,
С. М. Степанюк, канд. техн. наук

УДК 621.791:061.2/4

ИТОГИ ВЫСТАВКИ «WELDEX/РОССВАРКА 2011»

В Москве с 18 по 21 октября 2011 г. в КВЦ «Сокольники» прошла 11-я Международная специализированная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий «Weldex/Россварка 2011». В этом году в выставке приняли участие 190 компаний из 12 стран мира. Результатом их плодотворной работы стали новые деловые контакты, обмен опытом с ведущими специалистами отрасли, а также творческие и деловые успехи. В этом году выставку посетили более 4500 тыс. гостей, общая площадь экспозиции составила более 8000 м². Традиционно в рамках деловой программы выставки «Weldex/Россварка 2011» прошли научно-технические конференции, семинары, конкурсы «Лучший сварщик», «Лучший инженер сварщик» и «Мисс Сварка России».

Эта выставка является одной из самых авторитетных сварочных выставок не только в России, но и в мире. В этом году в выставке приняли участие ведущие предприятия из Австрии, Великобритании, Германии, Италии, Китая, России, США, Швеции, Швейцарии, Франции, Финляндии и других стран.

Л. В. Говоров, президент Московской торгово-промышленной палаты, подчеркнул, что эта выставка имеет огромное значение для машиностроительного, нефтегазового, строительного, транспортного комплекса любой страны.

А. Г. Комиссаров, руководитель Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства Москвы, подчеркнул, что «Weldex/Россварка» — основная площадка для демонстрации достижений производства, расширения международного сотрудничества и установления долгосрочных коммерческих связей.

В нынешнем году эта выставка продемонстрировала продолжение своего активного развития, почти на 30% выросла суммарная экспозиционная площадь, мощная рекламная компания привлекла значительное количество представителей самых разных предприятий из различных отраслей про-



Церемония открытия выставки



Рабочий момент выставки

мышленного производства России, стран СНГ, а также других стран. Все это помогло максимальному раскрытию потенциала выставки, повышению ее посещаемости, расширению возможностей для установления новых видов сотрудничества.

На торжественной церемонии открытия «Weldex/Россварка» с приветственным словом к многочисленным гостям и участникам обратились М. Э. Башелеишвили, генеральный директор Международной выставочной компании MVK, С. Е. Савицкая, летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, заместитель председателя комитета Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации по обороне, А. С. Ульянов, заместитель руководителя Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства Москвы, Д. Д. Купов, начальник управления промышленной политики Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства Москвы, О. И. Стеклов, Президент Российского научно-технического сварочного общества (РНТСО), В. Н. Бутов, Президент Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков, В. А. Казаков, вице-президент РНТСО, главный редактор журнала «Сварочное производство», Ю. К. Подкопаев, генеральный директор компании «Элсвар».

Экспозиция выставки. Весь спектр технологий сварки, резки и пайки был представлен на площади более 8000 м² в павильонах 4 и 4.1 КВЦ «Сокольники». Ведущие производители сварочного оборудования представили новинки своей продукции.

Участниками выставки стали такие лидеры отрасли, как Государственный Рязанский приборный завод, ООО «Инсварком», НПФ ЗАО «ИТС», ООО «КЕМПИИ», «Lincoln Electric», ООО «Мессер Электик Кастолин», ООО «Технологический центр «ТЕНА», НПФ «Технотрон», ООО «ЭСАБ» и др.

Новинки выставки:

Московская производственная компания ООО «ТОР» представила целую линейку инверторных сварочных аппаратов «ТОРУС»;

Государственный Рязанский приборный завод продемонстрировал свой новый сверхкомпактный

сварочный аппарат инвертор «ФОРСАЖ-161», предназначенный для ручной дуговой сварки (ММА) штучными электродами. Аппарат отличается небольшими габаритными размерами (29,5×15,5×16 см) и малой массой (4,3 кг);

Компания «Вебер Комеханикс» представила вниманию гостей новые серии аппаратов CONVEX VISION и CONVEX BASIC. CONVEX — многофункциональный инверторный источник питания для сварки МИГ/МАГ, ММА и ТИГ. Современный дизайн и новейшие разработки в области инверторной технологии и сварочного процесса являются основными особенностями аппаратов серии «CONVEX».

Деловая программа включала:

- пресс-конференцию по созданию совместного предприятия «Microstep Welding» (организатор — компания «Вебер Комеханикс»);

- конференцию «Современные методы совершенствования сварочных производств для обеспечения стабильности свойств сварных соединений;

- технологическая модернизация и инновационное развитие» (организаторы: MVK, компания «Элсвар», РНТСО);

- научно-практическую конференцию в формате делового клуба по профессиональным интересам «Сварочное оборудование и материалы для обновления и подъема промышленного производства» (организаторы: MVK, Московская межотраслевая ассоциация главных сварщиков).

В рамках выставки прошло множество презентаций новейшей продукции и технологий ведущих мировых и европейских фирм.

Все мероприятия деловой программы были направлены на развитие сварочных производств в России, поиск новых технологий в этой сфере, создание условий для нормальной конкурентной среды с именитыми зарубежными производителями, что очень важно для укрепления промышленного потенциала России.

Конкурсная программа. В рамках выставки «Weldex/Россварка 2011» с успехом и при высокой активности участников и гостей прошло множество конкурсов, а именно: «Лучший сварщик 2011» и



Во время демонстрации «вживую»



«Лучший молодой сварщик 2011», «Лучший инженер (ученый) в области сварки 2011», «Мисс Сварка мира/России 2011».

Остроту соревнованию сварщиков придавали прекрасные призы — сварочные аппараты, сварочные маски «Хамелеон» и наборы газосварочного оборудования, предоставленные компаниями ESAB (Швеция), «КЕМРРИ» (Финляндия), «СВАРОГ» (Россия) и «Ро-Ар». Призы для победителей в трех номинациях для конкурса «Лучший молодой сварщик 2011» — аудиосистемы MP3 подготовила компания «ЭЛСВАР» (г. Электросталь МО).

В конкурсе «Лучший молодой сварщик 2011» приняли участие студенты учебных заведений Москвы и Московской области. Победителями конкурсов среди взрослых профессионалов стали:

в номинации «Полуавтоматическая сварка плавящейся проволокой в среде защитных газов MIG/MAG» победил А. А. Аметов (ЗАО «БЕЦЕМА», г. Красногорск, Московская обл.);

в номинации «Ручная дуговая сварка покрытым электродом ММА» второй год побеждает П. В. Фетисов (МГУП «Мосводоканал», г. Москва);

в номинации «Газопламенная сварка и резка» 1-е место занял А. И. Щербинин (МУП «Химкинская теплосеть», г. Химки, Московская обл.).

Жюри в составе О. И. Стеклова (д-р техн. наук, профессор), В. А. Казакова (д-р техн. наук, профессор), В. Н. Бутова (канд. техн. наук, действительный член РИА) признало победителем главного сварщика «КРИОГЕНМАШ» Г. С. Киселева. В торжественной обстановке он был награжден почетным дипломом и в подарок получил годовую подписку на журнал «Сварочное производство» (спонсор — издательство «Машиностроение»), инверторный сварочный аппарат ARC 145 в кейсе (спонсор — компания «СВАРОГ», г. С.-Петербург), сварочную маску «Хамелеон» (спонсор — компания «OPTREL» (Швейцария).

Но больше всего своей красотой и оригинальностью гостей выставки поразила конкурс «Мисс сварка мира/России 2011». Заявки на него подали 36 девушек из Москвы, Иваново Московской обл., Тейково Ивановской обл., С.-Петербурга, Твери, Юрги, Н. Новгорода и других городов. Конкурсной



Парад конкурсанток

комиссией и жюри из 36 претенденток к финальной части конкурса были допущены шесть победительниц заочной части конкурса. Конкурс, как и во все предыдущие годы, получился ярким и зрелищным. Девушки соревновались в ручной художественной плазменной резке и аргодуговой сварке (вырезали из листового металла и сваривали художественную композицию в виде зайчика), дефилировали в рабочей одежде в качестве манекенщиц и демонстрировали продукцию участников выставки, читали стихи, пели, танцевали, отвечали на вопросы об истории сварки. Все девушки были великолепны и вызвали заслуженное восхищение и восторг у многочисленных зрителей и жюри.

Победительницей конкурса была признана студентка МЭИ Снежана Медведева (г. Подольск Московской обл.) — ей присвоено звание «Мисс сварка мира/России 2011». Она была увенчана изумительной по красоте короной авторского исполнения, выполненной методомковки и сварки из высоколегированного металла, а также награждена главным призом — домашним кинотеатром и памятным дипломом MVK и РНТСО.

Участники и посетители выставки достигли поставленных целей и остались довольны результатами работы.

Следующая выставка «Weldex/Россварка» пройдет в КВЦ «Сокольники» с 23 по 26 октября 2012 г.

Пресс-релиз

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «BRAZIL WELDING SHOW 2011»

В последнее время бразильская экономика развивается высокими темпами и не только благодаря своим острым внутренним запросам, а также приближающимся двум спортивным мегасоревнованиям, которые пройдут в Бразилии: чемпионату мира по футболу-2014 и Олимпийским играм 2016 г. Ожидается, что при подготовке обоих событий значительно повысится производство различных металлических конструкций, при котором сварка является доминирующим технологическим процессом. Существующие и успешно развивающиеся в Бразилии такие отрасли промышленности, как автомобильная и судостроительная также укрепляют внутренний рынок и повышают требования к сварочным технологиям и их сервисному обслуживанию.

С 18 по 21 октября 2011 г. в Сан Паулу, являющимся промышленной столицей Бразилии (33 % общего валового дохода), в крупнейшем выставочном центре Expo Centre Norte состоялась первая бразильская сварочная выставка «Brazil Welding Show — BWS 2011». Для того чтобы усилить старт проведения данного серьезного мероприятия, выставка проходила в рамках крупнейшего в Латинской Америке форума «Corte & Conformacao de Metais» («Резка и обработка металлов»), который регулярно проводится в Бразилии.

Выставка «BWS 2011» была организована известной выставочной компанией «Messe Essen» в партнерстве с бразильской компанией «Aranda Eventos» и в дальнейшем предполагается проводить ее один раз в два года. Она является шестой версией международных сварочных выставок семейства «Schweissen & Schneiden», наряду с аналогичными выставками, проводимыми в Германии («Schweissen & Schneiden»), Китае («Beijing Essen Welding and Cutting»), Индии («India Essen Welding and Cutting») и России («Russian Essen Welding and Cutting», Москва) и «Essen Welding Pavilion at Svarka», Санкт-Петербург).

Основные направления выставки:

- сварка конструкций общего (гражданского) назначения;
- сварка в судостроении и прибрежной зоне;
- сварка трубопроводов и различного оборудования;
- сварка в машиностроении;
- сварка в автомобильной промышленности и строительстве железных дорог;
- специальные способы сварки и соединения материалов;
- подводная сварка;

- сварка в энергетике;
- коррозия, деформации и напряжения при сварке;
- сварочные материалы и аксессуары;
- стандарты и качество.

В части отдельного павильона площадью более 10 тыс. м², в котором разместилась выставка всего форума, на выставке BWS-11 (площадь более 2000 м²) были представлены 140 компаний из 17 стран (Бразилия, Германия, США, Китай, Италия, Англия, Франция, Австрия, Швейцария, Индия, Португалия, Канада, Нидерланды, Южная Корея, Тайвань, Польша, Украина). Они демонстрировали новейшие промышленные инновационные технологии и оборудование по всем основным направлениям в области сварочной науки и техники, автоматизации и роботизации, сварочных материалов и аксессуаров. Такие страны, как Германия, США, Китай и Италия были представлены крупными коллективными павильонами. Наибольшее представительство имели фирмы из Китая (более 30 компаний), Германии (около 30), США (11 компаний) и, естественно, Бразилии (40 компаний). Следует отметить, что организаторами коллективных павильонов Германии и США были сварочные общества этих стран — DVS и AWS соответственно. Выставка была очень представительной — почти все крупные сварочные компании представили свою продукцию и разработки. Техника большинства компаний была представлена в работе «вживую».





Представленные на выставке бразильское сварочное оборудование и материалы собственного производства отличались достаточно высоким научно-техническим уровнем. Высокий уровень исполнения и достаточно конкурентная цена бразильской продукции позволяют говорить о них, как о реальных претендентах на лидирующее место не только в Латинской Америке, но и на мировом рынке. Из бразильских фирм следует отметить компанию «KESTRA», которая является вторым по производству сварочных электродов и порошковых проволок, а также компанию «SOLDAS BRAZIL», являющуюся ведущим дистрибьютором различной зарубежной и бразильской сварочной продукции.

Украинские новейшие разработки были представлены на коллективном стенде, в котором приняли участие ИЭС им. Е.О. Патона, фирма «ДОН-МЕТ» (г. Краматорск) и фирма «ВЕЛДТЕК» (г. Киев). Украинские разработки были представлены в виде планшетов, рекламных проспектов, образцов продукции и сварных образцов.

Посетившие выставку представители бразильских и других зарубежных компаний проявили интерес к разработкам ИЭС им. Е. О. Патона и других организаций, обсуждались вопросы совместного сотрудничества. Стенд ИЭС им. Е. О. Патона также посетили: главный редактор ведущего бразильского журнала по обработке и сварке материалов «Corte & Conformacao de Metais», в котором будет опубликована информация о деятельности института; а также руководители бразильского центра «INFOSOLDA» по информационному обеспечению и обучению специалистов в области сварки.

Украинский коллективный стенд посетили представители более 40 компаний. Многие представители бразильских и других компаний, посетивших стенд ИЭС им. Е. О. Патона, проявили интерес к представленным на выставке разработкам института и других организаций и обсуждали их с нашими представителями. Наибольший интерес вызвали разработки института по сварке в медицине,

различным способам контактной сварки, новым сварочным материалам — особенно порошковым проволокам для сварки нержавеющей стали, технологии А-ТИГ, технологии и материалами для износостойкой наплавки и т. д.

Одновременно с проведением выставки была организована сварочная научно-практическая конференция. Ведущие бразильские и зарубежные специалисты представили 48 докладов, посвященных наиболее актуальным вопросам в области сварки и родственных технологий.

Большая помощь в организации и проведении выставки была оказана руководством компании «Aranda Eventos».

В настоящее время в Бразилии, стране которая очень динамично развивается, имеется реальный большой потенциальный рынок для сварочных и родственных технологий, оборудования, материалов и услуг, которые являются предметом деятельности ИЭС им. Е. О. Патона, включая разработки и других организаций Украины. Работа по освоению данного рынка представляется весьма перспективной.

Выставка «Brazil Welding Show» была весьма представительной и участие в ней ИЭС им. Е. О. Патона с учетом заинтересованности в освоении рынков Латинской Америки в целом представляется весьма целесообразным.

Работа по освоению рынка в Бразилии должна вестись с участием местного партнера, знающего его особенности и оказывающего помощь в подготовке демонстрационных и рекламных материалов, налаживании контактов, проведении переговоров и пр. На первом этапе ознакомления и освоения рынка таким партнером для ИЭС им. Е. О. Патона может явиться Бразильское сварочное общество.

Следующая выставка BWS состоится в Сан-Пауло в октябре 2013 г.

Коваленко Д. В., инж.

А. Г. ПОТАПЬЕВСКОМУ — 85



В декабре исполнилось 85 лет Аркадию Григорьевичу Потапьевскому, ведущему научному сотруднику Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, доктору технических наук, профессору, лауреату Ленинской премии, известному ученому в области технологии и оборудования для дуговой сварки.

После успешного окончания Киевского политехнического института (1952) он пришел в ИЭС им. Е. О. Патона, где прошел путь от инженера до заведующего научной лабораторией. В начальные годы его работа в ИЭС им. Е. О. Патона была связана с участием в разработке технологии сварки расщепленным электродом двухслойных сталей, наплавке легированного металла на углеродистую сталь, сварке нержавеющей стали в углекислом газе.

А. Г. Потапьевский принимал активное участие в разработке способа сварки в углекислом газе тонкой электродной проволокой с принудительными короткими замыканиями межэлектродного промежутка. Этот способ стал основой современной технологии автоматической и полуавтоматической сварки в углекислом газе.

В 1962 г. А. Г. Потапьевский защитил кандидатскую диссертацию, посвященную сварке в углекислом газе. С его участием был разработан широко известный полуавтомат для сварки в углекислом газе типа А-547, запатентованный во многих странах Европы, и сварочный выпрямитель ВС-300. Это оборудование стало основной материальной базой для широкого внедрения сварки в углекислом газе в автомобиле- и тракторостроение и сельхозмашиностроение.

А. Г. Потапьевский является соавтором первых монографий по сварке плавящимся электродом, изданных в 1959–1960 гг.

А. Г. Потапьевский принимал активное участие в разработке систем централизованного обеспечения сварочных цехов газом, разработке рекомендаций по технике сварки во всех пространственных положениях и в других работах, способствовавших развитию и распространению применения сварки в углекислом газе.

В 1960 г. он окончил вечернее экономическое отделение Киевского университета марксизма-ленинизма.

В 1963 г. А. Г. Потапьевскому в составе группы ученых и специалистов промышленности была присуждена Ленинская премия за разработку и широкое внедрение сварки в углекислом газе.

Нельзя не отметить и его преподавательскую работу по совместительству на курсах повышения квалификации инженеров и техников по сварке при ИЭС им. Е. О. Патона и на кафедре сварки Киевского политехнического института.

Важным этапом деятельности А. Г. Потапьевского является его участие в разработке под руководством Б. Е. Патона способа, технологии и оборудования для импульсно-дуговой сварки в защитных газах. Этот перспективный способ управления переносом металла при сварке плавящимся электродом, запатентованный в ФРГ, Англии, Франции, Италии и Бельгии, нашел применение в судостроении, а также в других отраслях промышленности во всем мире.

В 1974 г. А. Г. Потапьевский защитил докторскую диссертацию, а также опубликовал монографию, посвященную теоретическим и практическим основам дуговой сварки в защитных газах. Много работал по совершенствованию и внедрению этого способа сварки в промышленность, а также по повышению качества и производительности сварки в защитных газах.

С 1996 г. А. Г. Потапьевский работает ведущим техническим экспертом (аудитором) в Научно-техническом центре «СЕПРОЗ» НАН Украины по сертификации сварочного оборудования, изготавливаемого фирмами СНГ и Европы, а также по аттестации технологии сварки. Проводя технический надзор за производством оборудования, он обеспечил регулярное техническое сопровождение серийного производства полуавтоматов А-547 и выпрямителей ВС-300Б, что обеспечило их выпуск по настоящее время.

В 2007 г. А. Г. Потапьевский издал монографию по сварке в защитных газах, в которой обобщил опыт, накопленный промышленностью после 1974 г. В 2012 г. планирует издание монографии с анализом разработок за последние пять лет.

От всей души желаем Вам, дорогой Аркадий Григорьевич, здоровья, счастья и дальнейших творческих успехов.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия журнала

ПОДПИСКА — 2012 на журнал «Автоматическая сварка»

Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
480 грн.	960 грн.	2700 руб.	5400 руб.	78 дол. США	156 дол. США

В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Реклама публикуется на обложках и внутренних вклейках следующих размеров

- Первая страница обложки (190×290 мм)
- Вторая, третья и четвертая страницы обложки (200×290 мм)
- Первая, вторая, третья, четвертая страницы внутренней обложки (200×290 мм)
- Вклейка А4 (200×290 мм)
- Разворот А3 (400×290 мм)
- 0,5 А4 (185×130 мм)
- 0,25 А4 (90×130 мм)

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

Стоимость рекламы и оплата

- Цена договорная
- По вопросам стоимости размещения рекламы, свободной площади и сроков публикации просьба обращаться в редакцию

- Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу
- Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу
- Для постоянных партнеров предусмотрена система скидок
- Стоимость публикации статьи на правах рекламы составляет половину стоимости рекламной площади
- Публикуется только профильная реклама (сварка и родственные технологии)
- Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель

Контакты:

тел./факс: (38044) 200-82-77; 200-54-84
E-mail: journal@paton.kiev.ua

Подписано к печати 24.11.2011. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 9,09. Усл.-отт. 9,67. Уч.-изд. л. 10,22 + 5 цв. вклеек.

Печать ООО «Фирма «Эссе».

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



Программы профессиональной подготовки на 2012 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)	
102		переаттестация	18 ч	
172		расширение области аттестации	6 ч	
103	Техническое руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полиэтиленовых труб	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	
104		переаттестация	1 неделя (32 ч)	
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)	3 недели (112 ч)	декабрь	
106	Аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков-экспертов УАКС (расширение области аттестации)	8 ч	по согласованию с заказчиком и УАКС	
108	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	сентябрь	
109	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)	
110		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (74 ч)	
111	Аттестация членов комиссий по аттестации сварщиков – специалистов технологических служб по сварке (расширение области аттестации)	6 ч	по согласованию с заказчиком	
113	Подтверждение полномочий председателей комиссий по аттестации сварщиков-экспертов УАКС (со стажем 3 - 15 лет)	16 - 32 ч	по согласованию с заказчиком и УАКС	
116	специалистов технологических служб по сварке: (со стажем 3 - 15 лет)	16 - 32 ч	по согласованию с заказчиком	
147	Подтверждение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов по техническому контролю	16 ч	
164		специалистов по техническому контролю (включая спец. подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	36 ч	
120		специалистов по охране труда	16 ч	
121	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки с присвоением квалификации:	Международный инженер по сварке	458 / 120 ч ¹	
122		Международный технолог по сварке	356 / 90 ч ¹	
123		Международный специалист по сварке	239 / 60 ч ¹	
124		Международный практик по сварке	146 / 32 ч ¹	
126		Международный инспектор по сварке	полного уровня	230 ч
128			стандартного уровня	170 ч
125	базового уровня		115 ч	
131	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)	2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок	
132	Производство сварочных электродов: организация, технологии и системы управления качеством	3 недели (112 ч)		

133	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком
134	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)	переаттестация	22 ч	февраль, март, апрель, июль, ноябрь, декабрь
135	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта		2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок
136	Металлографические исследования металлов и сварных соединений	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	июль, ноябрь
137		переаттестация	22 ч	по согласованию с заказчиком
138	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений	повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	январь, октябрь
139		переаттестация	20 ч	февраль, март, май
140	Эмиссионный спектральный анализ (стилоскопирование) металлов и сплавов	подготовка и аттестация	2 недели (74 ч)	апрель, октябрь
141		переаттестация	22 ч	ноябрь

2. Повышение квалификации педагогических работников системы профессионально-технического образования в области сварки

205	Повышение квалификации мастеров (инструкторов) производственного обучения по сварке		4 недели (152 ч)	постоянно, по согласованию с заказчиком
206	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин профессионально-технических учебных заведений по направлению «Сварка»		2,5 недели (100 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 со специализацией:

301	Ручная дуговая сварка покрытыми электродами		356 ч	по согласованию с заказчиком
304	Механизованная дуговая сварка плавящимся электродом		400 ч	
302	Ручная дуговая сварка неплавящимся металлическим электродом в инертных газах		284 ч	
303	Газовая сварка		218 ч	
306	Автоматическая дуговая сварка под флюсом		112 ч	по согласованию с заказчиком
307	Электрошлаковая сварка		112 ч	

Специальная подготовка СВАРЩИКОВ:

308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)		112 ч	по мере поступления заявок
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		196 ч	февраль, октябрь

Переподготовка СВАРЩИКОВ:

310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации «Международный сварщик»		120–610 ч ¹	по согласованию с заказчиком
380	в соответствии с Государственным стандартом ПТО на профессию «Сварщик»*		74–106 ч ¹	

Повышение квалификации и подтверждение уровня квалификации в соответствии с национальными и международными стандартами СВАРЩИКОВ:

311	Ручной дуговой сварки покрытыми электродами		74 – 224 ч ¹	по согласованию с заказчиком
318	Механизованной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах		72 – 254 ч ¹	
325	Ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в инертных газах		72 – 160 ч ¹	
332	Газовой сварки		74 – 144 ч ¹	

Курсовая подготовка контролеров неразрушающего контроля со специализацией:

340	магнитный метод контроля		176 / 196 ч ²	по согласованию с заказчиком
342	капиллярный метод контроля		166 / 186 ч ²	

344	радиографический метод контроля	178 / 198 ч ²	по согласованию с заказчиком
346	ультразвуковой метод контроля	180 / 194 ч ²	
348	визуально-оптический метод контроля	148 / 166 ч ²	

Целевая курсовая подготовка (для железнодорожного транспорта) дефектоскопистов:

352	магнитного контроля	120 ч	по мере поступления заявок
355	ультразвукового контроля	160 ч	
431	Специальная подготовка дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов	160 ч	по мере поступления заявок

4. Аттестация персонала сварочного производства

402	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944, ДСТУ ISO 9606-2,3,4,5 правилами Госгорпромнадзора (НПАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		72 ч	постоянно, по согласованию с заказчиком	
403	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно с правилами Госгорпромнадзора (НПАОП 0.00-1.16-96)		24 ч		
404	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госгорпромнадзора (НПАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч		
405	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287-1)		112 / 72 ч ³		
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287-1)		32 ч		
408	Специальная подготовка и аттестация операторов автоматической сварки плавлением / наладчиков контактной сварки в соответствии с стандартом ДСТУ ISO 14732		72 ч		
409	Специальная подготовка и аттестация сварщиков на допуск к выполнению сварочных работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		112 ч		
410	Периодическая аттестация сварщиков на допуск к выполнению сварочных работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч		
413	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		проводится по окончании курса 309		
414	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		32 ч		февраль, март, апрель, сентябрь, декабрь
415	Специальная подготовка дефектоскопистов к сертификации согласно НПАОП 0.00-6.14-97	ультразвуковой контроль	24 ч	ежемесячно	
416			60 / 70 / 140 ч ⁴	по мере поступления заявок	
419			радиационный контроль	24 ч ⁴	ежемесячно
420				60 / 70 / 140 ч ⁴	по мере поступления заявок
423				24 / 60 / 110 ч ⁴	
426				24 / 60 / 110 ч ⁴	
428	визуально-оптический контроль	24 / 30 / 70 ч ⁴	ежемесячно		
358	Специальная подготовка и аттестация дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов (согласно РД 07-09-97)		подготовка и аттестация	76 ч	по согласованию с заказчиком
430			переаттестация	36 ч	

¹ - Продолжительность обучения определяется в зависимости от базовой профессиональной подготовки.

² - Продолжительность обучения зависит от специализации и уровня квалификации.

³ - Длительность программы определяется по результатам входного тестирования.

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

* Обучение проводится согласно новому государственному стандарту профессионально-технического образования ДСПТО 7219:2011 на профессию «Сварщик». Код профессии: 7219 в соответствии с классификатором профессий (ДК 003:2010).

Украина, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11

Тел. (44) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09,

Факс (44) 456-48-94; E-mail: paton_muac@ukr.net, http://muac.kpi.ua

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ за 2011 г.

ПЕРЕДОВИЦЫ

К 100-летию со дня рождения М. К. Янгеля № 11
Сварочному факультету ПГТУ — 40 № 8
Уникальная технология ликвидации подводных аварий нефте-, газопроводов, разработанная украинскими учеными № 1

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

АНДРЕЕВ В. В., ЕФРЕМЕНКО Е. М., МОСКОВИЧ Г. Н. Имитационное моделирование электрических схем как этап разработки специализированных источников питания с управляемой формой переменного тока № 2

БЕЛОУС В. Ю. Условия формирования бездефектных швов при сварке низколегированных титановых сплавов в узкий зазор магнитоуправляемой дугой № 3

БЕЛОУС В. Ю., АХОНИН С. В. Формирование сварных соединений титана в узкий зазор с управляющим магнитным полем № 4

ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., УСТИНОВ А. И., ХАРЧЕНКО Г. К., ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., ПЕТРУШИНЕЦ Л. В., РОЗЫНКА Г. Ф. Силовое воздействие на свариваемые поверхности, инициированное протеканием реакции СВС в нанослойной прослойке № 7

ВИЛАГЕ Б., РУППРЕХТ К., ПОХМУРСКАЯ А. Особенности газотермического напыления покрытий порошковыми проволоками (Обзор) № 10

ГОЛОВКО В. В., КОСТИН В. А., ГРИГОРЕНКО Г. М. Особенности влияния комплексного легирования на формирование структуры и механические свойства сварных швов низколегированных высокопрочных сталей № 7

ГОНЧАРОВ И. А., ГАЛИНИЧ В. И., МИЩЕНКО Д. Д., ШЕВЧЕНКО М. А., СУДАВЦОВА В. С. Прогнозирование термодинамических свойств расплавов системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2-CaF_2$ № 10

ГРИНБЕРГ Б. А., ЕЛКИНА О. А., АНТОНОВА О. В., ИНОЗЕМЦЕВ А. В., ИВАНОВ М. А., РЫБИН В. В., КОЖЕВНИКОВ В. Е. Особенности формирования структуры переходной зоны соединения $Cu-Ta$, полученного сваркой взрывом № 7

ДЯДИН В. П., ЮРКО Л. Я. Экспериментальная оценка температурного сдвига δ_{1c} -кривой и хрупковязкого перехода конструкционных сталей и сварных соединений по результатам стандартных испытаний № 2

ЗАПОРОЖЕЦ Т. В., ГУСАК А. М., УСТИНОВ А. И. Условия распространения фронта реакции СВС в нанослойных фольгах, контактирующих с теплопроводящим материалом № 8

ИВАНОВ В. П., ИВАЩЕНКО В. Ю. Влияние технологии наплавки и термообработки на структуру и свойства металла, наплавленного ленточным электродом ЛН-02Х25Н22АГ4М2 на углеродистую сталь № 8

ИЩЕНКО Д. А. Применение наноструктурных прослоек в соединениях трудносвариваемых материалов на алюминиевой основе (Обзор) № 4

КАРПЕЧЕНКО А. А. Электродуговое напыление металлокерамических и металлостеклянных покрытий № 4

КАХ П., ХИЛЬТУНЕН Е., МАРТИКАИНЕН Дж. Экспериментальное исследование склонности к горячему растрескиванию деформируемых алюминиевых сплавов № 9

КНЫШ В. В., СОЛОВЕЙ С. А., БОГАЙЧУК И. Л. Оптимизация процесса упрочнения сварных соединений стали 09Г2С высокочастотной механической проковкой № 5

КОЗУЛИН С. М., ЛЫЧКО И. И. Деформации сварных соединений при многослойной электрошлаковой сварке № 1

КОСТИН В. А., ГОЛОВКО В. В., ГРИГОРЕНКО Г. М. Методы оценки упрочнения металла сварных швов высокопрочных низколегированных сталей № 10

КРАВЧУК Л. А., ЗАГОРНИКОВ В. И., КУЛЕШОВ И. А. Электронно-лучевая сварка теплообменных аппаратов с одинарным и двойным преломлением электронного пучка № 1

КУЗЬМЕНКО В. Г. К вопросу о процессе электродуговой сварки под флюсом № 5

КУСКОВ Ю. М., НОВИКОВА Д. П., БОГАЙЧУК И. Л. Роль неметаллических включений в возникновении трещин при дуговой наплавке № 10

КУЧУК-ЯЦЕНКО В. С. Контактная стыковая сварка жаропрочного никелевого сплава с использованием наноструктурных фольг № 11

КУЧУК-ЯЦЕНКО В. С. Особенности контактной сварки меди с алюминиевыми сплавами при использовании наноструктурной фольги системы $Al-Cu$ № 5

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., КИРЬЯН В. И., КАЗЫМОВ Б. И., ХОМЕНКО В. И. Оценка деформируемости соединений трубных сталей, выполняемых автоматической контактной стыковой сваркой непрерывным оплавлением № 2

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ШВЕЦ Ю. В., КАВУНИЧЕНКО А. В., ШВЕЦ В. И., ТАРАНЕНКО С. Д., ПРОЩЕНКО В. А. Особенности влияния дефектов в литых заготовках стали 110Г13Л на механические свойства соединений при контактной стыковой сварке № 6

ЛАБУР Т. М. Прочность и особенности разрушения сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов при низкой температуре № 5

ЛАБУР Т. М., ШОНИН В. А., ТАРАНОВА Т. Г., КОСТИН В. А., МАШИН В. С., КЛОЧКОВ И. Н. Морфология поверхности разрушения в условиях усталости сварных соединений сплава $AMg6$, полученных плавящимся электродом № 3

ЛАЗОРЕНКО Я. П., ШАПОВАЛОВ Е. В., КОЛЯДА В. А. Анализ спектра излучения сварочной дуги для мониторинга дуговой сварки (Обзор) № 11

ЛАНКИН Ю. Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом № 1

ЛЕВЧЕНКО О. Г., ЛУКЪЯНЕНКО А. О., ПОЛУКАРОВ Ю. О. Концентрации оксида углерода и диоксида азота в воздухе рабочей зоны при дуговой сварке покрытыми электродами № 1

ЛОБАНОВ Л. М., ПАЩИН Н. А., ЛОГИНОВ В. П., МИХОДУЙ О. Л. Влияние повторного нагружения на эффективность электрохимической обработки алюминиевого сплава $AMg6$ и его сварных соединений № 4

ЛОБАНОВ Л. М., ПИВТОРАК В. А., САВИЦКАЯ Е. М., КИЯНЕЦ И. В., ЛЫСАК В. В. Оперативный контроль качества сварных панелей из сплава ВТ20 с использованием метода электронной широтграфии № 11

ЛЮШИНСКИЙ А. В. Использование нанодispersных порошков металлов при диффузионной сварке разнородных материалов № 5

МАЛИНОВ В. Л. Влияние марганца на структуру и износостойкость наплавленного металла типа низкоуглеродистой стали № 8

МАРКАШОВА Л. И., ПОЗНЯКОВ В. Д., АЛЕКСЕЕНКО Т. А., БЕРДНИКОВА Е. Н., ЖДАНОВ С. Л., КУШНАРЕВА О. С., МАКСИМЕНКО А. А. Влияние легирования швов на структуру и свойства сварных соединений стали 17Х2М № 4

МАХНЕНКО В. И., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., МИЛЕНИН А. С., ОЛЕЙНИК О. И., РОЗЫНКА Г. Ф., ПИВТОРАК Н. И. Допускаемое давление для заполнителя герметичных муфт, используемых при ремонте магистральных трубопроводов № 8

МАХНЕНКО В. И., КОЗЛИТИНА С. С., ДЗЮБАК Л. И. Прогнозирование содержания σ -фазы в ЗТВ стыковых соединений duplexных сталей при дуговой сварке № 6

МАХНЕНКО В. И., ОЛЕЙНИК О. И., ПАЛЬЦЕВИЧ А. П. Поведение водорода при ремонтной сварке магистральных трубопроводов под давлением № 9

МОГИЛА П., ГЛАВАТИ И., ТОМЧИК П. Причины вторичного упрочнения в Cr–Mo–V шве при длительном тепловом воздействии № 2

МОРАВЕЦКИЙ С. И. Гигроскопичность высокоосновного синтетического флюса № 12

МОРАВЕЦКИЙ С. И. Отделимость шлаковой корки при дуговой сварке (Обзор). Ч.1. Механизм химического сцепления шлаковой корки с металлом шва № 1

МОРАВЕЦКИЙ С. И. Отделимость шлаковой корки при дуговой сварке (Обзор). Ч.2. Характер влияния основных факторов на отделимость шлаковой корки № 2

НАЗАРЕНКО О. К., МАТВЕЙЧУК В. А., ГАЛУШКА В. В. Моделирование влияния высоковольтных кабелей на пульсацию тока в сварочных пушках с автоматическим смещением № 5

НАРВА В. К., МАРАНЦ А. В. Получение градиентных покрытий на титановой основе методом лазерной наплавки № 4

НЕКЛЮДОВ И. М., БОРЦ Б. В., ТКАЧЕНКО В. И. Особенности формирования соединения разнородных металлов при сварке горячей прокаткой в вакууме № 8

НОСОВСКИЙ Б. И., ЛАВРОВА Е. В. Разработка методики выбора параметров наплавки ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла № 3

ОСАДЧУК С. А., КОТЛЯР О. В., ПОЛЯКОВ С. Г., НЫРКОВА Л. И. Мониторинг коррозии трубопроводов системы охлаждения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций № 3

ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ Е. Ф., РЯБЦЕВ И. А. Свойства сплавов на основе железа для плазменно-порошковой наплавки уплотнительных поверхностей арматуры № 9

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., БАГЛАЙ В. М., ПИСЬМЕННЫЙ А. А., РЫМАР С. В. Индукционная система для локальной обработки поверхности потоками жидкого металла № 6

ПОЗНЯКОВ В. Д., КИРЬЯКОВ В. М., ГАЙВОРОНСКИЙ А. А., КАСАТКИН С. Б., КЛАПАТЮК А. В., ТАРАНЕНКО С. Д., ПРОЩЕНКО В. А. Влияние технологических факторов на сопротивляемость замедленному разрушению стыковых соединений рельсовой стали при дуговой сварке № 11

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Изучение особенностей массопереноса процесса сварки трением с перемешиванием с помощью физического моделирования № 6

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Особенности распределения температур в тонколистовом алюминиевом сплаве АМг5М при сварке трением с перемешиванием № 8

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Стойкость швов тонколистовых алюминиевых сплавов против зарождения и распространения эксплуатационных трещин № 10

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ИЩЕНКО А. Я., ФЕДОРЧУК В. Е. Сварка трением с перемешиванием композиционных, гранулированных и квазикристаллических алюминиевых сплавов № 7

ПОХОДНЯ И. К., КАРМАНОВ В. И., ЯВДОЩИН И. Р., ГУБЕНЯ И. П., ХИЖУН О. Ю., ХОБТА И. В. Дисперсность частиц и валентность марганца в сварочном аэрозоле № 9

РИМСКИЙ С. Т. Управление свойствами металла шва путем урегулирования уровня окисленности сварочной ванны при сварке в защитных газах № 12

РОЯНОВ В. А. К 65-летию кафедры оборудования и технологии сварочного производства ПГТУ № 8

РЫМАР С. В., ЖЕРНОСЕКОВ А. М., СИДОРЦЕВ В. Н. Влияние однофазных источников питания сварочной дуги на электрическую сеть № 12

РЯБЦЕВ И. А., БАБИНЕЦ А. А., РЯБЦЕВ И. И. Влияние пластичного подслоя на термическую стойкость многослойного наплавленного металла № 10

РЯБЦЕВ И. А., КОНДРАТЬЕВ И. А., ОСИН В. В., ГОРДАНЬ Г. Н. Износ- и термостойкость наплавленного металла типа графитизированных сталей № 8

СТЕПНОВ К. К., МАТВИЕНКО В. Н., ОЛДАКОВСКИЙ А. И. Модифицирование среднехромистого наплавленного металла № 8

ТАРАСЕНКО Ю. П., БЕРДНИК О. Б., ЦАРЕВА И. Н. Оптимизация режимов восстановительной термической обработки лопаток из сплава ХН65ВМТЮ после длительной эксплуатации № 9

ТЕРНОВОЙ Е. Г., ШУЛЫМ В. Ф., БУЛАЦЕВ А. Р., СОЛОМИЙЧУК Т. Г., КОСТИН В. А. Свойства и структура кольцевых соединений труб, полученных орбитальной электронно-лучевой сваркой № 1

ТУРИЧИН Г. А., ЦЫБУЛЬСКИЙ И. А., ЗЕМЛЯКОВ Е. В., ВАЛДАЙЦЕВА Е. А., КУЗНЕЦОВ М. В. Разработка технологии и оборудования для лазерной и лазерно-дуговой сварки алюминиевых сплавов № 9

ТЮРИН Ю. Н., КУСКОВ Ю. М., МАРКАШОВА Л. И., ЧЕРНЯК Я. П., БЕРДНИКОВА Е. Н., ПОПКО В. И., КУШНАРЕВА О. С., АЛЕКСЕЕНКО Т. А. Влияние низкочастотных резонансных колебаний на структуру и трещиностойкость наплавленного высокохромистого чугуна № 2

ХАРЛАМОВ М. Ю., КРИВЦУН И. В., КОРЖИК В. Н., ПЕТРОВ С. В. Нагрев и плавление проволоки-анода при плазменно-дуговом напылении № 5

ХАРЛАМОВ М. Ю., КРИВЦУН И. В., КОРЖИК В. Н., ПЕТРОВ С. В. Формирование пленки жидкого металла на торце проволоки-анода при плазменно-дуговом напылении № 12

ХАРЧЕНКО Г. К., УСТИНОВ А. И., ФАЛЬЧЕНКО Ю. В., МУРАВЕЙНИК А. Н., МЕЛЬНИЧЕНКО Т. В., ПЕТРУШИНЕЦ Л. В. Диффузионная сварка в вакууме сплава на основе γ -TiAl с использованием нанослойных прослоек № 3

ХОХЛОВА Ю. А., ФЕДОРЧУК В. Е., ХОХЛОВ М. А. Особенности межзеренного массопереноса галлия в алюминиевом сплаве при твердофазной активации соединяемых поверхностей № 3

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. О демпфировании колебаний сварочного тока при роботизированной дуговой сварке № 7

ЧЕЙЛЯХ Я. А., ЧИГАРЕВ В. В. Структура и свойства наплавленной износостойкой Fe–Cr–Mn стали с регулируемым содержанием метастабильного аустенита № 8

ШЛЕПАКОВ В. Н., ГАВРИЛЮК Ю. А., НАУМЕЙКО С. М. Разработка порошковой проволоки для дуговой сварки высокопрочных сталей бейнитного класса № 11

ШЛЕПАКОВ В. Н., КОТЕЛЬЧУК А. С. Исследование термохимических характеристик смесей дисперсных материалов методами дифференциального термического анализа № 12

ЭННАН А. А., КИРО С. А., ОПРЯ М. В., ХАН В. Е., ОГОРОДНИКОВ Б. И., КРАСНОВ В. А., МЕЙЕР-ВОРОБЕЦ А. де, ДАРЧУК Л., ХОРЕМЕНС Б. Фазовые переходы ^{137}Cs и ^{90}Sr при наплавке металла на радиоактивно загрязненные металлоконструкции № 7

ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЧЕРВЯКОВ Н. О., ЗВЯГИНЦЕВА А. В., МОНЬКО Г. Г., ПЕСТОВ В. А. Сравнительная оценка чувствительности к образованию горячих трещин сварных соединений сплава Inconel 690 № 11

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

БАРВИНКО А. Ю., БАРВИНКО Ю. П. Повышение качества сварного узла врезки патрубков в стенку резервуаров для хранения нефти № 3

БАРТЕНЕВ И. А. Технологические особенности наплавки высоколегированных сплавов № 5

БЕЛОУС В. Ю., АХОНИН С. В. Система автоматического регулирования положения вольфрамового электрода при сварке титана в узкий зазор с магнитоуправляемой дугой № 7

БОГДАНОВСКИЙ В. А., ГАВВА В. М., МАХЛИН Н. М., ЧЕРЕДНИК А. Д., ТКАЧЕНКО А. В., КУДРЯШЕВ В. Б., КУЛИКОВ А. П., КОВАЛЮК А. В. Применение автоматической орбитальной сварки при изготовлении поглощающих вставок контейнеров хранения отработанного ядерного топлива № 12

БОНДАРЕВ А. А., НЕСТЕРЕНКОВ В. М. Электронно-лучевая сварка тонколистовых объемных конструкций из алюминиевых сплавов № 6

БОНДАРЕВ А. А., НЕСТЕРЕНКОВ В. М., АРХАНГЕЛЬСКИЙ Ю. А. Электронно-лучевая сварка при производстве переходников из разнородных металлов № 7

ВЛАДИМИРОВ А. В., ХАБУЗОВ В. А., ЛЕБЕДЕВ В. А., МАКСИМОВ С. Ю., ГАЛЫШЕВ А. А. Универсальный источник питания для дуговой сварки и плазменной резки № 1

ГАРФ Э. Ф., НЕХОТЯЩИЙ В. А., ДМИТРИЕНКО Р. И., БАНАХЕВИЧ Ю. В., САВЕНКО А. В., ОЛЕЙНИК И. Н. Оценка эффективности композитных бандажей для восстановления дефектных участков трубопроводов № 7

ГУЛАКОВ С. В., БУРЛАКА В. В. Автоматизированный привод управления траекторией перемещения электрода для установки дуговой наплавки № 2

ГУЛАКОВ С. В., ШАФЕРОВСКИЙ В. А. Подготовка кадров на сварочном факультете ПГТУ № 8

ЕНГИНДЕНИЗ Е., КАПЛАН Е., ГАНИОГЛУ Е., ЮКСЕЛЬ Ф., БАЙЕЗИД Н., РОЗЕРТ Р. Опыт изготовления толстостенных конструкций для уникальных сооружений № 5

ЗАНКОВЕЦ П. В. Степень влияния подготовки и сборки под сварку на качество сварных соединений технологических трубопроводов № 6

ЗАРУБА И. И., АНДРЕЕВ В. А., СТЕПАХНО В. И., КОРИЦКИЙ В. А. Пути повышения технологической эффективности выпрямителей для механизированной сварки и наплавки № 11

КАЙТЕЛЬ С., НОЙБЕРТ Я. Гибридная лазерно-дуговая сварка для соединения труб № 2

КНЫШ В. В., СОЛОВЕЙ С. А., КУЗЬМЕНКО А. З. Влияние предварительного циклического нагружения на эффективность упрочнения сварных соединений высокочастотной проковкой № 10

КОЗУЛИН С. М. Выбор формы разделки кромок при ремонте сквозных трещин многослойной электрошлаковой сваркой № 3

КОЛОМИЙЦЕВ Е. В., СЕРЕНКО А. Н. Влияние поверхностного упрочнения и аргонодуговой обработки на усталость сварных соединений конструкций металлургического производства № 4

К 130-летию изобретения первого способа дуговой электросварки № 5

КУЛИК В. М., САВИЦКИЙ М. М., ЕЛАГИН В. П., ДЕМЧЕНКО Э. Л. Возможности применения высокопрочных низколегированных трубных сталей для изготовления сосудов высокого давления № 2

ЛАБУР Т. М. Технологические возможности повышения надежности сварных соединений алюминий-литиевых сплавов № 4

ЛАНКИН Ю. Н., МОСКАЛЕНКО А. А., ТЮКАЛОВ В. Г., СЕМИКИН В. Ф. Управление зажиганием дуги при возбуждении электрошлакового процесса № 3

ЛЕВЧЕНКО О. Г., ЛЕВЧУК В. К., ТИМОШЕНКО О. Н. Экранирующие материалы и средства индивидуальной защиты сварщика от магнитных полей № 3

МАКОВЕЦКАЯ О. К. Организация и тематика НИР в области технологий соединения, проводимых Британским институтом сварки и Объединением исследователей DVS (Обзор) № 12

МАКОВЕЦКАЯ О. К. Современное состояние и перспективы рынка стали и сварочной техники Китая (Обзор) № 11

МАКОВЕЦКАЯ О. К. Современный рынок сварочной техники и материалов № 6

МАРЧЕНКО А. Е., СКОРИНА Н. В., КОСТЮЧЕНКО В. П. Состояние разработки и производства низководородных электродов с двухслойным покрытием в странах СНГ (Обзор) № 1

МАХЛИН Н. М., КОРОТЫНСКИЙ А. Е., БОГДАНОВСКИЙ В. А., ОМЕЛЬЧЕНКО И. А., СВИРИДЕНКО А. А. Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций № 11

НАЗАРЕНКО О. К., МАТВЕЙЧУК В. А. Ограничение перенапряжений в высоковольтных цепях после разрядов в сварочной пушке № 10

НЕСТЕРЕНКОВ В. М., БОНДАРЕВ А. А., АРХАНГЕЛЬСКИЙ Ю. А., ЗАГОРНИКОВ В. И. Электронно-лучевая сварка корпусов буровых долот с модифицированием металла шва цирконием № 9

НЕСТЕРЕНКОВ В. М., КРАВЧУК Л. А. Электронно-лучевая сварка измерительной камеры магнитопневматического газоанализатора № 10

ОСАДЧУК С. А., НЫРКОВА Л. И., ПОЛЯКОВ С. Г., МЕЛЬНИЧУК С. Л., ГАПУЛА Н. А. Разработка датчика для определения скорости коррозии сварных металлоконструкций в атмосферных условиях № 7

ПАТОН Б. Е., ЛАКОМСКИЙ В. И., БРАГИНЕЦ В. И. Сварные электрические контакты разнородных проводников № 9

ПАТОН Б. Е., ЛОБАНОВ Л. М., ВОЛКОВ В. С. Конструкции преобразуемого объема (Обзор) № 12

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., ПЕНТЕГОВ И. В., КИСЛИЦЫН В. М., СТЕМКОВСКИЙ Е. П., ШЕЙКОВСКИЙ Д. А. Устройства для ударной обработки сварного шва в процессе точечной контактной сварки № 1

ПОХМУРСКИЙ В. И., СТУДЕНТ М. М., ГВОЗДЕЦКИЙ В. М., ПОХМУРСКАЯ А. В. Порошковые проволоки серии ФМИ для электродугового напыления покрытий (Обзор) № 9

ПОХОДНЯ И. К., ЯВДОЩИН И. Р., ГУБЕНЯ И. П. Сварочный аэрозоль — факторы влияния, физические свойства, методы анализа (Обзор) № 6

РАЗМЫШЛЯЕВ А. Д., МИРОНОВА М. В., КУЗЬМЕНКО К. Г., ВЫДМЫШ П. А. Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля № 5

РЫМАР С. В., ЖЕРНОСЕКОВ А. М., СИДОРЕЦ В. Н. Влияние сварочных источников питания на трехфазную электрическую сеть № 10

СКАЧКОВ И. О., ЧВЕРТКО Е. П. Оценка стабильности процесса сплавления при контактной стыковой сварке № 3

ШЕВЧЕНКО Н. В., СКАЧКОВ И. О., ПОНОМАРЕВ В. Е. Методика оценки сварочных свойств источников питания для дуговой сварки № 4

ШЕЛЯГИН В. Д., ЛУКАШЕНКО А. Г., ЛУКАШЕНКО Д. А., БЕРНАЦКИЙ А. В., ГАРАЩУК В. П., ЛУЦЕНКО В. И. Лазерная сварка тонколистовой нержавеющей стали № 4

ШЛЕНСКИЙ П. С., ДОБРУШИН Л. Д., ФАДЕЕНКО Ю. И., ВЕНЦЕВ С. Д. Камеры для сварки металлов взрывом (Обзор) № 5

ШЛЕПАКОВ В. Н. Современные электродные материалы и способы электродуговой сварки плавлением (Обзор) № 10

ШЛЕПАКОВ В. Н., КОТЕЛЬЧУК А. С. Опыт производства и применения бесшовной порошковой проволоки для электродуговой сварки № 2

ЮЩЕНКО К. А., БОРИСОВ Ю. С., ВОЙНАРОВИЧ С. Г., КИСЛИЦА А. Н., КУЗЬМИН-ЯНЧУК Е. К. Двухслойное биокерметное покрытие титан-гидроксиапатит № 12

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Диссертации на соискание ученой степени № 2, 10, 12

Кафедра физической металлургии и материаловедения в ИЭС им. Е. О. Патона № 3

КОЛЯДА В. А. Система видеонаблюдения за процессом сварки ТИГ титановых конструкций № 11

КРИВЧИКОВ С. Ю. Разработка способов устранения деформации коленчатых валов при широкослойной наплавке № 8

ЛЕВЧЕНКО О. Г., САВИЦКИЙ В. В., ЛУКЬЯНЕНКО А. О. Информационно-расчетная система гигиенических характеристик сварочных электродов № 2

ПОЗНЯКОВ В. Д., ЖДАНОВ С. Л., СИНЕОК А. Г., МАКСИМЕНКО А. А. Опыт применения стали S355 J2 в метал-

локонструкциях перекрытия над НСК «Олимпийский» (г. Киев) № 6

РЫЖКОВ С. С., БЛИНЦОВ В. С., ЕГОРОВ Г. В., ЖУКОВ Ю. Д., КВАСНИЦКИЙ В. Ф., КОШКИН К. В., КРИВЦУН И. В., НЕКРАСОВ В. А., СЕВРЮКОВ В. В., СОЛОНИЧЕНКО Ю. В. Создание универсальных транспортных судов и средств океанотехники № 9

СТЕПАХНО В. И., КОПЫЛОВ Л. Н., ЗЕЛЕНЧЕНКО Г. С. Модернизация электрической схемы аппарата А-1150 для сварки вертикальных швов № 4

ЯВДОЩИН И. Р., ФОЛЬБОРТ О. И. Новая информация о «старых» электродах № 1

ХРОНИКА

Акулову А. И. — 85 № 4

Алешину Н. П. — 70 № 8

Андрееву В. В. — 70 № 11

Бабаеву А. В. — 75 № 10

Бондареву А. А. — 75 № 3

Витязю П. А. — 75 № 8

VIII Международный конкурс сварщиков в Украине № 9

Всеукраинский семинар-совещание по профессиональной подготовке сварщиков № 9

II Международная научно-техническая конференция «Повреждение материалов во время эксплуатации, методы его диагностирования и прогнозирования» № 11

Второй Украинско-греческий симпозиум по механике разрушения материалов и конструкций № 12

Выдающийся ученый и организатор науки (к 100-летию со дня рождения М. В. Келдыша) № 3

Галиничу В. И. — 75 № 1

Гарфу Э. Ф. — 70 № 5

12-я Всемирная конференция по титану «Ti-2011» № 9

Ежегодная ассамблея МИС № 9

Зарубе И. И. — 90 № 11

Итоги выставки «Weldex/Россварка 2011» № 12

К 90-летию со дня рождения Д. А. Дудко № 7

К 100-летию М. Н. Сидоренко № 2

К 100-летию со дня рождения А. А. Казимирова № 11

Конференция по лазерным технологиям № 7

Лауреаты Государственной премии Украины № 8

Лакомскому В. И. — 85 № 10

Липодаеву В. Н. — 70 № 9

Лысаку В. И. — 60 № 5

Махненко В. И. — 80 № 10

Международная выставка «Brasil Welding Show 2012» № 12

Международная выставка «Cutting & Welding Equipment EXPO-WE11» № 7

Международная конференция «Инженерия поверхности и реновация изделий» № 7

Международная конференция по сварочным материалам стран СНГ № 9

Международная конференция «Титан-2011 в СНГ» № 6

Международная конференция «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях» № 4

Международная конференция «High Mat Tech» № 11

Международная научно-техническая конференция в Нижнем Тагиле № 9

Международная научно-техническая конференция «Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития» № 1

Международная специализированная выставка «Сварка и резка» в Минске № 6

Международная научно-методическая конференция «Современные проблемы сварки и родственных технологий, совершенствование подготовки кадров» № 10

Международная специализированная выставка «Сварка, резка, наплавка» № 7

Международные конкурсы молодых сварщиков в Чехии № 8

Международный научно-практический семинар в Киеве № 5

Наши поздравления! № 9

Нестеренкову В. М. — 60 № 9

Отраслевое совещание-конференция «Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром» № 1

Отчетно-выборная конференция Общества сварщиков Украины № 1

Памяти И. М. Жданова № 11

Памяти Г. И. Лескова № 12

Памяти В. Ф. Мусияченко № 5

Памяти В. А. Осадчука № 10

Памяти С. И. Притулы № 3

Памяти Л. Г. Пузрина № 11

Первое заседание совета Китайско-украинского института сварки им. Е. О. Патона № 10

Промышленная выставка «ПатонЭкспо-2011» № 6

Пятый международный семинар «Новые направления исследований в области сварки живых мягких тканей» № 1

V Международный семинар по сварке в Запорожье № 11

Потаповскому А. Г. — 85 № 12

Роянову В. А. — 70 № 8

Рыбакову А. А. — 70 № 11

Семинар Общества сварщиков Украины № 8

Семинар «Суперконденсатор — высокоэффективный источник питания фирмы «Юнаско-Украина» № 1

Сессия Научного совета по новым материалам при Комитете по естественным наукам Международной ассоциации академий наук № 7

Совместное заседание Президиума РАН и Президиума НАН Украины № 8

Создание Китайско-украинского института сварки им. Е. О. Патона № 9

Съезд Международного института сварки № 3

Технологический семинар по автоматизации и роботизации сварочных процессов № 8

Технический семинар по сварочным материалам № 6

III Патоновские чтения-2010 № 1

Троицкому В. А. — 75 № 2

Украинско-польская научно-техническая конференция № 8

Ученый, изобретатель, инженер-конструктор (к 100-летию со дня рождения Г. З. Волошкевича) № 9

VI Всеукраинская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии» № 7

Эсибяну Э. М. — 80 № 6

ИНФОРМАЦИЯ

Аннотации работ по инновационным проектам НАН Украины № 2

Календарь выставок и конференций в 2011 г. (Сварка и родственные технологии) № 1

Контактная стыковая сварка стержневой арматуры при реконструкции НСК «Олимпийский» (г. Киев) № 2

Компания «Lincoln Electric» в России № 3

Новое оборудование для микроплазменных процессов № 6

Новости № 3, 5, 6, 9

Разработано в ИЭС № 3

Программы профессиональной подготовки на 2012 г. № 12

Производители сварочных материалов, имеющие сертификаты соответствия в системе УкрСЕПРО, выданный в НТЦ «СЕПРОЗ» (по состоянию на 01.01.2011 г.) № 4, 6

Указатель авторов № 12

Указатель статей за 2011 г. № 12

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Алексеенко Т. А. № 2, 4
 Андреев В. А. № 11
 Андреев В. В. № 2
 Антонова О. В. № 7
 Архангельский Ю. А. № 7, 9
 Ахонин С. В. № 4, 7

Бабинец А. А. № 10
 Баглай В. М. № 6
 Байезид Н. № 5
 Банахевич Ю. В. № 7
 Барвинко А. Ю. № 3
 Барвинко Ю. П. № 3
 Бартенев И. А. № 5
 Белоус В. Ю. № 3, 4, 7
 Бердник О. Б. № 9
 Бердникова Е. Н. № 2, 4
 Бернацкий А. В. № 4
 Блинцов В. С. № 9
 Богайчук И. Л. № 5, 10
 Богдановский В. А. № 11, 12
 Бондарев А. А. № 6, 7, 9
 Борисов Ю. С. № 12
 Борц Б. В. № 8
 Брагинец В. И. № 9
 Булацев А. Р. № 1
 Бурлака В. В. № 2

Валдайцева Е. А. № 9
 Великоиваненко Е. А. № 7, 8
 Венцев С. Д. № 5
 Вилаге Б. № 10
 Владимиров А. В. № 1
 Войнарович С. Г. № 12
 Волков В. С. № 12
 Выдмыш П. А. № 5

Гавва В. М. № 12
 Гаврилюк Ю. А. № 11
 Гайворонский А. А. № 11
 Галинич В. И. № 10
 Галушка В. В. № 5
 Галышев А. А. № 1
 Гапула Н. А. № 7
 Ганиоглу Е. № 5
 Гаращук В. П. № 4
 Гарф Э. Ф. № 7
 Гвоздецкий В. М. № 9
 Главати И. № 2
 Голово В. В. № 7, 10
 Гончаров И. А. № 10
 Гордань Г. Н. № 8
 Григоренко Г. М. № 7, 10
 Гринберг Б. А. № 7
 Губеня И. П. № 6, 9
 Гулаков С. В. № 2, 8
 Гусак А. М. № 8

Дарчук Л. № 7
 Демченко Э. Л. № 2
 Дзюбак Л. И. № 6

Дмитриенко Р. И. № 7
 Добрушин Л. Д. № 5
 Дядин В. П. № 2

Егоров Г. В. № 9
 Елагин В. П. № 2
 Елкина О. А. № 7
 Енгиндениз Е. № 5
 Ефременко Е. М. № 2

Жерносеков А. М. № 10, 12
 Жданов С. Л. № 4, 6
 Жуков Ю. Д. № 9

Загорников В. И. № 1, 9
 Занковец П. В. № 6
 Запорожец Т. В. № 8
 Заруба И. И. № 11
 Звягинцева А. В. № 11
 Земляков Е. В. № 9
 Зеленченко Г. С. № 4

Иванов В. П. № 8
 Иванов М. А. № 7
 Иващенко В. Ю. № 8
 Иноземцев А. В. № 7
 Ищенко А. Я. № 7
 Ищенко Д. А. № 4

Кавуниченко А. В. № 6
 Казымов Б. И. № 2
 Кайтель С. № 2
 Каплан Е. № 5
 Карманов В. И. № 9
 Карпеченко А. А. № 4
 Касаткин С. Б. № 11
 Ках П. № 9
 Квасницкий В. Ф. № 9
 Киро С. А. № 7
 Кирьяков В. М. № 11
 Кирьян В. И. № 2
 Кислица А. Н. № 12
 Кислицын В. М. № 1
 Киянец И. В. № 11
 Клапатюк А. В. № 11
 Клочков И. Н. № 3
 Кныш В. В. № 5, 10
 Ковалюк А. В. № 12
 Кожевников В. Е. № 7
 Козлитина С. С. № 6
 Козулин С. М. № 1, 3
 Коломийцев Е. В. № 4
 Коляда В. А. № 11
 Кондратьев И. А. № 8
 Копылов Л. Н. № 4
 Коржик В. Н. № 5, 12
 Корицкий В. А. № 11
 Коротынский А. Е. № 11
 Костин В. А. № 1, 3, 7, 10
 Костюченко В. П. № 1
 Котельчук А. С. № 2, 12

Котляр О. В. № 3
 Кошкин К. В. № 9
 Кравчук Л. А. № 1, 10
 Краснов В. А. № 7
 Кривцун И. В. № 5, 9, 12
 Кривчиков С. Ю. № 8
 Кудряшев В. Б. № 12
 Кузнецов М. В. № 9
 Кузьменко А. З. № 10
 Кузьменко В. Г. № 5
 Кузьменко К. Г. № 5
 Кузьмич-Янчук Е. К. № 12
 Кулешов И. А. № 1
 Кулик В. М. № 2
 Куликов А. П. № 12
 Кусков Ю. М. № 2, 10
 Кучук-Яценко В. С. № 5, 11
 Кучук-Яценко С. И. № 2, 6
 Кушнарева О. С. № 2, 4

Лабур Т. М. № 3–5
 Лаврова Е. В. № 3
 Лазоренко Я. П. № 11
 Лакомский В. И. № 9
 Ланкин Ю. Н. № 1, 3
 Лебедев В. А. № 1
 Левченко О. Г. № 1–3
 Левчук В. К. № 3
 Лобанов Л. М. № 4, 12
 Логинов В. П. № 4
 Лукашенко А. Г. № 4
 Лукашенко Д. А. № 4
 Лукьяненко А. О. № 1, 2
 Луценко В. И. № 4
 Лысак В. В. № 11
 Лычко И. И. № 1
 Люшинский А. В. № 5

Маковецкая О. К. № 6, 11, 12
 Максименко А. А. № 4, 6
 Максимов С. Ю. № 1
 Малинов В. Л. № 8
 Маранц А. В. № 4
 Маркашова Л. И. № 2, 4
 Мартикаинен Дж. № 9
 Марченко А. Е. № 1
 Матвейчук В. А. № 5, 10
 Матвиенко В. Н. № 8
 Махлин Н. М. № 11, 12
 Махненко В. И. № 6, 8, 9
 Машин В. С. № 3
 Мейер-Воробец А. де № 7
 Мельниченко Т. В. № 3
 Мельничук С. Л. № 7
 Миленин А. С. № 8
 Миронова М. В. № 5
 Миходуй О. Л. № 4
 Мищенко Д. Д. № 10
 Могила П. № 2
 Мосько Г. Г. № 11
 Моравецкий С. И. № 1, 2, 12
 Москаленко А. А. № 3

Москович Г. Н. № 2
Муравейник А. Н. № 3

Назаренко О. К. № 5, 10
Нарва В. К. № 4
Наумейко С. М. № 11
Неклюдов И. М. № 8
Некрасов В. А. № 9
Нестеренков В. М. № 6, 7, 9, 10
Нехотящий В. А. № 7
Новикова Д. П. № 10
Нойберт Я. № 2
Носовский Б. И. № 3
Ныркова Л. И. № 3, 7

Огородников Б. И. № 7
Омельченко И. А. № 11
Олдаковский А. И. № 8
Олейник И. Н. № 7
Олейник О. И. № 8, 9
Опря М. В. № 7
Осадчук С. А. № 3, 7
Осин В. В. № 8

Пальцевич А. П. № 9
Патон Б. Е. № 9, 12
Пашин Н. А. № 4
Пентегов И. В. № 1
Переплетчиков Е. Ф. № 9
Пестов В. А. № 11
Петров С. В. № 5, 12
Петрушинец Л. В. № 3, 7
Пивторак В. А. № 11
Пивторак Н. И. № 8
Письменный А. А. № 6
Письменный А. С. № 1, 6
Позняков В. Д. № 4, 6, 11
Покляцкий А. Г. № 6–8, 10
Полукаров Ю. О. № 1
Поляков С. Г. № 3, 7
Пономарев В. Е. № 4
Попко В. И. № 2
Похмурская А. В. № 9, 10
Похмурский В. И. № 9
Походня И. К. № 6, 9
Прощенко В. А. № 6, 11

Размышляев А. Д. № 5

Римский С. Т. № 12
Розерт Р. № 5
Розынка Г. Ф. № 7, 8
Роянов В. А. № 8
Руппрехт К. № 10
Рыбин В. В. № 7
Рыжков С. С. № 9
Рымар С. В. № 6, 10, 12
Рябцев И. А. № 8, 9, 10
Рябцев И. И. № 10

Савенко А. В. № 7
Савченко В. С. № 11
Савицкая Е. М. № 11
Савицкий В. В. № 2
Савицкий М. М. № 2
Свириденко А. А. № 11
Севрюков В. В. № 9
Семикин В. Ф. № 3
Серенко А. Н. № 4
Сидорец В. Н. № 10, 12
Синеок А. Г. № 6
Скачков И. О. № 3, 4
Скорина Н. В. № 1
Соловей С. А. № 5, 10
Соломийчук Т. Г. № 1
Солониченко Ю. В. № 9
Стемковский Е. П. № 1
Степахно В. И. № 4, 11
Степнов К. К. № 8
Студент М. М. № 9
Судавцова В. С. № 10

Тараненко С. Д. № 6, 11
Тарасенко Ю. П. № 9
Таранова Т. Г. № 3
Терновой Е. Г. № 1
Тимошенко О. Н. № 3
Ткаченко А. В. № 12
Ткаченко В. И. № 8
Томчик П. № 2
Тюкалов В. Г. № 3
Тюрин Ю. Н. № 2
Туричин Г. А. № 9

Устинов А. И. № 3, 7, 8

Фадеенко Ю. И. № 5
Фальченко Ю. В. № 3, 7

Федорчук В. Е. № 3, 7

Фольборт О. И. № 1

Хабузов В. А. № 1
Хан В. Е. № 7
Харламов М. Ю. № 5, 12
Харченко Г. К. № 3, 7
Хижун О. Ю. № 9
Хильтунен Е. № 9
Хобта И. В. № 9
Хоменко В. И. № 2
Хоременс Б. № 7
Хохлов М. А. № 3
Хохлова Ю. А. № 3

Царева И. Н. № 9
Цыбулькин Г. А. № 7
Цыбульский И. А. № 9

Чертко Е. П. № 3
Чейлях Я. А. № 8
Червяков Н. О. № 11
Чередник А. Д. № 12
Черняк Я. П. № 2
Чигарев В. В. № 8

Шаповалов Е. В. № 11
Шаферовский В. А. № 8
Швец В. И. № 6
Швец Ю. В. № 6
Шевченко М. А. № 10
Шевченко Н. В. № 4
Шейковский Д. А. № 1
Шелягин В. Д. № 4
Шленский П. С. № 5
Шлепаков В. Н. № 2, 10–12
Шонин В. А. № 3
Шулым В. Ф. № 1

Эннан А. А. № 7

Юксель Ф. № 5
Юрко Л. Я. № 2
Ющенко К. А. № 11, 12

Явдошин И. Р. № 1, 6, 9