



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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор

Б. Е. ПАТОН

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

Адрес редакции:
03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 227 6302, 269 2623
Факс: (38044) 268 0486
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, В. И. Котляр, Т. В. Юштина

Электронная верстка:

И. С. Баташева, А. И. Сулима,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

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

Цена договорная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Мазуровский В. Л., Зиниград М. И., Леонтьев Л. И., Лисин В. Л. Компьютеризированное проектирование современных сварочных материалов 3

Пономарев В., Скотти А. Особенности смешанных типов переноса металла при сварке в защитных газах длинной дугой 8

Бондарев А. А., Лозовская А. В., Шеленков Г. М. Влияние металлургической наследственности полуфабрикатов из сплава АМц на их паяемость 15

Арсенюк В. В., Маркашова Л. И., Григоренко Г. М., Половецкий Е. В., Бугаец В. П. Особенности формирования структуры титаностальных соединений в условиях сварки взрывом 21

Ивахненко А. Г., Веревкин М. Е., Ивахненко Г. А. Исследование процесса сварки взрывом с помощью комбинаторного алгоритма МГУА и расширения выборки данных 28

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Позняков В. Д., Касаткин С. Б., Жданов С. Л., Стрижак П. А. Особенности ремонта сварных конструкций из низколегированных сталей (Обзор) 32

Игнатченко П. В., Бугай А. И. О некоторых тенденциях развития производства сварочных материалов и сырьевых компонентов 38

Явдошин И. Р., Скорина Н. В., Марченко А. Е., Ваколюк Ю. Д., Пальцевич А. П. Новые электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей 42

Дмитрик В. В., Пригула С. И. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов для сварочных горелок 45

Корниенко А. Н., Жадкевич А. М. Проблема качества паяных соединений и разработка припоев (Обзор) 48

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Лапандин В. Д., Берестовой А. М. Сварная конструкция защитной арматуры железнодорожных цистерн 54

Шарапов М. Г., Аверьянов А. А. Сварка на керамических подкладках 55

Коротынский А. Е., Махлин Н. М., Буряк В. Г., Кункин Д. Д. Универсальный датчик электрических параметров сварки 56

Новости 58

Патенты в области сварочного производства 59

По зарубежным журналам 61

ХРОНИКА

В Международном институте сварки 68

МГУ им. М. В. Ломоносова — 250 лет 69

Призеры конкурса «Интеллектуальный потенциал молодых ученых — городу Киеву» 70

Наши поздравления 71

Памяти П. П. Шейко 73

ИНФОРМАЦИЯ 74

Разработано в ИЭС 37, 44

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 3 (623)
March 2005

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

Published since 1948

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

Publisher: International Association «Welding»

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

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

Address:

The E. O. Paton Electric Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 227 63 02, 269 26 23
Fax: (38044) 268 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://www.nas.gov.ua/pwj>

Editors:

E. N. Kazarova, V. I. Kotlyar,
T. V. Yushchina
Electron galley:
I. S. Batasheva, A. I. Sulima,
I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Mazurovsky B. L., Zinigrad M. I., Leontiev L. I., Lisin V. L. Computerized designing of advanced welding consumables	3
Ponomarev V., Scotti A. Specifics of combined types of metal transfer in shielded-gas welding with a long arc	8
Bondarev A. A., Lozovskaya A. V., Shelenkov G. M. Effect of metallurgical heredity of semi-products from alloy AMTs on their brazeability	15
Arsenyuk V. V., Markashova L. I., Grigorenko G. M., Polovetsky E. V., Bugaets V. P. Peculiarities of formation of structure of titanium-steel joints under explosion welding conditions	21
Ivakhnenko A. G., Vervovkin M. E., Ivakhnenko G. A. Investigation of explosion welding process using a combinatorial algorithm of MGAA	28

INDUSTRIAL

Poznyakov V. D., Kasatkin S. B., Zhdanov S. L., Strizhak P. A. Specifics of repair of welded structures made from low-alloy steels (Review)	32
Ignatchenko P. V., Bugai A. I. About some tendencies in the development of production of welding consumables and raw components	38
Yavdoshchin I. R., Skorina N. V., Marchenko A. E., Vakolyuk Yu. D., Paltsevich A. P. New electrodes for welding carbon and low-alloy steels	42
Dmitrik V. V., Pritula S. I. Current-carrying nozzles from powdered materials for welding torches	45
Kornienko A. N., Zhadkevich A. M. Problem of quality of brazed joints and development of brazing alloys (Review)	48

BRIEF INFORMATION

Lapandin V. D., Berestovoy A. M. Welded design of stop valve system for railway tanks	54
Sharapov M. G., Averianov A. A. Welding on ceramic backings	55
Korotynsky A. E., Makhlin N. M., Buryak V. G., Kunkin D. D. Universal sensor of electric parameters of welding	56
News	58
Patents in the field of welding	59
Review of foreign journals	61

NEWS

At the International Institute of Welding	68
M. V. Lomonosov Moscow State University is 250	69
Prize winners of competition «Intellectual potential of young scientists — to Kiev city»	70
Our congratulations	71
In memory of P. P. Sheiko	73

INFORMATION

Developed at the PWI	37, 44
----------------------------	--------

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



КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. Л. МАЗУРОВСКИЙ, М. И. ЗИНИГРАД, доктора техн. наук

(Центр материаловедения, колледж Иудеи и Самарии, г. Ариэль, Израиль),

Л. И. ЛЕОНТЬЕВ, В. Л. ЛИСИН, доктора техн. наук (Ин-т металлургии Урал. филиала РАН, г. Екатеринбург, РФ)

Представлен новый подход к проектированию сварочно-наплавочных материалов, в основе которого лежит моделирование физико-химических процессов, протекающих на всех этапах формирования сварного шва и его взаимодействия с окружающей средой. Разработана феноменологическая модель неравновесной кристаллизации сварочной ванны и построена компьютеризированная система проектирования сварочных материалов. Приведен пример практической реализации нового метода проектирования сварочно-наплавочных материалов.

Ключевые слова: сварочные материалы, электродная формула, компьютеризированное проектирование, экспертная система, порошковые проволоки, натурные испытания

Сварочные материалы свою основную функцию — обеспечение необходимых прочностных характеристик и служебных свойств металла шва — выполняют через непосредственное участие их в сварочном процессе, характеризующемся протеканием сложных физико-химических взаимодействий. Описание структуры, конструкции, состава, функций и свойств сварочных материалов невозможно без учета этих взаимодействий, обеспечивающих трансформацию сварочного и основного материалов в наплавленный металл. На основании системного подхода необходимо структурировать проблему создания сварочных материалов, включающую разработку собственно рецептуры этого материала и технологию его изготовления. С этой целью следует проанализировать процессы, протекающие при плавлении сварочного материала и свариваемого металла и при формировании сварочной капли и сварочной ванны, процессы кристаллизации металлического расплава сварочной ванны, взаимодействия наплавленного металла с окружающей средой, а также служебные свойства наплавленного металла и самого сварочного материала.

Моделирование как основа методологии компьютеризированного проектирования. В результате применения системного подхода и структурного анализа к разработке сварочных материалов сформированы основные положения новой концепции [1, 2]. Она представляет собой логическую последовательность взаимосвязанных этапов проектирования новых сварочных материалов: анализ внешней среды, рабочего тела и характера нагружения рабочего тела; установление характера взаимодействия внешняя среда—рабочее тело; определение требуемой структуры металла шва; расчет первичной структуры и химического состава металла шва; определение электродной формулы специального сварочного (наплавочного) материала.

Подробный анализ основных положений предлагаемой концепции [1–4] определяет необходимость построения соответствующих моделей основных физико-химических процессов, протекающих на всех этапах формирования сварного шва [5, 6] и его взаимодействия с окружающей средой. В работах [1–4] показано, что эффективный метод разработки нового сварочного материала представляет собой решение обратной задачи, предполагающей нахождение рецептуры этого материала как функции служебных свойств металла шва. Наиболее важной проблемой новой методологии в плане определения электродной формулы нового сварочного материала является формирование представления о требуемой структуре металла шва в условиях его эксплуатации и расчет первичной структуры и химического состава наплавленного металла. Химический состав металла шва определяется исходными химическими составами присадочного материала и основного металла, а также характером физико-химических процессов взаимодействия расплавленного металла и шлака. Прогнозирование химического состава наплавленного металла основано на методе кинетического анализа реакций, одновременно протекающих в диффузионном режиме между металлическим и шлаковым расплавами [7]. При этом учитывается взаимное влияние реакций и диффузия всех реагентов в металле и шлаке. В результате для текущего и конечного составов металлического расплава, в соответствии с работой [8], имеем

$$[E_i]^\tau = \frac{v_d [E_i]_d \tau + v_{bm} [E_i]_{bm} \tau + 100M_{E_i} A_p \int_0^\tau v_{E_i} d\tau}{v_k \tau}, \quad (1)$$

где v_d, v_{bm} — скорость поступления соответственно электродного и основного металлов в сварочную ванну; τ — время существования жидкой сварочной ванны; $[E_i]_d, [E_i]_{bm}$ — содержание i -го элемента соответственно в электродном и основном металлах; M_{E_i} — молярная масса i -го элемента; A_p — площадь межфазного взаимодействия; v_{E_i} — скорость пере-



хода i -го элемента через границу металл – шлак; v_k — скорость кристаллизации сварочной ванны.

Таким образом, предложенный метод позволяет установить химический состав металлического расплава сварочной ванны, а именно: металла сварного шва. Этот химический состав является исходным для определения количественного и качественного состава фаз наплавленного металла. Дальнейшие превращения металлического расплава связаны с процессами первичной и вторичной кристаллизации — фазовыми превращениями в многокомпонентном сплаве. Исходя из химического состава жидкого металлического расплава сварочной ванны рассмотрим процесс первичной кристаллизации. Из теории сварочных процессов [5] известно, что кристаллизация сварочной ванны протекает в крайне неравновесных условиях при отсутствии конвективного перемешивания металла в «хвосте» сварочной ванны, т. е. у фронта кристаллизации. Поэтому процесс распределения компонентов между жидкой и твердой фазами «контролируется» только диффузией. Другим важным фактором, влияющим на распределение компонентов, является концентрационное уплотнение у фронта кристаллизации. Вследствие наличия этих факторов возникает кристаллизационное переохлаждение, которое совместно с термическим определяет циклический характер кристаллизации сварочной ванны и химическую неоднородность кристаллизующегося металла шва [5, 6, 9]. В любой момент времени кристаллизации сварочной ванны количество i -го компонента, перешедшего из жидкой фазы в твердую, может быть определено как [5, 9]

$$E_i^{(s)} = E_i^0 \left[1 - (1 - K_{ef}) \exp \left(- \frac{L^t v_k}{D_i^{(l)}} \right) \right], \quad (2)$$

где $E_i^{(s)}$ — содержание i -го компонента в твердой фазе на момент времени кристаллизации t ; E_i^0 — исходная средняя концентрация i -го компонента в расплаве; K_{ef} — эффективный коэффициент распределения; L^t — расстояние от точки начала кристаллизации (длина кристаллита на момент времени кристаллизации t); $D_i^{(l)}$ — коэффициент диффузии i -го компонента в расплаве.

Определив содержание i -го компонента в твердой фазе на момент времени кристаллизации t , нельзя определить его распределение между аустенитом и упрочняющими фазами, которые образуются в момент кристаллизации. В большинстве случаев имеем один твердый раствор в закристаллизовавшемся металле шва — аустенит и несколько фаз первичных карбидов. Нам необходимо знать распределение i -го компонента между твердым раствором и этими фазами. Факторы, влияющие на карбидообразование, можно разделить на две группы: физико-химические, определяющие природу самого процесса карбидообразования, и технологические, влияющие на процесс карбидообразования через изменение параметров первой группы. В работах [10, 11] на основе подробного

физико-химического анализа процесса образования первичных карбидов как соединений углерода с d -металлами с привлечением квантово-химических понятий об электронном строении d -металлов и первичных карбидов сформулированы принципы карбидообразования в железоуглеродистом легированном наплавленном металле. В данных работах утверждается, что содержание потраченного на образование карбида i -го d -металла прямо пропорционально атомному радиусу этого металла R_i и обратно пропорционально количеству электронов на d -подуровне d_i этого металла. Вводится понятие абсолютная карбидообразующая способность i -го d -металла Θ_i :

$$\Theta_i = \frac{R_i}{d_i}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что способность карбидообразования возрастает в ряду железа, марганца, хрома, молибдена, вольфрама, ниобия, ванадия, тантала, титана, циркония, гафния, что хорошо согласуется с результатами исследований [12–15]. Распределение легирующих элементов и углерода между жидкой и твердой фазами определяется выражением (2). В момент кристаллизации происходит бездиффузионный распад пересыщенного твердого раствора на аустенит и карбидные фазы. Количество углерода, связанного каким-либо карбидообразующим элементом, будет определяться стехиометрией соединения Me_xC_y и может быть найдено из следующего выражения:

$$E_C^{(c)} = E_i^{(c)} \frac{yA_C}{xA_i}, \quad (4)$$

где x, y — стехиометрические коэффициенты; A_C, A_i — атомные массы соответственно углерода и карбидообразующего элемента; $E_i^{(c)}$ — содержание карбидообразующего элемента в карбидной фазе. Логично предположить, что на карбидообразование затрачивается только та часть легирующих элементов и углерода, которая не растворяется в аустените при данной температуре:

$$E_C^{(c)t_k} = E_C^{(s)t_k} - E_C^{(lim)t_k}, \quad (5)$$

где $E_C^{(c)t_k}$ — содержание углерода, нерастворенного в аустените; $E_C^{(s)t_k}$ — содержание углерода на момент времени кристаллизации, определенное из выражения (2); $E_C^{(lim)t_k}$ — предел растворимости углерода в аустените при данной температуре кристаллизации на момент времени t_k . При этом распределение углерода между карбидными фазами в сплаве будет пропорционально относительной карбидообразующей способности соответствующе-

го переходного элемента $\Theta_i / \sum_{i=1}^n \Theta_i$, и его атомной концентрации a_i в сплаве. Из этого становится ясно, что коэффициент пропорциональности для i -го карбидообразующего элемента составляет



$$\eta_i = \frac{1}{2} \left(\frac{a_i}{100} + \frac{\Theta_i}{n \sum_{i=1}^n \Theta_i} \right) \quad (6)$$

Тогда содержание i -го карбидообразующего элемента (здесь и далее мас. %) в этой карбидной фазе к моменту времени t_k можно определить как

$$E_i^{(c)t_k} = \eta_i E_C^{(c)t_k} \frac{x A_i}{y A_C} \quad (7)$$

Следовательно, содержание i -го карбидообразующего элемента, растворенного в аустените на момент времени t_k , равно

$$E_i^{(a)t_k} = E_i^{(s)t_k} - E_i^{(c)t_k} \quad (8)$$

Содержание карбидов, образовавшихся за время t_k , складывается из содержания углерода и суммарного содержания карбидообразующих элементов, потраченных на карбидообразование:

$$Q_k^{t_k} = E_C^{(c)t_k} + \sum_{i=1}^n E_i^{(c)t_k} \quad (9)$$

В следующий промежуток времени t_{k+1} состав аустенита и карбидных фаз будет иным. Расчет повторяется z раз ($z = t_{rc} / t_k$, где t_{rc} — длительность охлаждения, определяемая параметрами термомодеформационного цикла сварки в зависимости от принятой схемы процесса [5, 6]). Суммарное содержание карбидов к концу периода первичной кристаллизации t_{rc} составляет

$$Q^J = \sum_{k=1}^z Q_k^{t_k} \quad (10)$$

Тогда содержание аустенита

$$S^{(a)} = 100 \% - Q^J \quad (11)$$

Среднее содержание углерода и легирующих элементов в аустените может быть найдено как

$$E_C^{(a)} = \frac{\sum_{k=1}^z E_C^{t_k}}{z S^{(a)}} 100 \%, \quad E_i^{(a)} = \frac{\sum_{k=1}^z E_i^{t_k}}{z S^{(a)}} 100 \% \quad (12)$$

Таким образом, к окончанию процесса первичной кристаллизации становятся известны средний химический состав аустенита, а также количественный и качественный состав карбидных фаз в разных зонах сварного шва. При вторичной кристаллизации в процессе охлаждения происходит диффузионное выравнивание состава металла шва, вплоть до состава, определенного выражением (12), и частичная коагуляция первичных карбидов по границам зерен. При достижении температуры предельной растворимости углерода и легирующих элементов в аустените происходит спиноидальный распад аустенита и распределение углерода между карбидными фазами пропорционально карбидооб-

разующей способности данного карбидообразующего элемента. По аналогии с (7) можно записать

$$E_i^{(c)} = \sum_{j=1}^k w_j \eta_j E_C^{(d)} \frac{x A_i}{y A_C} \quad (13)$$

где w_j — доля углерода в j -й карбидной фазе в общем количестве углерода, потраченном на образование карбидов i -го легирующего элемента; $E_C^{(d)}$ — содержание углерода в продуктах распада аустенита [10]; η_j — коэффициент, определяемый из выражения (6). Тогда содержание карбидообразующего элемента и углерода, растворенных в матрице, вычисляется как

$$E_i^{(b)} = E_i^{(a)} - E_i^{(c)} \quad (14)$$

$$E_C^{(b)} = E_C^{(a)} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k w_j \eta_j E_i^{(c)} \frac{y A_C}{x A_i} \quad (15)$$

Содержание карбидных фаз, образовавшихся в результате вторичной кристаллизации составляет

$$Q^{II} = E_C^{(a)} - E_C^{(b)} + \sum_{i=1}^n E_i^{(c)} \quad (16)$$

общее содержание карбидных фаз в металле шва:

$$Q_{Hd} = Q^J + Q^{II} \quad (17)$$

Содержание матрицы в наплавленном металле составляет

$$S^{(b)} = 100 \% - Q_{Hd} \quad (18)$$

Содержание углерода и легирующих элементов в матрице равно

$$E_C^b = \frac{E_C^{(b)}}{S^{(b)}} 100 \%; \quad E_i^b = \frac{E_i^{(b)}}{S^{(b)}} 100 \% \quad (19)$$

Полученные выражения (1)–(19) представляют собой феноменологическую модель процесса неравновесной кристаллизации сварочной ванны и формирования металла шва (наплавленного металла). В результате получено феноменологическое представление о процессах неравновесной кристаллизации металла шва широкого диапазона легирования, что позволяет прогнозировать фазоструктурный состав наплавленного металла.

Разработка системы компьютеризированного проектирования новых материалов для сварки и наплавки. На основании уравнений (1)–(19) и формализованного описания новой структурной диаграммы матрицы наплавленного металла [2, 16] представлен аналитический метод расчета фазоструктурного состава металла шва. Разработанный аналитический метод расчета химического и фазоструктурного состава металла шва служит основой для разработки замкнутого алгоритма и автоматизированной системы проектирования современных сварочно-наплавочных материалов. Создание такой системы с должным уровнем орга-



низации и автоматизации проектных решений возможно только на основе системного подхода, объектом анализа которого является сам процесс проектирования. Системный подход является лишь инструментом разработки методологии, т. е. средством структурирования проблемы, установления связей, приоритетов, структуризации данных и пр. Базирующаяся на таком подходе методология разработки современных сварочных материалов является замкнутой системой с глубоким охватом обратными связями, что обеспечивает структуризацию задачи по представлению заказчика, формирование на ее основе пакетов данных, инструкций и правил и оформление их в виде постановки задачи для экспертной системы, решение задачи в режиме диалога проектировщика (эксперта) с экспертной системой, формирование решения в виде состава, структуры и свойств наплавленного металла, электрической формулы сварочного материала, обеспечивающего получение прогнозируемого наплавленного металла и параметров процесса сварки (наплавки).

На основе структурного анализа и разработанного аналитического метода сформирован алгоритм проектирования, который представляет собой последовательность этапов проектирования с набором инструкций и правил для каждого этапа [1–4]. Автоматизация процесса проектирования осуществлена в рамках создания специальной системы, состоящей из комплекса средств, включающих методическое, лингвистическое, математическое, программное, техническое, информационное и организационное обеспечение. Система автоматизиро-

ванного проектирования (САПР) состоит из нескольких подсистем, которые решают разные задачи. Главной из них в нашем случае является экспертная система как основной инструмент проектирования. Разработанная САПР современных сварочных материалов является открытой системой индивидуального пользования. Она управляется и поддерживается непосредственно разработчиком сварочных материалов [1–4]. Благодаря своей «открытости» такая система обеспечивает возможность постоянного обновления баз знаний и данных по мере совершенствования и развития знаний об объекте проектирования и окружающей среде, а также модернизацию систем управления этими базами. Система позволяет значительно сократить сроки разработки сварочных и наплавочных материалов для производства сложных сварных металлоконструкций и многофункциональных наплавочек.

Практическая реализация концепции создания современных сварочных материалов. В рамках нового подхода осуществлено проектирование партии порошковых наплавочных проволок для наплавки стенок бункера загрузочного устройства из стали 1501 Gr. 161-400, 151-400 (BS United Kingdom), работающего в условиях ударно-абразивного износа, который возникает под воздействием химически неагрессивного сыпучего материала. На основании данных о характере взаимодействия внешняя среда–рабочее тело можно заключить, что специальный сварочный материал должен обеспечить формирование наплавленного металла, имеющего базовую структуру (структуру матрицы) мелкоигольчатого или игольчатого мартенсита и метастабильного аустенита (30...50 мас. %) с равномерно-распределенными в ней карбидами (5...15 мас. %). Метастабильный аустенит при интенсивном ударном нагружении, поглощая часть энергии удара, переходит в мартенсит, упрочняющий наплавленный металл и повышающий его износостойкость. После формирования представления о требуемой (вторичной) структуре наплавленного металла можно переходить к расчету первичной структуры и химического состава металла шва. Расчет представляет собой решение обратной задачи, когда входными параметрами является вторичная структура металла шва и значения параметров термомеханического цикла сварки. Результаты расчета химического состава и структуры наплавленного металла четырех проектируемых сварочных материалов на основе железа приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Химический состав наплавленного металла исследуемых образцов

Обозначение образца	Массовая доля элементов, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ti
RI 1/01.7	1,58	0,680	0,360	8,54	3,61
	1,40	0,550	0,420	8,50	3,35
RI 1/11.2	1,62	0,700	0,380	6,89	3,60
	1,80	0,290	0,440	6,63	2,64
RI 1/08.3	1,31	0,530	0,380	7,87	2,56
	1,50	0,600	0,360	8,15	2,10
RI 1/10.1	1,32	0,704	1,110	7,93	2,62
	1,40	0,537	0,607	5,62	2,28

Примечание. В числителе приведено расчетное содержание элементов, в знаменателе — экспериментальное.

Таблица 2. Структура и свойства наплавленного металла

Обозначение образца	Структурные составляющие, мас. %			Твердость HRC	Упрочнение при нагружении ΔHRC
	мартенсит	аустенит	карбидная фаза		
RI 1/01.7	55,52	33,97	10,47	56,16	+(3...4)
	основа	36,00	12,00	56,0...57,0	+4
RI 1/11.2	44,94	45,29	9,74	46,19	+(4...5)
	43,00	47,00	10,00	46,0...50,0	+6
RI 1/08.3	77,12	13,65	9,20	56,39	+(2...3)
	основа	11,00	8,00	54,0...56,0	+3
RI 1/10.1	81,16	9,76	9,05	57,23	+(2...3)
	основа	8,00	8,00	55,0...58,0	+2

На основании полученных данных о требуемой первичной структуре и химическом составе наплавленного металла можно опередить электродные формулы проектируемых специальных сварочных материалов. Расчет осуществляется в интерактивном режиме оператор–экспертная система. Основой расчета является пакет прикладных программ, разработанный на базе математической модели технологического процесса сварки [7, 8] и феноменологической модели первичной неравновесной кристаллизации металла шва, разработанной в рамках данной работы и в [10, 16]. Полученные результаты прове-



рены с помощью расчета, который представляет собой решение прямой задачи. После изготовления опытной партии специализированных сварочных материалов в соответствии с технологическими требованиями и проведения трехслойной наплавки на изделие-представитель (вертикальный лист толщиной 16 мм из стали 1501 Gr. 161-400, 151-400 (BS United Kingdom)) на рекомендуемых режимах произведена вырезка образцов. Затем их подвергали комплексу натуральных испытаний и исследований, результаты которых представлены в табл. 1, 2.

На основе анализа результатов исследований и проведенных натуральных испытаний установлено, что для нанесения защитного покрытия могут быть применены все разработанные материалы, поскольку они отличаются показателями против износа и ударного нагружения, значительно (в 5...6 раз) превышающими аналогичные показатели стали 1501 Gr. 161-400, 151-400 (BS United Kingdom).

Оценку адекватности модели проводили на основе сравнения результатов проектного решения и полученных в процессе испытаний. Как следует из приведенных данных, расхождение между ними в основном не превышает 20 %, что указывает на высокую адекватность разработанной феноменологической модели реальному процессу неравновесной кристаллизации металлического расплава сварочной ванны.

Разработанные материалы отличаются хорошими сварочно-технологическими и служебными свойствами.

Выводы

1. Сформирован новый подход к разработке и проектированию сварочных материалов. Эффективный метод разработки нового сварочного материала представляет собой решение обратной задачи, предполагающей нахождение электродной формулы этого материала как функции служебных свойств металла шва.

2. Разработана САПР сварочных материалов, базирующаяся на экспертной системе, которая оперирует систематизированными знаниями, учитывающими феноменологическую модель неравновесной кристаллизации сварочной ванны. Указанная САПР организована как открытая система индивидуального пользования с возможностью постоянного обновления и дополнения баз данных и знаний по мере их накопления и развития.

3. С помощью разработанной САПР сварочных материалов спроектированы наплавочные порошковые проволоки для нанесения на низкоуглеродистые и низколегированные стали защитного покрытия, устойчивого в условиях ударно-абразивного износа. На основе результатов проектирования изготовлена опытная партия порошковых проволок

и проведена наплавка образцов на режимах с расчетными параметрами.

4. Проведенные натурные испытания и комплекс исследований наплавленных слоев, а также анализ и обработка полученных результатов с целью проверки адекватности модели показали высокую сходимость экспериментальных данных с результатами проектирования.

1. *New approach to welding materials design* / V. Mazurovsky, M. Zinigrad, A. Zinigrad et al. // Proc. of the Bi-national Israeli-Russian workshop. — Jerusalem, 2003. — P. 144-154.
2. *Mazurovsky V., Zinigrad M., Zinigrad A. Development of a computer-aided method for designing welding materials* // Proc. of the Second intern. conf. on mathematical modeling and computer simulation of metal technologies. — Ariel, 2002. — P. 2/29-2/37.
3. *Mazurovsky V., Zinigrad M., Zinigrad A. Novel method of welding materials design* // Proc. of the Intern. conf. mathematical modeling and simulation of metal technologies. — Ariel, 2000. — P. 201-206.
4. *Mazurovsky V., Zinigrad M., Zinigrad A. Novel computer-aided method of welding materials design* // Proc. of the 11th intern. conf. on computer technology in welding. — Columbus, 2001. — P. 273-280.
5. *Теория сварочных процессов* / В. Н. Волченко, В. М. Ямпольский, В. А. Винокуров и др. / Под ред. В. В. Фролова. — М.: Высш. шк., 1988. — 559 с.
6. *Сварка в машиностроении: Справочник* / Под ред. Н. А. Ольшанского. — М.: Машиностроение, 1978. — Т. 1. — 501 с.
7. *Бороженков В., Шанцуров С., Зиниград М.* Кинетика взаимодействия многокомпонентного металла со шлаком в диффузионном режиме // Изв. АН СССР. Металлы. — 1979. — № 6. — С. 21-27.
8. *Zinigrad M., Mazurovsky V.* Development of new welding materials on the base of mathematical modeling of metallurgical processes. — Pt. 1, 2: Phase interaction analysis and development of the basic model: Proc. of the Bi-national Russia-Israel workshop. — Ekaterinburg, 2002. — P. 277-291.
9. *Космическое материаловедение. Введение в научные основы космической технологии* / Под ред. Б. Фойербахера, Г. Хамахера, Р. Й. Наумана. — М.: Мир, 1989. — 478 с.
10. *The phenomenological model of non-equilibrium crystallization and strengthening-phase-formation processes in the weld* / V. Mazurovsky, M. Zinigrad, A. Zinigrad et al. // Proc. of the Bi-national Israeli-Russian workshop. — Jerusalem, 2003. — P. 155-167.
11. *Мазуровский В. Л., Зиниград М. И., Леонтьев Л. И.* Моделирование превращений в металлическом расплаве сварочной ванны // Расплавы. — 2003. — № 3. — С. 85-94.
12. *Гуляев А. П.* Металловедение. — М.: Металлургия, 1977. — 648 с.
13. *Oyama S. T.* The chemistry of transition metal carbides and nitrides. — London: Blackie Academic and Professional, 1996. — 1 p.
14. *Hugosson Hakan W.* Theoretical studies of phase stabilities and electronic structure in molybdenum carbide. Licentiate Thesis in Physics. — Uppsala: Department of Physics Uppsala University, 1999. — Chap. 7. — P. 43-46.
15. *Transition metals and their carbides and nitrides: Trends in electronic and structural properties* / J. C. Grossman, A. Mizel, M. Cote et al. // Physical Rev. B. — 1975. — **60**, № 9/PRB 60. — P. 6343-6347.
16. *Mazurovsky V., Zinigrad M., Zinigrad A.* Mathematical representation of a modified Schaeffler diagram // Proc. of the Second intern. conf. on mathematical modeling and computer simulation of metal technologies. — Ariel, 2002. — P. 3/129-3/139.

The paper presents a new approach to design of welding-surfacing materials, which is based on simulation of physico-chemical processes, running at all the stages of weld formation and its interaction with the environment. A phenomenological model of non-equilibrium solidification of the weld pool has been developed, and a CAD system for welding consumables has been designed. An example is given of practical implementation of a new method of welding-surfacing material design.

Поступила в редакцию 27.09.2004



ОСОБЕННОСТИ СМЕШАННЫХ ТИПОВ ПЕРЕНОСА МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ ДЛИННОЙ ДУГОЙ

В. ПОНОМАРЕВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. СКОТТИ, д-р-инж. (Федеральный ун-т, г. Уберландия, Бразилия)

Проанализирована взаимосвязь вероятности появления смешанных типов переноса металла с динамическими характеристиками источника питания. Наблюдения за характером формирования и перехода капель осуществлялись с помощью установки, состоящей из лазера и высокоскоростной цифровой видеокамеры, при синхронной регистрации кривых напряжения дуги и тока сварки. Показано, что и в условиях сварки без коротких замыканий регулировка скоростей нарастания и снижения тока может существенно влиять на характер формирования и переноса капель и вызывать появление смешанных типов переноса металла.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, защитный газ, перенос металла, физика дуги, источники питания

При смешанном типе переноса металла происходит периодическая смена одного типа другим (например, переноса с короткими замыканиями на мелкокапельный). Смешанный тип переноса металла обычно является нежелательным. В настоящей работе проанализирована взаимосвязь вероятности появления смешанных типов переноса металла и скорости изменения тока di/dt . Показано, что и в условиях сварки без коротких замыканий регулировка этого параметра может повлиять на характер формирования и переноса капель, трансформируя, например, крупно-, мелкокапельный и струйный в следующие типы смешанного переноса: крупнокапельный–мелкокапельный; крупнокапельный–струйный; крупнокапельный–короткое замыкание–струйный; мелкокапельный–струйный. Полученные результаты имеют теоретическое и практическое значение и могут быть использованы при выборе динамических параметров источника питания, оптимальных для данных условий сварки.

Наблюдения за характером формирования и переходом капель осуществляли на установке, состоящей из лазера и высокоскоростной цифровой видеокамеры, при синхронной регистрации кривых напряжения дуги и тока сварки с помощью измерительной системы на базе персонального компьютера [1]. Для оценки стабильности (меры рассеяния значений) напряжения дуги U_d и тока сварки $I_{св}$ использовали коэффициенты вариации этих параметров K_U и K_I . В экспериментах применяли низкоуглеродистую электродную проволоку диаметром 1,0 мм. Вылет электрода поддерживали равным 18 мм. В качестве защитной атмосферы использовали смеси на основе аргона: $Ar + 5\% O_2$ и $Ar + 2\% O_2$. Скорость сварки $v_{св}$ составляла 30...36 см/мин.

Рассмотрим случай преобразования обычного типа переноса в смешанный, когда ток сварки поддерживается неизменным, например, при использовании источника питания со штыковой внешней вольт-амперной характеристикой (ВВАХ) (рис. 1). Сварка производилась на следующем режиме: $U_d = 26,1$ В; $K_U = 2,3\%$; $I_{св} = 166$ А; $K_I = 0,6\%$; защитная атмосфера $Ar + 5\% O_2$. В этом случае наблюдается типично крупнокапельный перенос

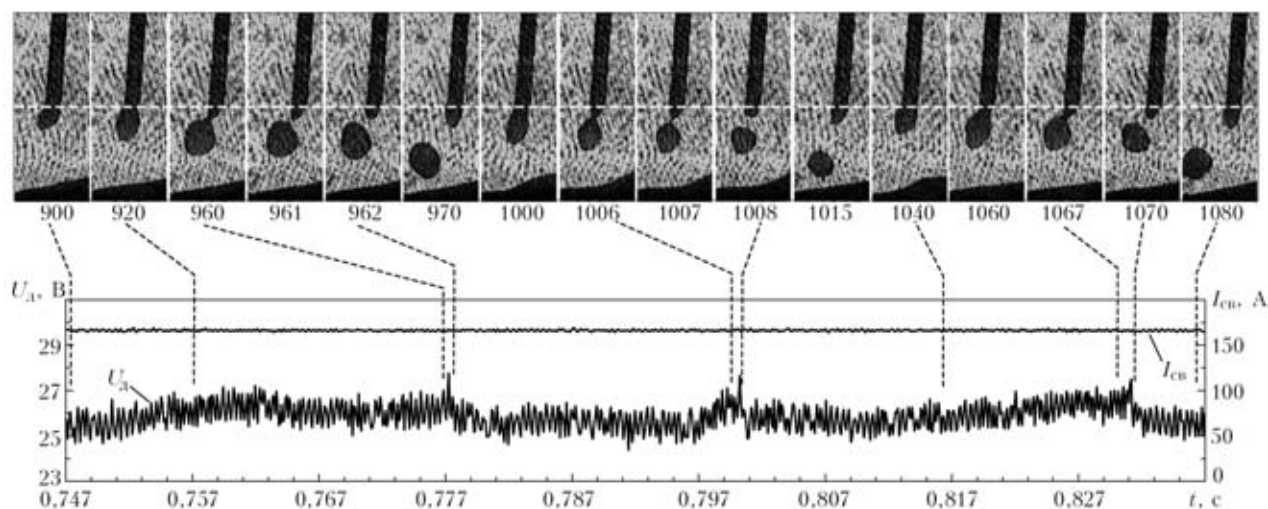


Рис. 1. Крупнокапельный перенос металла при использовании электронного источника питания со штыковой ВВАХ

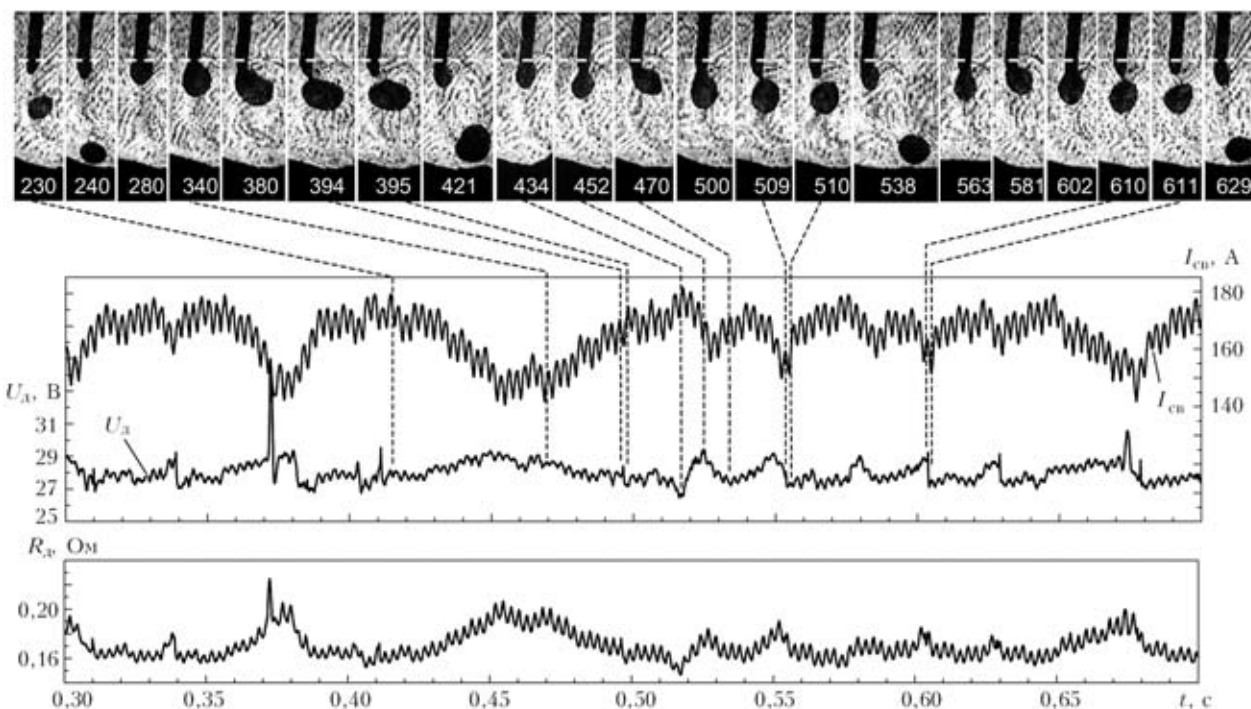


Рис. 2. Крупнокапельный перенос металла при использовании источника питания электромагнитной системы с жесткой ВВАХ и повышенной индуктивностью

металла. Капля растет, замещая собой дуговой промежуток и, следовательно, повышая общее электрическое сопротивление R_d на участке сварочной цепи «вылет электрода — капля — дуга» [2]. Из рис. 1 видно, что измеряемое напряжение дуги слегка повышается (на 1...1,5 В) по мере роста капли и падает после ее отрыва от торца электрода, который (без учета капли) при этом не перемещается, т. е. находится на одном и том же уровне. Этот результат показывает, что скорость оплавления торца проволоки не меняется в процессе роста капли, или, другими словами, размер капли не отражается на темпе оплавления торца электрода, скорость оплавления которого зависит прежде всего от тока сварки.

Крупнокапельный перенос металла сохраняет практически те же характеристики и в случае использования источника питания с жесткой ВВАХ, но при условии ограничения диапазона отклонений тока сварки, вызванных изменением электрического сопротивление R_d (рис. 2). Использовали следующий режим сварки: $U_d = 28,0$ В; $K_U = 2,1$ %; скорость подачи электродной проволоки $v_{п.пр} = 5,7$ м/мин; $I_{св} = 164,7$ А; $K_I = 4,5$ %; $di/dt = 20...30$ А/(м·с), диапазон изменения тока сварки не превышал 30 А, защитная атмосфера $Ar + 5\% O_2$.

Если ток сварки не ограничен в определенных пределах, он может периодически превышать критический ток, вызывая формирование мелких капель. Таким образом, крупнокапельный перенос металла может трансформироваться в один из типов смешанного (например, в крупнокапельный–мелкокапельный (рис. 3). В приведенном случае диапазон отклонений тока сварки достигал 70 А, что связано с динамическими характеристиками источника питания, а именно: более высокими зна-

чениями di/dt — примерно 34...40 А/(м·с). Режим сварки с использованием электронного источника питания с жесткой ВВАХ был следующим: $U_d = 27,9$ В; $K_U = 4,5$ %; $v_{п.пр} = 6,3$ м/мин; $I_{св} = 166,3$ А; $K_I = 13,7$ %; защитная атмосфера $Ar + 5\% O_2$.

В соответствии с принципом саморегулирования дуги источник питания должен реагировать на изменения электрического сопротивления в сварочной цепи, соответствующим образом повышая или понижая ток сварки. Однако такая реакция источника питания не должна быть чрезмерной. Кроме того, процесс сварки МИГ/МАГ обладает и другими механизмами саморегулирования, которые способствуют возвращению процесса сварки в заданные условия. Например, даже при использовании источника питания со штыковой ВВАХ процесс сварки МИГ/МАГ имеет возможность поддержания определенной длины дуги L_d благодаря тому, что эффективность расплавления электродной проволоки повышается по мере уменьшения длины дуги (рис. 4). Это происходит в результате повышения выделения тепла на более длинном вылете электрода, а также из-за снижения потерь тепла на излучение при более короткой дуге (источник тепла становится более концентрированным). При изменении скорости подачи электродной проволоки дуга автоматически устанавливается такой длины, чтобы между скоростью $v_{п.пр}$ и скоростью расплавления проволоки установилось равновесие. В данном случае это происходит в условиях стабильного тока, так как использован источник питания со штыковой ВВАХ, однако длительность переходного периода при таком типе саморегулирования длины дуги довольно велика (0,5...1,0 с). На рис. 4 приведены значения скорости оплавления торца электрода (которая ав-

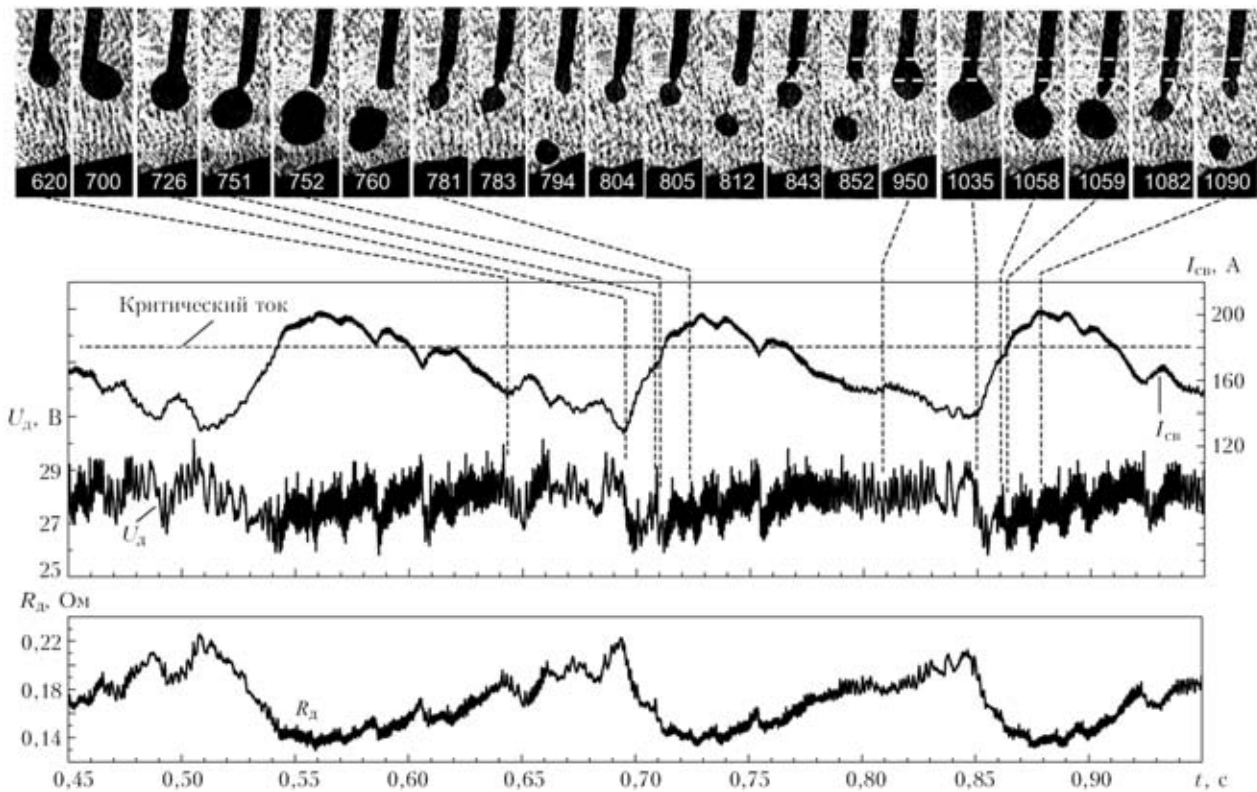


Рис. 3. Смешанный крупнокапельный-мелкокапельный перенос металла

томатически устанавливалась равной скорости подачи проволоки) и соответствующей ей длины дуги (вылет электрода 20 мм, защитная атмосфера Ag + 2 % O₂).

Таким образом, при крупнокапельном переносе металла лучшая стабильность длины дуги обеспечивается при ограничении колебания тока сварки (см. рис. 2) или, даже если он остается неизменным, вопреки изменениям электрического сопротивления на участке сварочной цепи «вылет электрода-капля-дуга», вызываемым ростом и отделением капли электродного металла. В противном случае ток сварки может достигать слишком высоких значений и интенсивно расплавлять торец электрода, порождая мелкокапельный перенос металла, или снижаться до очень низких значений, замедляя расплавление электродной проволоки и вызывая сокращение дугового промежутка вплоть

до касания капель поверхности ванны (рис. 5, 6). В результате стабильность процесса сварки падает. Наиболее часто это имеет место при использовании электронных источников питания, в которых скорость нарастания и снижения тока может быть отрегулирована в чрезмерно широком диапазоне (рис. 3, 5, 6). Эта проблема усиливается также при переносе металла очень крупными каплями (вызванными, например, типом применяемой защитной атмосферы), как это имело место в случаях, показанных на рис. 5 и 6, когда применялась защитная смесь со слишком малым содержанием такого поверхностно-активного элемента как кислород.

Результаты, представленные на рис. 1–6, позволяют выявить главные причины наблюдаемых изменений электрического сопротивления на участ-

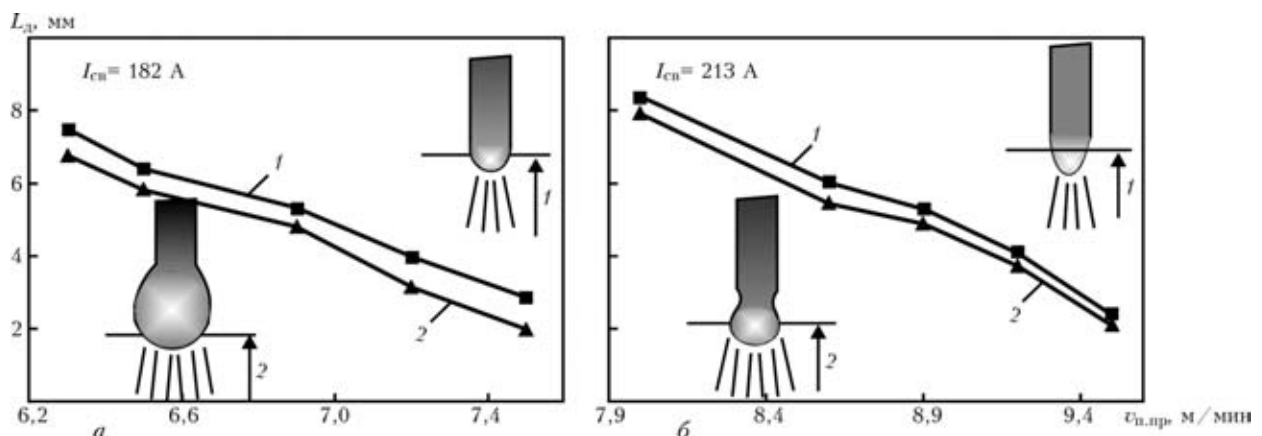


Рис. 4. Влияние длины дуги на скорость оплавления торца электрода при использовании источника питания со штыковой ВВАХ: а – крупнокапельный; б – мелкокапельный перенос металла; 1 – измерение после отделения капли; 2 – измерение в произвольный момент времени

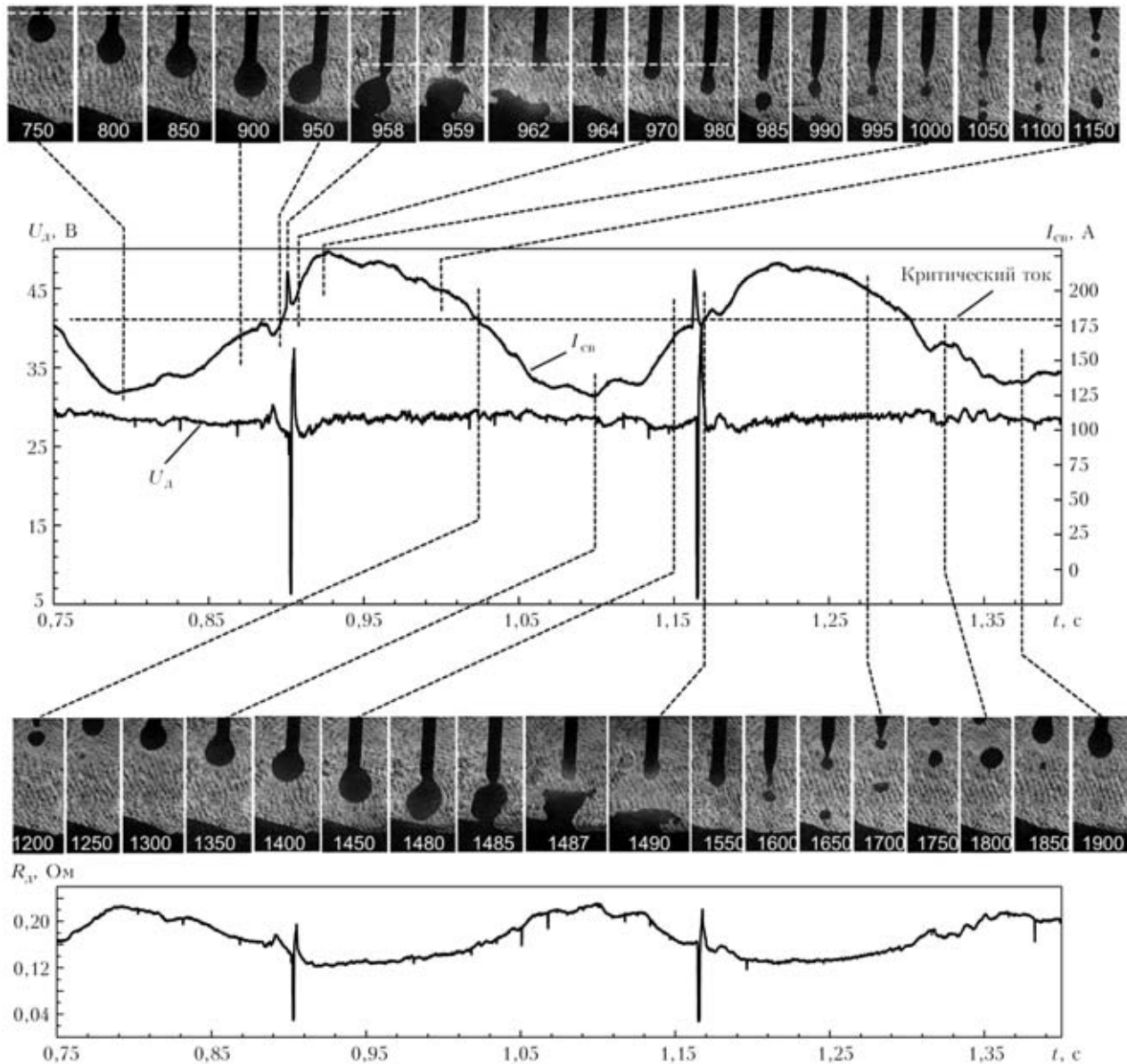


Рис. 5. Смешанный крупнокапельный–короткое замыкание–струйный перенос металла с использованием электронного источника питания с жесткой ВВАХ ($U_d = 28,4$ В; $K_U = 6,0$ %; $v_{н.пр} = 6,5$ м/мин; $I_{св} = 176,6$ А; $K_I = 19,2$ %; защитная атмосфера $Ar + 2$ % O_2 ; $di/dt = 40...45$ А/(м·с)

в сварочной цепи «вылет электрода–капля–дуга» при формировании и отделении капля электродного металла. Как видно, кривые тока $I_{св}$ и электрического сопротивления R_d являются зеркально симметричными. Это объясняется тем, что уровень тока сварки меняется в зависимости от значения сопротивления сварочной цепи (при увеличении сопротивления ток падает, и наоборот). Из рисунков видно, что кривая сопротивления не синхронизирована ни с фазой роста капли и соответствующего сокращения дугового промежутка, ни с фазой удлинения дуги после отделения капли от торца электрода. Например, она может прекратить возрастать в середине фазы роста капли и начать снижаться (рис. 5, кадр 750), а также может продолжать падать после отделения капли вопреки росту дугового промежутка (рис. 5, кадры 958... 1000).

Наблюдаемые изменения электрического сопротивления на участке сварочной цепи «вылет электрода–капля–дуга» (рис. 7) являются реальными фактами. Физические процессы, протекающие на этом участке, следующие:

рост размеров капли до ее отделения от торца электрода. Как показано в [2], удельное электрическое сопротивление капли на единицу ее длины примерно в 1,5 раза выше, чем в столбе дуги и в 10...15 раз выше, чем на вылете электрода. Таким образом, становится очевидным, что по мере того, как капля во время фазы роста замещает собой столб дуги, сопротивление R_d должно возрастать;

из-за колебаний тока сварки происходит изменение скорости оплавления торца электрода и соответственно меняется вылет электрода и его электрическое сопротивление. Изменения вылета, как правило, сопровождаются адекватными изме-

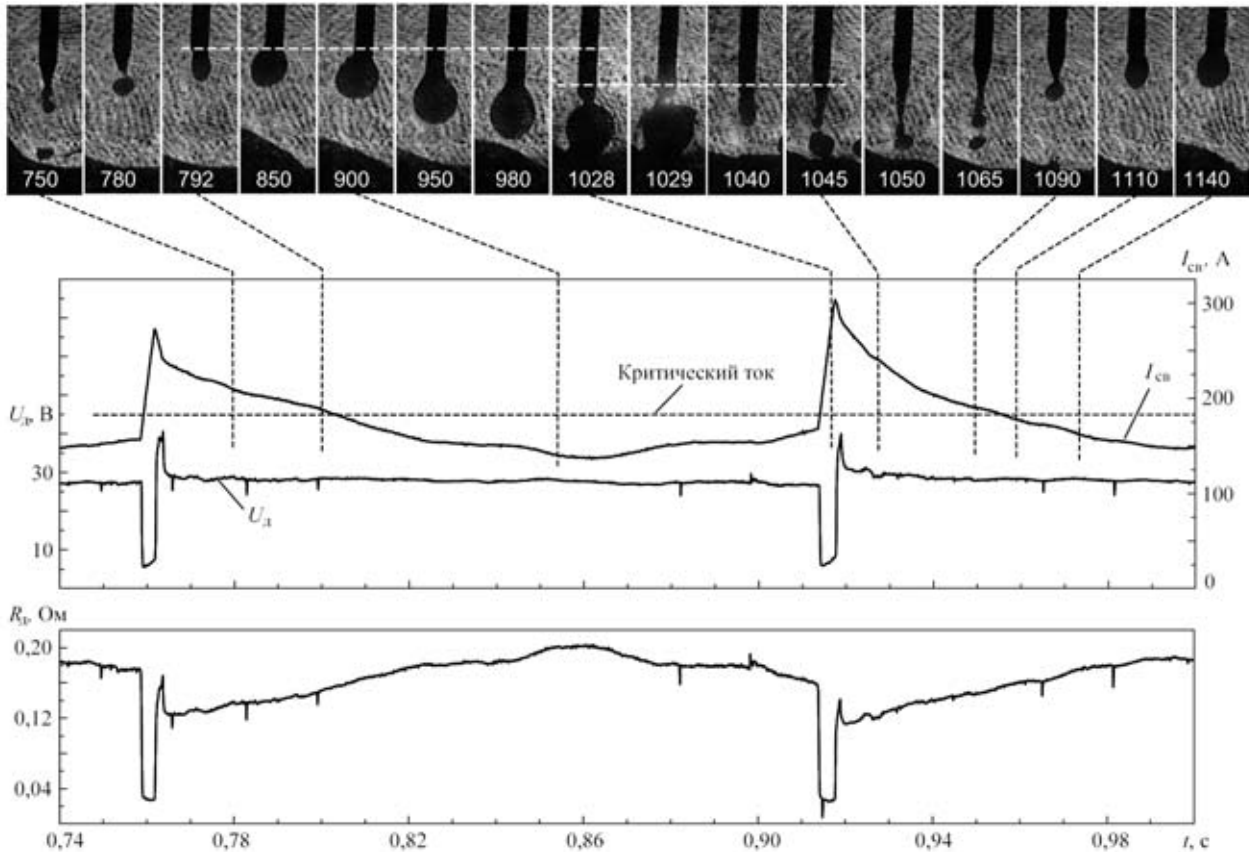


Рис. 6. Смешанный крупнокапельный–короткое замыкание–струйный перенос металла с длительными короткими замыканиями с использованием электронного источника питания с жесткой ВВАХ ($U_d = 27,5$ В; $K_U = 12,4$ %; $v_{н.п.р} = 6,5$ м/мин; $I_{св} = 168,6$ А; $K_I = 21,8$ %; защитная атмосфера – Ar + 2 % O₂; $di/dt = 38...43$ А/(м·с)

нениями длины столба дуги (чем больше вылет, тем короче дуга, и наоборот). В связи с тем, что удельное электрическое сопротивление вылета значительно ниже, чем столба дуги, колебания его длины также будут вызывать изменения электри-

ческого сопротивления на участке цепи «вылет электрода–капля–дуга»;

колебания тока вызывают изменения электрического сопротивления анодной и катодной областей, а также удельного сопротивления столба дуги. Они являются нелинейными сопротивлениями, которые при повышении тока уменьшаются.

Принимая во внимание описанные выше физические процессы, имеющие место при формировании капли на торце электрода, можно объяснить наблюдаемый при этом характер изменения полного электрического сопротивления на участке цепи «вылет электрода–капля–дуга» (рис. 8). Рассмотрим особенности протекания этих процессов в моменты, соответствующие кадрам кинограммы 750, 900, 1000 и 1150. Для удобства анализа на данном рисунке приведены соответствующие схемы замещения со значениями электрического сопротивления вылета, капли, столба дуги и анодной и катодной областей в относительных единицах (т. е. пригодными только для сравнения сопротивлений различных компонентов цепи между собой).

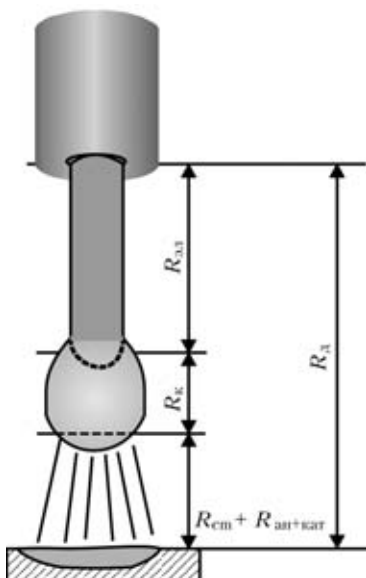


Рис. 7. Схема составляющих электрического сопротивления на участке сварочной цепи «вылет электрода–капля–анодная и катодная области–столб дуги» ($R_{эл}$ – сопротивление вылета электрода; R_k – капли; $R_{ст}$ – столба дуги; $R_{ан+кат}$ – анодной и катодной областей)

В момент, соответствующий кадру 750, полное сопротивление этого участка цепи максимально. Это обусловлено тем, что как капля, так и длина дуги достигли практически максимальных размеров. При этом ток сварки падает до наименьших значений, вызывая дополнительный рост полного сопротивления из-за того, что электрические сопротивления столба дуги и анодной и катодной

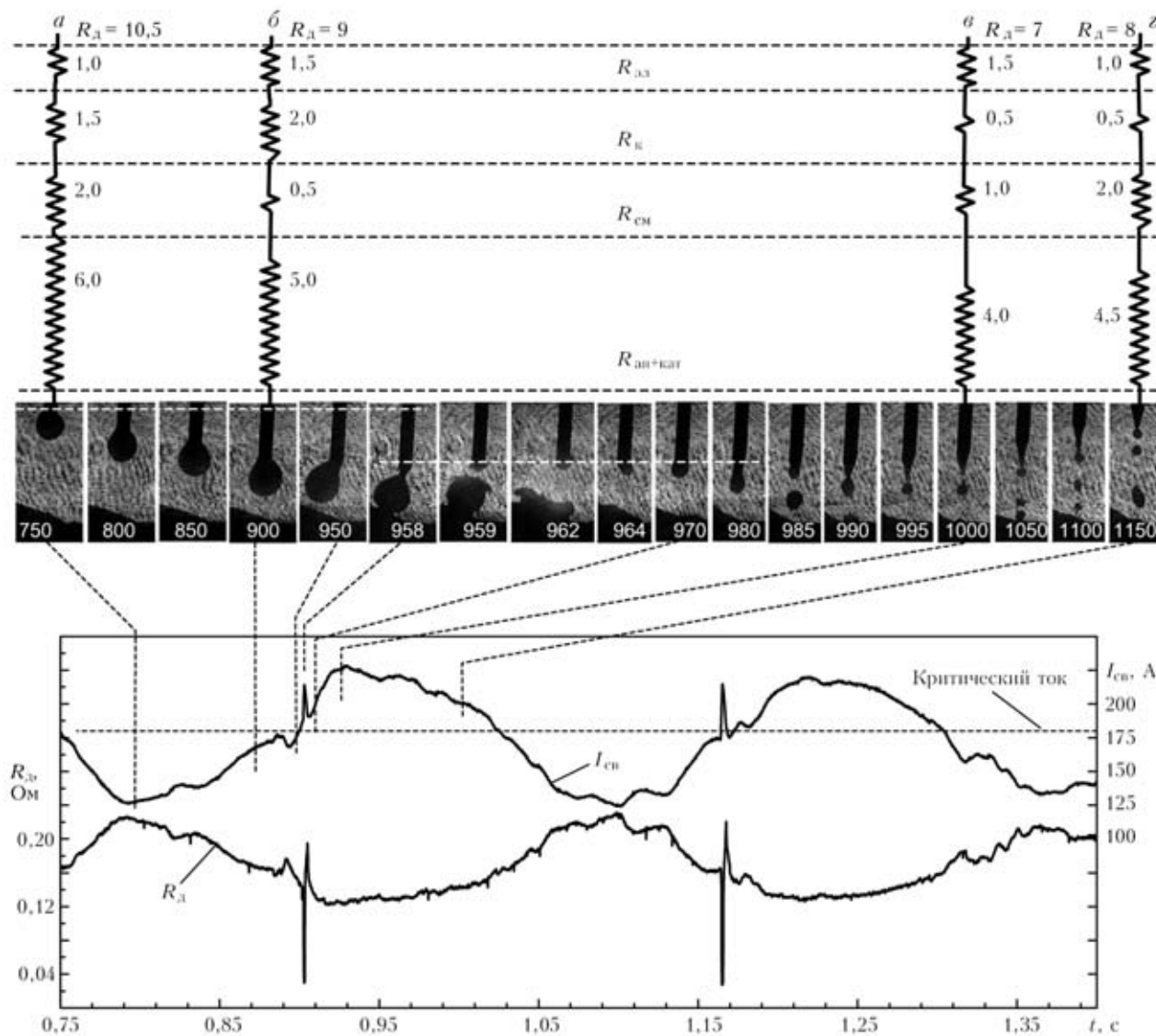


Рис. 8. Изменения электрического сопротивления на участке цепи «вылет электрода-капля-анодная и катодная области-столб дуги» при смешанном «крупнокапельный-короткое замыкание-струйный» переносе (значения сопротивления составляющих даны в относительных единицах)

областей будут наивысшими. Однако начиная с этого момента полное сопротивление начнет падать, так как из-за снижения тока сварки снизится скорость оплавления торца электрода и темп роста размеров капли. Капля будет продолжать перемещаться в направлении сварочной ванны, но уже с торцом электрода (интервал между моментами *a* и *б* на рис. 8). В этих условиях столб дуги замещается не каплей, а проволокой вылета электрода, имеющей удельное сопротивление, значительно более низкое, чем столб дуги. В результате сопротивление R_d начинает падать. При этом сопротивление капли, хоть и незначительно, но будет продолжать увеличиваться из-за продолжающегося роста капли. Благодаря начавшемуся повышению тока дуги электрическое сопротивление анодной и катодной областей начнет уменьшаться. После отделения капли сопротивление R_d упадет еще больше, так как капля будет замещена столбом дуги, который обладает меньшим удельным со-

противлением, чем капля, а также благодаря тому, что повышенный ток после превышения им критического уровня приводит к смене типа переноса металла на мелкокапельный, при котором капли практически полностью поглощаются дугой (шунтируются ею) и, таким образом, не рассматриваются при оценке сопротивления цепи. Однако высокий ток еще не привел к быстрому оплавлению торца электрода и длина столба дуги остается короткой (т. е. низким остается и его сопротивление). Дальнейшее возрастание тока дуги будет вызывать дальнейшее снижение электрического сопротивления анодной и катодной областей. Все это приводит к тому, что в момент, соответствующий кадру 1000 (момент *в*), полное сопротивление этого участка цепи достигает минимального значения, а ток дуги — максимального. С этого момента сопротивление R_d начнет вновь увеличиваться, так как интенсивное оплавление торца электрода, вызванное высоким током, приведет к росту длины дуги. Ток



сварки начинает падать (рис. 8, момент z), и когда он опустится ниже критического значения, характер переноса металла вновь изменится на крупнокапельный, на торце электрода начнет формироваться новая капля. Это приведет к еще большему повышению сопротивления R_d и к дальнейшему снижению тока сварки. Далее цикл такого типа смешанного переноса металла будет повторяться.

В заключение следует отметить, что основной причиной возникновения смешанных переносов металла являются неадекватные динамические характеристики электронного источника питания, в которых не учитывается естественное изменение полного электрического сопротивления дуги при формировании капли на торце электрода. Алгоритм поддержания заданной длины дуги, закладываемый в источник питания этого типа, является таким же, как и в случае обычных источников питания, т.е. основан на предпосылке, что изменения электрического сопротивления R_d на участке сварочной цепи «вылет электрода–капля–дуга» главным образом определяются изменениями сопротивления столба дуги, т.е. длины дуги. В случае удлинения дуги сопротивление R_d повышается и вызывает снижение тока сварки. Электрическое сопротивление капли электродного металла в этом алгоритме не учитывается. В связи с тем, что элек-

трическое сопротивление на участке сварочной цепи «вылет электрода–капля–дуга» представляет собой сумму сопротивлений вылета электрода, капли и дуги, оно иногда не является пропорциональным длине дуги. Например, в случае крупной капли, сформировавшейся на торце электрода, сопротивление R_d окажется повышенным, что, согласно используемому алгоритму, будет ошибочно интерпретировано как удлинение дуги. Ток сварки будет уменьшен и скорость оплавления торца электрода снизится, вопреки необходимости в ее повышении. Обычные источники питания электромагнитной системы легко справляются с этой проблемой, так как имеют низкие динамические характеристики, и, таким образом, диапазон изменения тока сварки оказывается ограниченным. Как следует из приведенного анализа, данная проблема оказывается значительно более серьезной для электронных источников питания. Некоторым из них может потребоваться дополнительная настройка под соответствующую разновидность процесса сварки МИГ/МАГ.

1. *Development of an experimental technique for studying metal transfer in welding: synchronized shadowgraphy* / S. S. Balsamo, L. O. Vilarinho, M. Vilela, A. Scotti / Int. J. for the Joining of Materials. — 2000. — 12, № 2. — P. 48–59.
2. *Пономарев В., Скотти А.* Влияние капли электродного металла на напряжение дуги при сварке в защитных газах // Автомат. сварка. — 2002. — № 4. — С. 7–11.

Interrelation of the probability of appearance of mixed types of metal transfer with dynamic characteristics of the power source has been analyzed. Mode of drop formation and transfer was observed using a unit, consisting of a laser and a high-speed digital video camera, with synchronous recording of arc voltage and welding current curves. It is shown that under the conditions of welding without short-circuiting adjustment of the rates of current rise and drop can essentially affect the nature of drop formation and transfer and can lead to appearance of mixed types of metal transfer.

Поступила в редакцию 11.05.2004

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «НЕВА-2005»

26–29 октября 2005 г.

г. С.-Петербург

Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона, коллективными членами которой являются ведущие фирмы Санкт-Петербурга и России, организывает раздел «Сварка и родственные технологии» на судостроительной выставке и приглашает Вас принять участие в выставке «Нева-2005».

В рамках выставки будет проводиться международная конференция.

Будем рады видеть Вас на нашем стенде.

Альянс Сварщиков СПб
г. Санкт-Петербург, тел./факс: 327-37-90 (91, 92) доб. 148
e-mail: spas@welding.spb.ru



ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ СПЛАВА АМц НА ИХ ПАЯЕМОСТЬ

А. А. БОНДАРЕВ, д-р техн. наук, А. В. ЛОЗОВСКАЯ, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Г. М. ШЕЛЕНКОВ, канд. техн. наук (ОАО «СМПО им. М. В. Фрунзе», г. Сумы)

Исследованы химический состав и структура материалов, применяемых для изготовления паяных теплообменников из сплава АМц. Показано, что причиной дефектов в изделиях может быть использование некачественных пресованных заготовок, содержащих оксидные пленки и раковины литого металла. Последние располагаются в приповерхностных слоях слитка и при технологическом его переделе трансформируются в протяженные оксидные несплошности.

Ключевые слова: пайка, алюминиевый сплав АМц, плакированная припой лентой, пресованная полоса, химический состав, структура, оксидная пленка, несплошность, смачиваемость и растекаемость припоя

Сварка и пайка остаются основными способами получения неразъемных соединений конструкций из алюминиевых сплавов. Главной проблемой при этом является наличие на поверхности полуфабрикатов пресованной полосы оксида Al_2O_3 или гидроксида металла переменного состава ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) [1].

В настоящее время разработаны мероприятия и созданы соответствующие технологические инструкции подготовки материалов под сварку и пайку, которые включают механическую обработку, травление, пассивацию поверхности. Эти этапы обработки направлены на удаление оксидных пленок с поверхности полуфабриката пресованной полосы и торможение их роста.

К важным факторам, определяющим состояние сварного или паяного соединения, следует также отнести качество основного соединяемого материала, припоя, сварочной проволоки, а также условия и способы пайки, сварки. Созданы государственные стандарты на алюминий и алюминиевые сплавы, предназначенные для изготовления полуфабрикатов различного назначения.

Разработаны процессы и оборудование для пайки алюминиевых сплавов с использованием флюсов [2, 3].

Применение более дорогого способа бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов в вакууме значительно повысило качество изделий и улучшило условия работы операторов в плане экологии [4].

Разработаны специальные плакированные силумином ленты, которые используют при изготовлении паяных соединений из сплава АМц.

Для изготовления алюминиевых теплообменников используют заготовки из пресованной полосы толщиной 4...6 мм и плакированную с двух сторон силуминовым припоем ленту толщиной 1 мм из сплава АМц. Брак паяных изделий может быть вызван различными факторами, в том числе несоответствием применяемых материалов требованиям государственных стандартов, нарушением технологического процесса подготовки материалов под пайку или технологии пайки.

Целью настоящей работы являлось исследование качества используемых материалов и установление возможной причины брака при изготовлении паяных теплообменников из сплава АМц.

Материалом для исследования служили полуфабрикаты пресованных полос сплава АМц различных партий изготовления на ОАО «Сумское машиностроительное научно-производственное объединение им. М. В. Фрунзе», отдельные образцы пресованных полос, изготовленных на ОАО «Бело-Калитвинское металлургическое объединение», а также образцы литого гомогенизированного металла, паяные соединения, плакированные ленты. В работе использовали металлографический,

Таблица 1. Химический состав (мас. %) металла полуфабрикатов различных партий из сплава АМц

Полу-фабрикат*	Mn**	Mg	Cu	Fe	Si	Zn	Ni	Ti	Ga	Na	K	Li***
1	1,30...1,45	0,100...0,014	0,010...0,017	0,11...0,45	0,14...0,43	0,012...0,030	0,005...0,008	0,01...0,04	<0,010	<0,020	<0,020	<0,030
2	1,35	0,013	0,010	0,42	0,15	0,020	0,008	0,05	—	—	—	—

*Здесь и в табл. 2 1 — полуфабрикат пресованной полосы, изготовленный на ОАО «Сумское машиностроительное научно-производственное объединение им. М. В. Фрунзе»; 2 — то же производства ОАО «Бело-Калитвинское металлургическое объединение».
**Предельное содержание основного легирующего элемента в восьми партиях полуфабрикатов.
***Содержание щелочных элементов в трех партиях заготовок различного изготовления.



Таблица 2. Химический состав (мас. %) металла плакирующего покрытия на лентах из сплава АМц двух партий изготовления

Полуфабрикат	Si	Mg	Mn	Fe	Cu	Ni	Na	Ca
1	5,07...8,90	0,183...0,208	—	0,342...0,388	0,028...0,037	0,041	0,207...0,264	—
2	13,70...23,70	0,119...0,138	0...0,055	0,160...0,531	—	0,315...0,484	0,228...0,258	0...0,264

химический, микрорентгеноспектральный и спектральный методы анализа.

Результаты исследований. Исследования химического состава методом спектрального анализа образцов различных партий из сплава АМц, который служил шихтовым материалом для изготовления слитков, показали, что они имеют состав металла, отвечающий требованиям ГОСТ 4784–97 по основным легирующим элементам и примесям (табл. 1). Методом химического атомно-адсорб-

ционного анализа в эмиссионном режиме установлено наличие примесей щелочных элементов. Различия между отдельными партиями прессованных полос выявлено не было.

В связи с малой толщиной плакировки состав припой определяли методом микрорентгеноструктурного анализа с диаметром облучения зондом 1,5...2,0 мкм. При этом проводили несколько измерений и фиксировали максимальную, минимальную, а также среднюю массовые доли легирующих элементов. Согласно полученным данным, химический состав плакирующего покрытия соответствует техническим нормативам (табл. 2).

Исследования содержания водорода в основном металле сплава АМц и плакированных лентах раз-

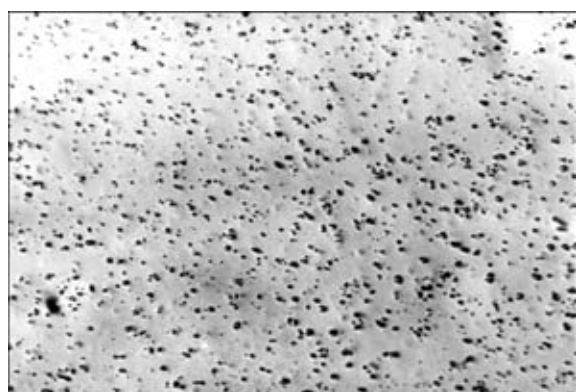


Рис. 1. Типичная микроструктура (X400) металла прессованной полосы сплава АМц

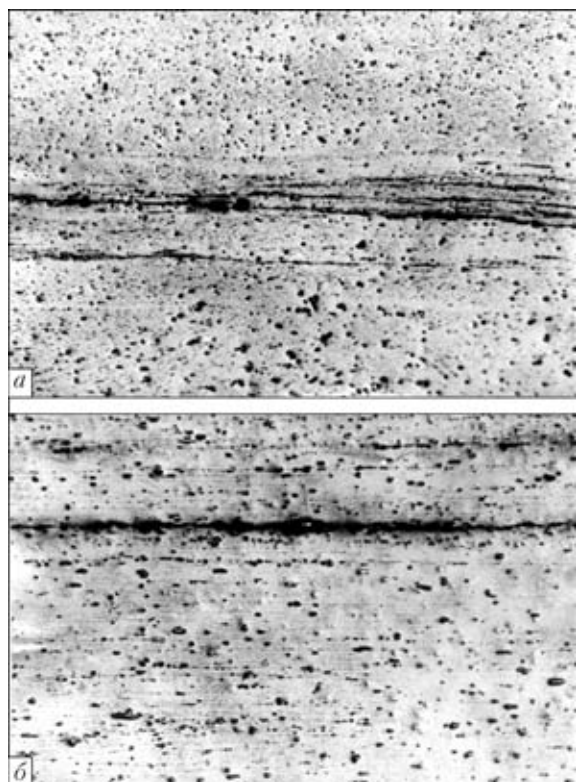
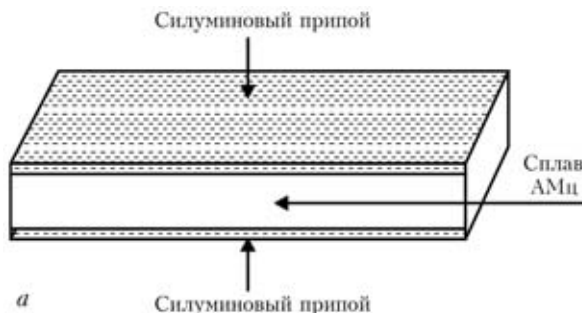


Рис. 2. Микроструктура (X400) металла прессованной полосы из сплава АМц с протяженными неметаллическими включениями оксидных пленок различного вида (а) и микронесплошностями (б)

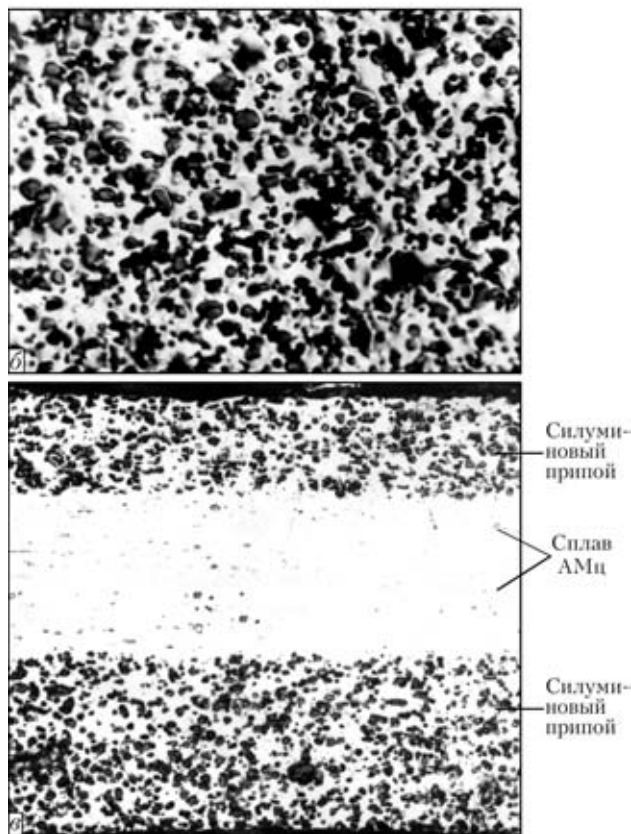


Рис. 3. Схема внешнего вида плакированной ленты (а) и микроструктура (X500) в плоскости (б) и сечении (а)

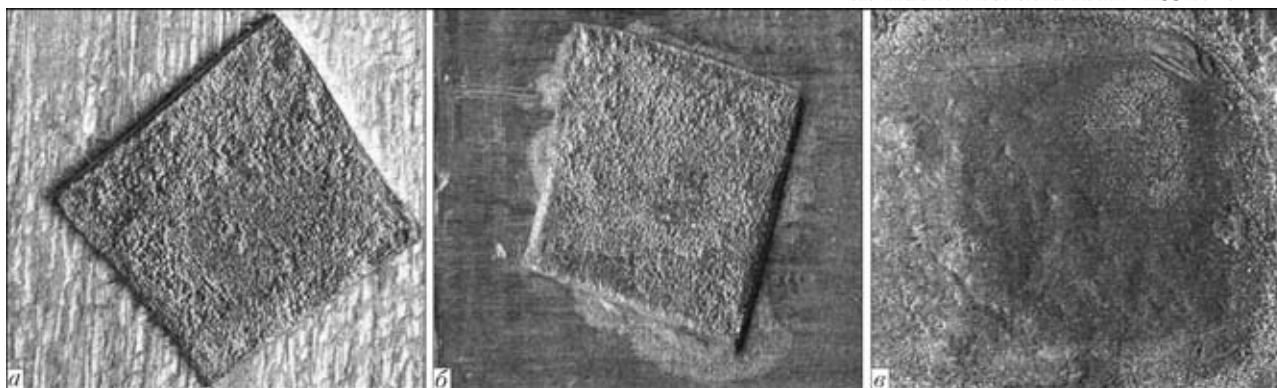


Рис. 4. Внешний вид соединений из сплава АМц с различной степенью смачивания после нагрева электронным лучом прессованной полосы с плакированной лентой: *а* — смачивание отсутствует; *б* — частичное смачивание; *в* — полное растекание

личных партий изготовления с использованием газоанализатора фирмы «LECO» существенной разницы не выявили.

Структура паяемых полуфабрикатов. При исследовании микроструктуры металла большого количества образцов прессованных полос различных партий установлены некоторые отклонения от нормы. Типичная микроструктура металла заготовки из сплава АМц (рис. 1) представляет собой твердый раствор легирующих элементов в алюминии и выделения дисперсных алюминиево-марганцевых фаз. В некоторых образцах формировались участки металла с различной дисперсностью включений, имело место также наличие ленточных выделений неметаллических включений, оксидных пленок и несплошностей (рис. 2).

Поверхность металла плакирующего слоя имеет типичную структуру эвтектического силумина. На рис. 3 представлен внешний вид плакированной силумином ленты и микроструктура силуминового припоя в плоскости и поперечном сечении ленты из сплава АМц различного производства. Представленные микроснимки свидетельствуют о возможном изменении толщины плакирующего слоя на различных участках ленты.

Согласно полученным данным, толщина плакирующего слоя ленты более ранних годов производства изменяется от 50 до 150 мкм, на отдельных участках она составляет 170 мкм. В образцах современного производства толщина плакирующего слоя колеблется от 80 до 150 мкм. При сравнительном исследовании микроструктуры металла плакирующего слоя лент различного времени изготовления при больших (до 500 мкм и более) увеличениях видно, что они практически не отличаются по характеру распределения кремниевых включений и их дисперсности.

Паяемость и структура полученных соединений. Образцы плакированной ленты размером 5×5 мм располагали на поверхности заготовок основного металла размером 20×20 мм различных партий изготовления, исследованных ранее. Для удаления оксидных пленок поверхность основного металла предварительно обрабатывали механическим способом. Пайку осуществляли при радиационном нагреве, для чего образцы помещали в трубчатый контейнер, который нагревался электронным лучом. Глубина вакуума в камере сос-

тавляла не менее $2 \cdot 10^{-2}$ Па, температура нагрева — не менее 600 °С. Качество пайки оценивали по внешнему виду соединений (рис. 4) и с помощью известных методик, где за критерий качества принимается соотношение площади растекания припоя после пайки к площади, которую он занимал перед нагревом, а также по результатам металлографических исследований микрошлифов поперечного сечения образцов.

Получены соединения сплава АМц, у которых площадь растекания припоя составляла 100 %. На других образцах смачивание основного металла произошло, но растекаемость припоя не наблюдалась (см. рис. 4). Имелись образцы, где пайка вообще не произошла, несмотря даже на завышение температуры до частичного оплавления основного металла. В этом случае плакированная лента легко

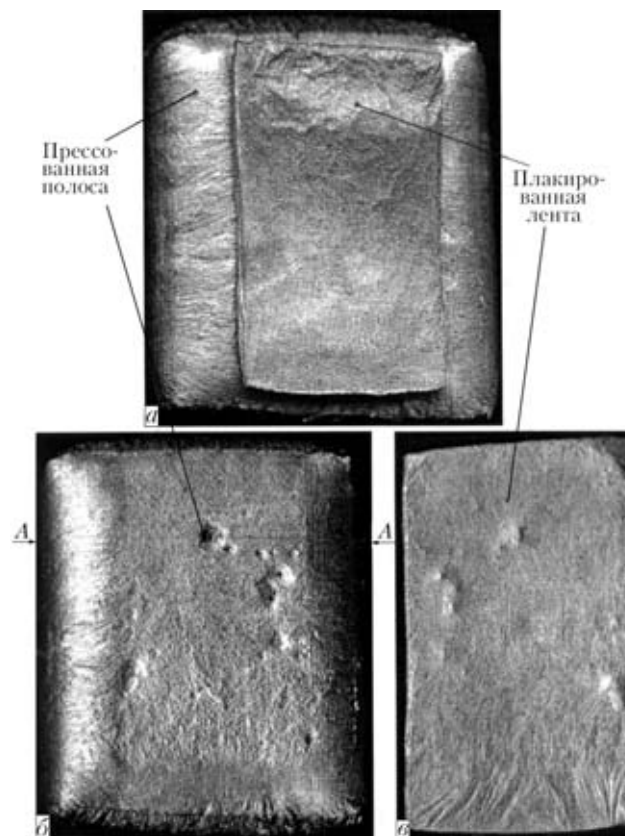


Рис. 5. Внешний вид соединения сплава АМц (*а*) и дефектов на внутренних поверхностях прессованной полосы (*б*) и плакированной ленты (*в*) при нагреве электронным лучом в вакууме

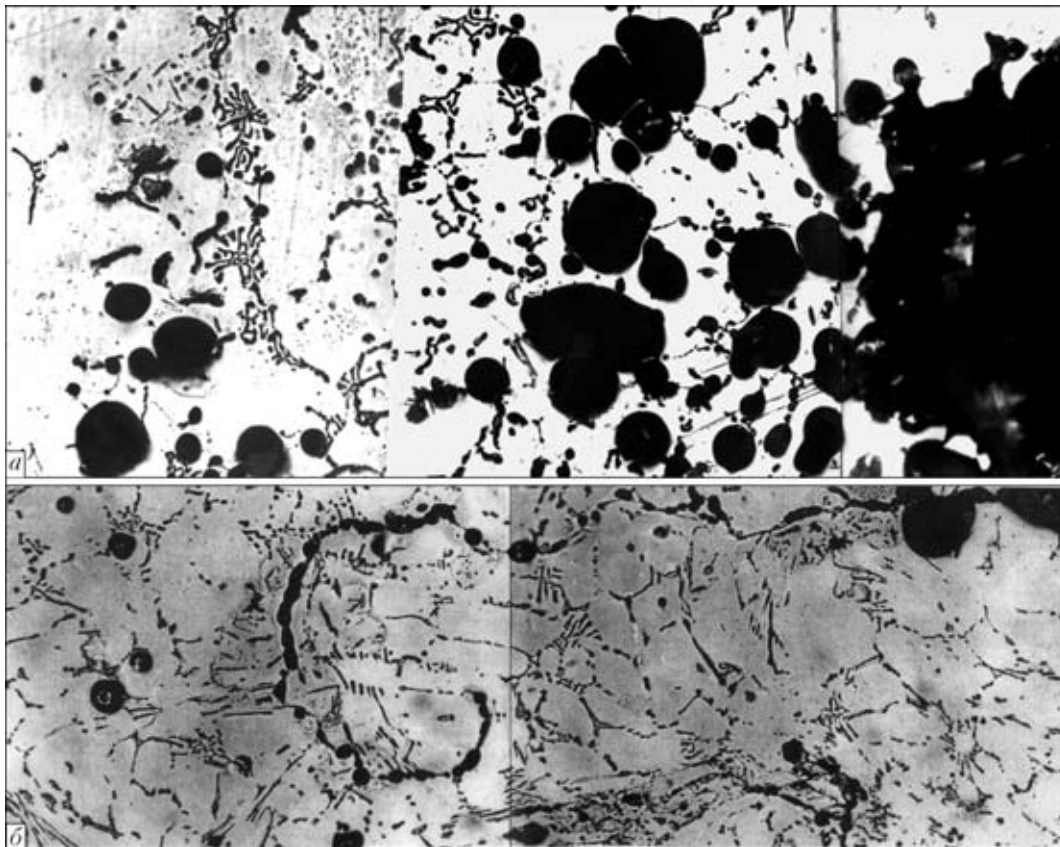


Рис. 6. Микропоры (*а*) и оксидные пленки (*б*) в металле прессованной полосы при некачественной пайке (см. рис. 5, сечение по А-А) (X125)

отделяется от основного металла, а на внутренней его поверхности выявлено значительное количество дефектов в виде раковин и микропор (рис. 5).

Анализ микроструктуры металла (поперечного сечения А-А, см. рис. 5) прессованной полосы свидетельствует, что в подплавленном основном металле с образованием кремниво-марганцовистых эвтектик наблюдаются несплошности, поры и раковины (рис. 6, *а*). Возможно наличие оксидных пленок (рис. 6, *б*). В отличие от оксидных пленок, ориентированных в направлении течения металла при прессовании, в подплавленном ме-

талле они имеют произвольную форму (рис. 6, *б*). В обоих случаях на поверхности пленок скапливается большое количество пор, которые образуют непрерывные цепочки, переходящие в несплошности.

На основании полученных результатов можно заключить, что качественная пайка образцов не осуществилась из-за значительного количества дефектов типа оксидных пленок в основном металле.

На рис. 7 представлена структура металла качественного паяного соединения, в котором имеют место хорошее смачивание основного металла, фор-

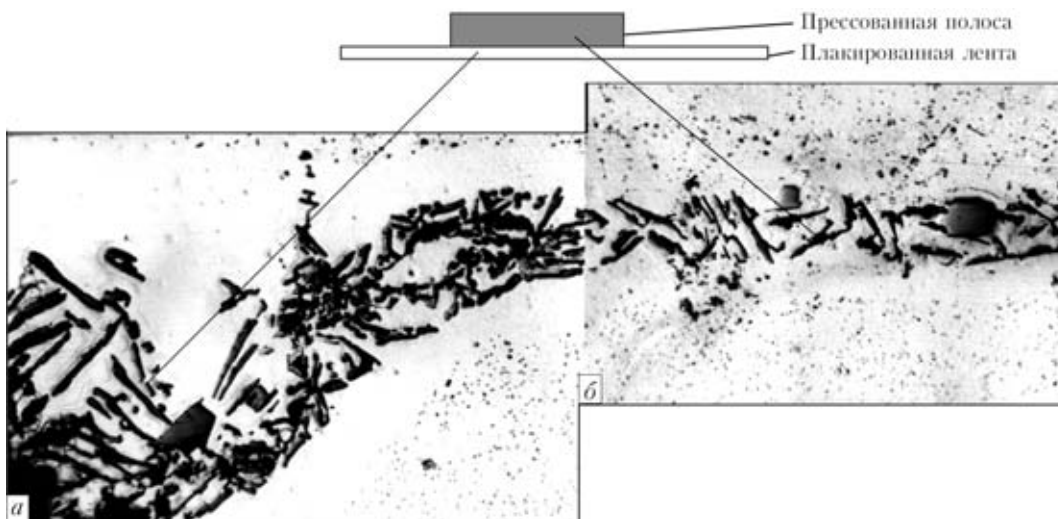


Рис. 7. Микроструктура (X250) металла качественного соединения плакированной ленты с прессованной полосой из сплава АМц, полученного при вакуумной пайке: *а* — галтель; *б* — середина соединения

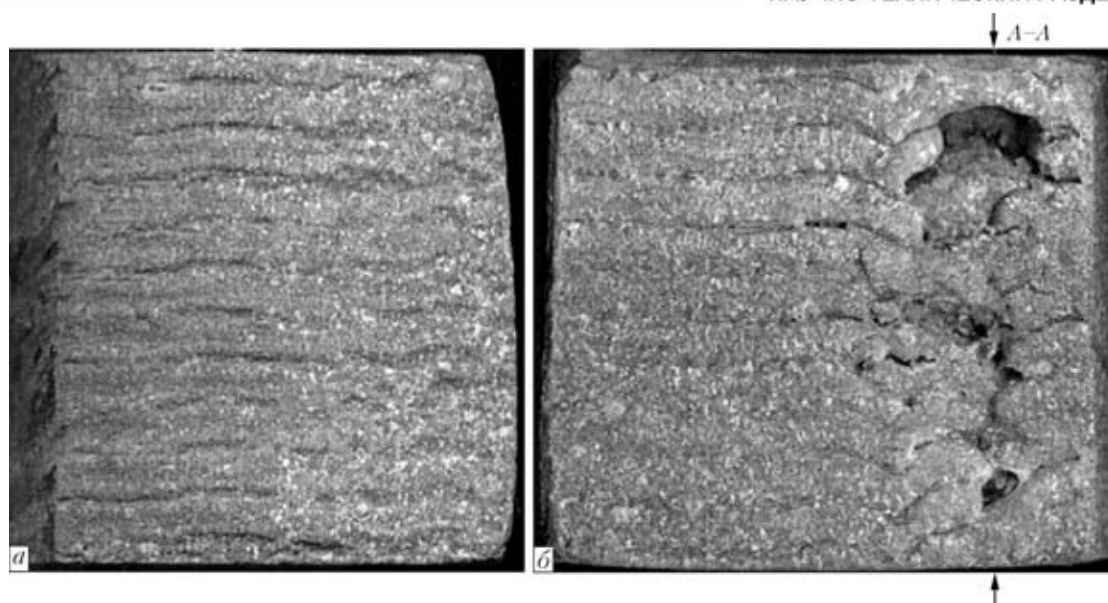


Рис. 8. Внешний вид качественной (а) и дефектной (б) поверхности слитка сплава АМц диаметром 200 мм

мирование галтели и отсутствие дефектов. Если основной металл высокого качества, то проблем с формированием соединения не бывает.

Причины попадания оксидных пленок в зону пайки могут быть разные: загрязнение металла оксидными пленками на этапе получения литой заготовки; образование их в процессе технологического передела слитка на полуфабрикат.

Различная дисперсность и структурная неоднородность металла заготовок под пайку также могут быть обусловлены как первичной структурой основного металла, так и результатом термомеханической обработки полуфабриката.

В связи с этим проведен металлографический анализ, включающий исследования макро- и микроструктуры, фазового состава, литого и гомогенизированного слитка сплава АМц. Исследования проводили на образцах, взятых из отдельных участков слитка диаметром 200 мм в литом состоянии и после гомогенизации в двух пространственных по отношению к слитку положениях — поперечном и вертикальном.

Визуально установлено, что поверхность слитка слоистая, что обусловлено особенностями его изготовления. В отдельных ее участках наблюдаются дефекты в виде грубых раковин и отдельных нитевидных расслоений (рис. 8). Определена глубина расположения дефектов. С этой целью в зонах их нахождения сделан соответствующий разрез по сечению А-А (см. рис. 8). После механической обработки и травления в растворе едкой щелочи выявлены характер и глубина их расположения (рис. 9). Чтобы исключить возможность увеличения размеров дефектов в процессе химического травления, поверхность шлифа электрополировали. Установлено, что дефекты представляют собой различной формы несплошности. От раковин в глубь металла ответвляются волосовидные расслоения, образуя в приповерхностном слое слитка сетку. При более глубоком микроструктурном анализе в этих участках наблюдается формирование зерен различных размеров и ориентации, скопле-

ние избыточных фаз и пор. Все это дает основания считать, что они образуются в процессе кристаллизации слитка и сосредотачиваются на оксидных пленках. Их форма изменяется в широких пределах — от волосовидной, соизмеримой с границей зерна, до раковин значительных размеров (рис. 10). Это связано с расположением пленки в плоскости сечения шлифа и с тем, что на ее поверхности уже в жидком металле скапливается большое количество газов, неметаллических включений и основных фаз. Глубина залегания оксидных пленок от поверхности слитка не превышает 10 мм (см. рис. 9). В процессе прессования приповерхностные слои металла слитка могут попадать в среднюю часть полос, тогда дефекты рассредоточиваются, ориентируясь вдоль течения металла в направлении его деформации. Дефекты приобретают вид протяженных более тонких несплошностей, которые имеют место в полуфабрикатах, предназначенных для пайки.

На периферии слитка формируется небольшая по размеру зона мелких кристаллов, а в основном объеме слитка образуются крупные кристаллы разной формы и ориентации. Следует отметить наличие зон со столбчатыми направленными кристаллами. Микроструктура в состоянии после гомогенизации более однородная и характеризуется

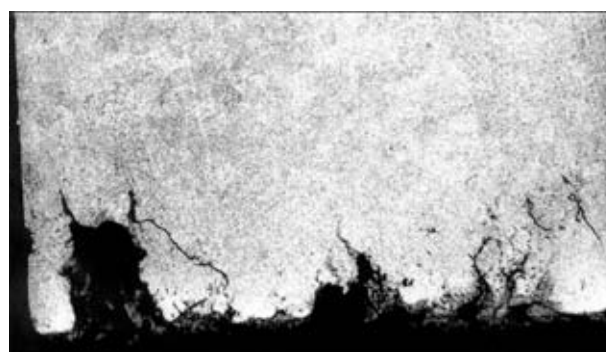


Рис. 9. Формирование дефектов в слитке сплава АМц, сечение по А-А (см. рис. 8) (X3)



Рис. 10. Микроструктура ($\times 200$) слитка сплава АМц с оксидными пленками и несплошностями (расстояние от поверхности слитка составляет приблизительно 10 мм)

равноосными кристаллами, а также отдельными зонами со столбчатым строением.

Литой металл представляет собой твердый раствор марганца в алюминии и выделения эвтектики, которая имеет вырожденную форму с формированием фазы $MnAl_{16}$ в виде пластинок, иголок и каркасов. При гомогенизации слитков каркасы разрушаются и образуются отдельные выделения алюминиево-марганцевой фазы. В основном они располагаются на границах зерен (рис. 11).

В результате исследований химической неоднородности сплава АМц установлено, что твердый раствор на основе алюминия содержит до 0,9 мас. % марганца, небольшую долю кремния (до 0,33 мас. %) и железа (около 0,1 мас. %). Выделения эвтектики обогащены марганцем (до 6,7 мас. %), кремнием (до 2,3 мас. %) и железом (до 4,1 мас. %). В процессе гомогенизации массовая доля марганца в твердом растворе составляет 1,1 %, кремния 0,4 %, железа 0,06 %. Фазовые выделения обогащены марганцем и железом, и в меньшей степени кремнием.

Composition and structure of materials applied in manufacture of heat exchangers of AMTs alloy was studied. It is shown that the defects in welds can be caused by use of low quality extruded billets. The defects initiate from oxide films and blowholes of cast metal, which are located in the sub-surface layers of the ingot and transform into extended oxide films and discontinuities during the ingot processing.

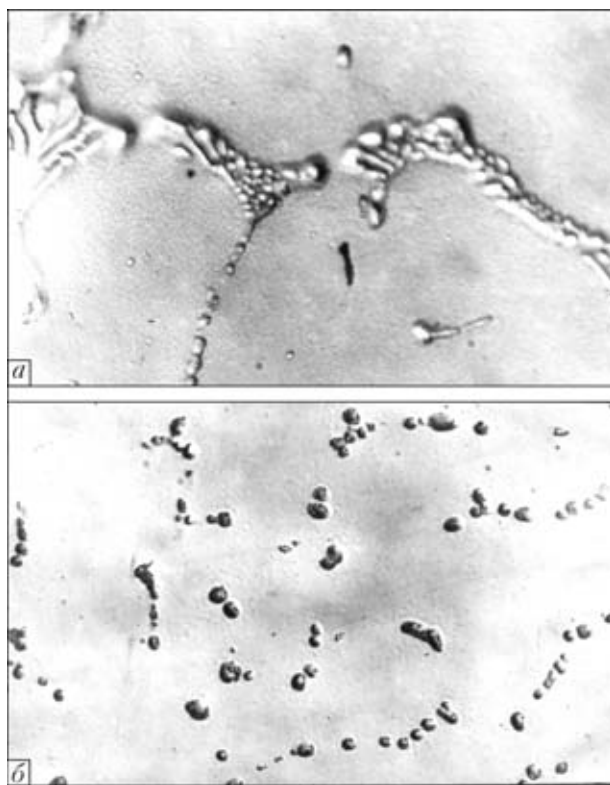


Рис. 11. Микроструктура ($\times 1000$) металла литого (а) и гомогенизированного (б) слитков сплава АМц диаметром 200 мм

Сравнительный анализ структуры и химической неоднородности металла в литом и гомогенизированном состояниях исключает влияние термообработки на паяемость заготовок из сплава АМц.

Таким образом, на смачиваемость и растекаемость припоя по сплаву АМц влияют дефекты внутреннего характера, которые могут иметь место в полуфабрикатах. Источником дефектов в полуфабрикатах из сплава АМц являются оксидные пленки и раковины литой заготовки, трансформирующиеся в процессе технологического передела слитка в протяженные тонкие несплошности и скопления неметаллических включений.

1. Рабкин Д. М. *Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов*. — Киев: Наук. думка, 1986. — 256 с.
2. Манко Г. Г. *Пайка и припой*. — М.: Машиностроение, 1968. — 322 с.
3. Никиткин А. М. *Пайка алюминия и его сплавов*. — М.: Машиностроение, 1983. — 192 с.
4. Смирнов Г. Н. *Прогрессивные способы пайки алюминия*. — М.: Metallurgy, 1981. — 240 с.

Поступила в редакцию 27.04.2004



ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТИТАНОСТАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

В. В. АРСЕНЮК, канд. техн. наук, **Л. И. МАРКАШОВА**, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН Украины **Г. М. ГРИГОРЕНКО**,
Е. В. ПОЛОВЕЦКИЙ, **В. П. БУГАЕЦ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены закономерности процессов формирования структуры и характера ее изменения в титаностальных соединениях, полученных сваркой взрывом, а также факторы, провоцирующие ухудшение свойств соединений.

Ключевые слова: сварка взрывом, дисперсные образования, поток титана, поток стали, зона завихрения, эвтектические образования, межзеренные прослойки, напряженное состояние, скольжение, двойникование, повороты микроробъемов

Для изготовления конструкций и узлов, работающих в сложных эксплуатационных условиях, требуется создание новых разнородных многослойных материалов, особое место среди которых занимают композиции с титаном. Об этом свидетельствует анализ более 250 работ, опубликованных за последнее десятилетие.

Что касается способов изготовления указанных материалов, то наряду с традиционными (прокатка, пайка) наибольшее предпочтение отдают различным способам сварки давлением (диффузионная сварка в вакууме, совмещенный процесс диффузионной сварки со сверхпластической формовкой [1, 2] и др.). Однако в последнее время все больше используют высокоскоростные способы сварочного деформирования, в частности, ударную сварку в вакууме и сварку взрывом [3–10], которые, к сожалению, не исключают все трудности получения качественных соединений разнородных материалов, особенно связанных с образованием легкоплавких эвтектик, интерметаллидных фаз [4], непрочных остаточных напряжений [5, 7], расслоений [10], микротрещин в слоях адиабатического сдвига [9].

Понятно, что традиционными методами исследования не представляется возможным установить причины ухудшения свойств соединений из-за недостатка данных о ключевых процессах, протекающих в зоне сварки (процессах структуро- и фазообразования, характере пластической деформации, распределении внутренних напряжений и условиях трещинообразования в различных областях сварного соединения), сведения о которых могут быть получены при использовании прямых методов исследования, включая и исследование тонкой структуры на просвет.

Некоторые результаты исследований в этом направлении применительно к соединению нержавеющей стали с титаном, выполненному сваркой взрывом, изложены в настоящей работе.

Зону сварки соединений титана ВТ1-0 с нержавеющей сталью 12Х18Н9Т, полученных сваркой взрывом, исследовали с помощью комплексных методов, включающих оптическую микроскопию, аналитическую растровую электронную микроскопию (СЕМ-515, «Филипс», Голландия) и просвечивающую микрофракционную электронную микроскопию (JEM-200СХ, JEOL, Япония) с ускоряющим напряжением 200 кВ. Для детальных исследований тонкой структуры зоны соединения разнородных металлов на просвет и особенностей фазообразования использовали специально разработанные методики ионного утонения объектов ионизированными потоками аргона [11].

Таблица 1. Изменения элементного состава (мас. %) металла в зоне соединения ВТ1-0+12Х18Н9Т на различном расстоянии от поверхности контакта на участках без фазовых выделений (I, II области)

Химический элемент	Титан ВТ1-0					12Х18Н9Т					
	при расстоянии от поверхности контакта, мкм										
	15	10	7	5	2	на границе контакта	2	5	7	10	
Ti	97,3	98,0	97,04	93,5	66,0	59,3	18,80	15,34	4,30	1,72	1,61
Fe	1,60	1,20	1,97	4,60	22,3	27,2	55,70	57,26	67,08	67,70	66,90
Cr	0,50	0,40	0,48	1,22	7,60	8,62	11,16	11,40	15,12	18,40	19,05
Ni	0,10	0,18	0,25	0,26	2,80	3,80	12,00	13,52	11,20	10,02	10,18
Si	0,35	0,05	0,04	0,14	0,70	0,43	0,10	0,30	0,24	0,85	0,82
Mn	0,070	—	0,06	0,23	0,40	0,34	1,00	1,02	1,59	1,18	1,25
V	—	0,20	0,15	—	0,20	0,30	1,20	0,12	0,38	0,12	0,14

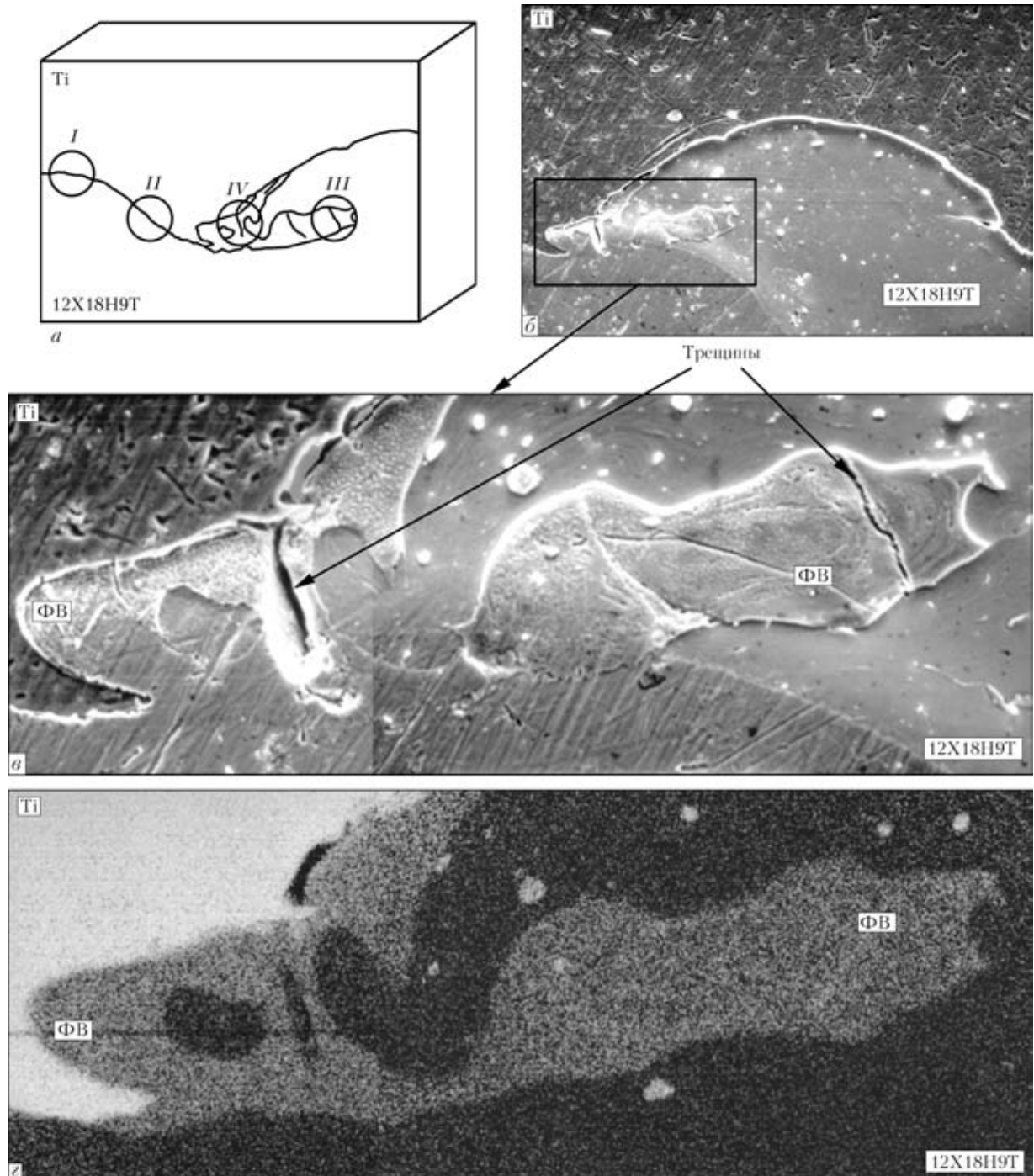


Рис. 1. Микроструктура металла в зоне соединения титана ВТ1-0 с нержавеющей сталью 12Х18Н9Т: *а* — схема; *б* — общий вид; *в* — переходная зона между титаном и сталью (X163); *г* — распределение титана при съемке в характеристическом излучении (X655); ФВ — фазовые выделения

Общий вид зоны соединения и отдельные фрагменты структуры свариваемых металлов представлены на рис. 1.

Анализ структуры (рис. 1, б–г) и химического состава (рис. 2, табл. 1, 2) металла зоны волнообразования, полученных при исследовании на растровом электронном микроскопе в отраженных электронах и в характеристическом излучении, показал, что структура зоны волнообразования отличается особой сложностью. Одной из ее характерных особенностей является формирование потоков титана и стали (рис. 1, в, г) шириной 10...50 мкм, которые отличаются химическим сос-

тавом, что достаточно четко просматривается при съемках в характеристическом излучении, где распределение титана представлено светлыми участками на фоне темных зон, соответствующих распределению стали (рис. 1, г). Причем составы потоков стали и титана отличаются от состава свариваемых металлов — стали 12Х18Н9Т и титана ВТ1-0. Так, в потоке титана содержание последнего составляет 16...18 и 56...57 % Fe. Более конкретные данные об изменении концентраций в потоках представлены в табл. 1, 2.

Судя по одинаковой интенсивности отражений (рис. 1, г), а также результатам анализа хими-

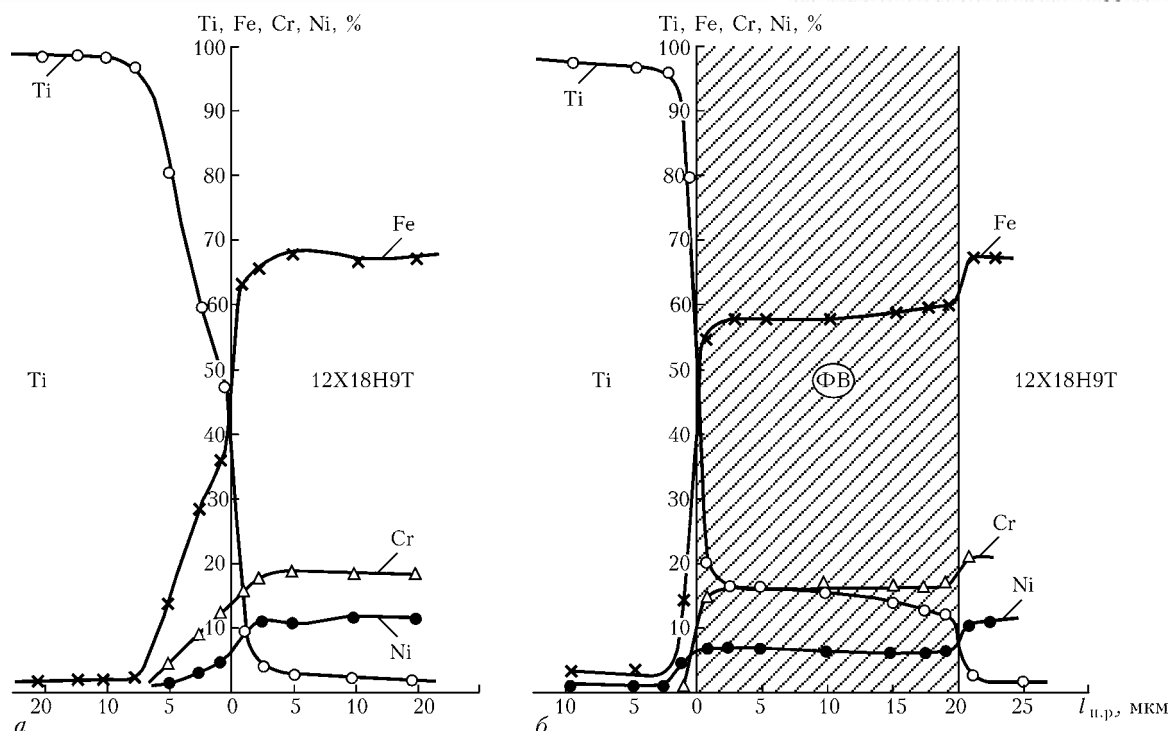


Рис. 2. Характер изменения химического состава металла на участках без (а) и с фазовыми выделениями (б); $l_{п.р.}$ — расстояние от поверхности соединения

ческого состава, потоки титана и стали имеют практически неизменную концентрацию на всем пути их перемещения в области сварки. Следует отметить, что во внутренних объемах потоков стали обнаруживаются частицы титана глобулярной формы размером примерно 2,5... 9,5 мкм, которые проявляются в виде белых пятен на темном фоне отражений стали (рис. 1, з). Содержание титана в составе указанных частиц подобного типа соответствует его количеству в основном металле — 95... 97 %.

По-видимому, формирование потоков связано с направлением кумулятивных потоков, а глобулярные частицы во внутренних объемах стали представляют собой фрагменты отрыва титана от этого потока. При этом проявляется специфическая «спиралевидная» форма потоков как титана, так и стали (рис. 1, в, з), свидетельствующая о том, что сдвиговое встречное перемещение потоков свариваемых металлов сопровождается их поворотами и вращениями.

Другой структурной особенностью зоны сварки является наличие областей с особыми эвтектическими дисперсными образованиями (0,6... 0,3 мкм), достаточно четко просматриваемыми при исследовании на растровом электронном микроскопе со сравнительно небольшими увеличениями (рис. 1, в). Причем формирование подобного типа образований локализовано в определенных местах сварки: зоне соударения (IV область) и зоне завихрения волн (III область). В других областях волнообразования (рис. 1, а, I, II области) структуры подобного типа не зафиксированы.

На рис. 2 и в табл. 1 показано, что распределение химических элементов в зоне соединения неравномерно. Так, в зонах, где отсутствуют дисперсные фазовые образования (I, II области), за-

фиксировано весьма равномерное изменение концентраций химических элементов по мере перехода от титана к стали (рис. 2, а, табл. 1). Причем область наиболее активных изменений концентраций сосредоточена примерно на глубине 5... 7 мкм от поверхности раздела (в сторону титана и стали).

При наличии в зоне сварки формирующихся дисперсных фазовых образований, эвтектик (III, IV области) глубина изменения концентрации увеличивается примерно до 20... 25 мкм, а химический состав металла в этой зоне отличается постоянным содержанием химических элементов, что подтверждается наличием «полочек» на кривых концентраций (рис. 2, б) и свидетельствует о формировании сравнительно однородных по составу фазовых образований.

Фазовые выделения в IV области расположены непосредственно вдоль поверхности раздела, а фазовые выделения в III области — на расстоянии примерно до 150... 250 мкм. В формирующихся структурных образованиях указанного типа содержится около 56... 57 % Fe, 15... 16 % Ti и Cr, а также примерно 8... 9 % Ni. Кремния и марганца содержится приблизительно по 1 % (табл. 2). Несмотря на различную удаленность от поверхности контакта их концентрации в указанных фазовых образованиях сварного соединения оказываются подобными.

Представлялось целесообразным провести более детальные исследования структур, проявляющихся по зоне сварки, поскольку именно здесь обнаруживаются образование и распространение трещин (рис. 1, б, в; рис. 3, а, б). Тщательные исследования методами просвечивающей электронной микроскопии показали, что структура металла в области соударения контактирующих поверхностей

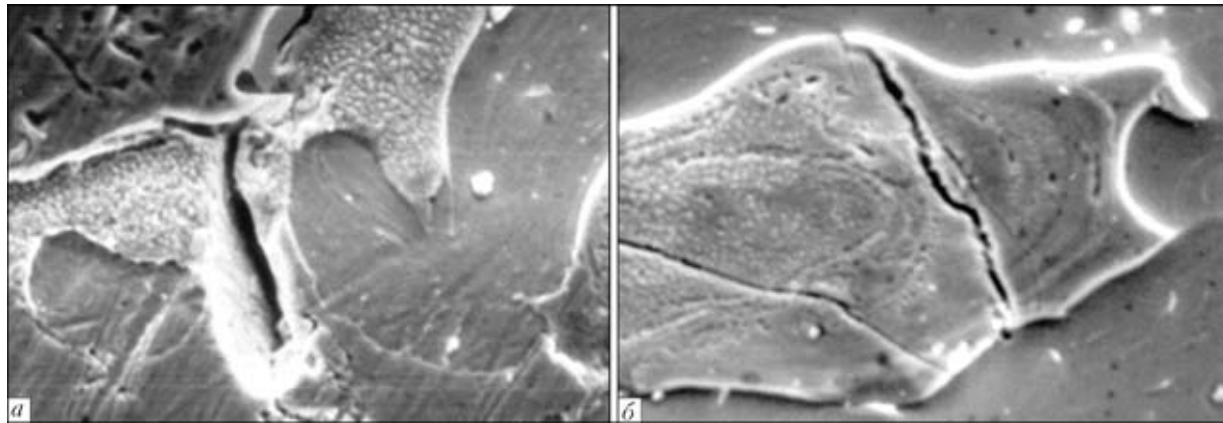


Рис. 3. Микроструктура (X800) металла характерных участков (а, б) со стороны стали, связанных с образованием трещин

и завихрений волн неоднородна. Область соударения представляет собой узкую зону размером от 10 до 30 мкм, состоящую преимущественно из эвтектических образований глобулярной формы. Зона завихрения (отмечена на рис. 1, а как область III), более широкая (примерно 40... 50 мкм) и сложная по строению, располагается в потоке титана. На общей картине, снятой при различных увеличениях с зон соударения и завихрения (рис. 1, в, г и рис. 3), видно, что структурная неоднородность этих зон представляет собой последовательный переход от оплавленных структур и структур типа эвтектик до структур с характерными признаками воздействия высоких и более низких температур. Детально указанные переходные структуры представлены на укрупненных изображениях, полученных при исследовании тонких фольг на просвет (рис. 4, 5).

Так, оплавленные структуры (рис. 4, а, б) представляют собой крупные зерна без четких границ, для внутренних объемов которых характерна низкая плотность дислокаций ($1 \cdot 10^8 \dots 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$).

Непосредственно за областью оплавления следует область эвтектических образований, изображения которых получены при различных режимах съемки в просвечивающем электронном микроскопе: светло- и темнопольные (рис. 4, в, г).

На первом можно довольно детально рассмотреть структуру и отдельные дисперсные фазы во внутренних объемах зерен эвтектик. Видно, что зерна эвтектики имеют преимущественно глобулярную форму, их размеры составляют

0,75... 0,25 мкм. Темнопольное изображение тех же участков эвтектики с более контрастным изображением особенностей строения межзеренных прослоек, формирующихся вокруг зерен эвтектик, позволяет проанализировать детали строения указанных прослоек толщиной 0,07... 0,17 мкм.

Анализ структурных изображений в сочетании с отражениями микродифракционных рефлексов показал, что дисперсные зерна эвтектики глобулярной формы состоят из γ -Fe, а окаймляющие их прослойки представляют собой твердый раствор титана и железа. Кроме того, и межзеренные прослойки, и зерна γ -Fe насыщены мелкодисперсными фазовыми выделениями размерами около 0,02... 0,003 мкм, состоящими преимущественно из карбидов титана и хрома (рис. 4, в, г).

За эвтектическими образованиями следует область неравновесных структур, представляющих собой структуру смешанного типа: с участками зародышей рекристаллизации (рис. 4, д), субзернами, блоками, фрагментами (на рис. 4, е отмечены стрелками), в которых реализовались процессы перераспределения дислокаций и полигонизации. Плотность дислокаций в результате упорядочения во внутренних объемах структур подобного типа минимальна — $1 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$.

Заметим, что указанные изменения структуры характерны для зон сварки IV и III (соударения и завихрения), последняя располагается в стали в пределах потока титана.

По мере перехода непосредственно из потока титана в область нержавеющей стали в структуре

Таблица 2. Изменение элементного состава (мас. %) металла в зоне соединения ВТ1-0+12Х18Н9Т на различном расстоянии от поверхности контакта на участке с фазовыми выделениями (III, IV области)

Химический элемент	Титан ВТ1-0				Фазовые выделения						12Х18Н9Т		
	при расстоянии от поверхности контакта, мкм												
	10	5	2	на границе		2	5	10	5	2	на границе		
Ti	96,5	96,3	96,2	79,3	20,0	16,6	16,5	15,4	13,8	13,4	12,6	2,05	1,59
Fe	2,53	2,67	2,50	13,8	53,8	56,6	56,6	57,0	58,5	58,6	58,6	66,5	65,9
Cr	0,40	0,50	0,70	4,60	15,5	16,2	16,2	16,4	16,5	16,4	17,1	19,0	18,6
Ni	0,20	0,14	0,18	1,44	8,80	8,59	8,70	8,81	8,78	9,50	9,37	10,4	11,5
Si	0,20	0,30	0,22	0,53	0,70	0,40	0,86	1,15	1,00	0,60	1,30	0,80	0,83
Mn	0,07	0,08	—	0,31	1,10	1,29	1,03	1,04	1,20	1,35	0,90	1,06	1,36
V	—	0,10	0,10	—	—	0,20	—	0,06	0,17	0,13	—	0,07	0,03

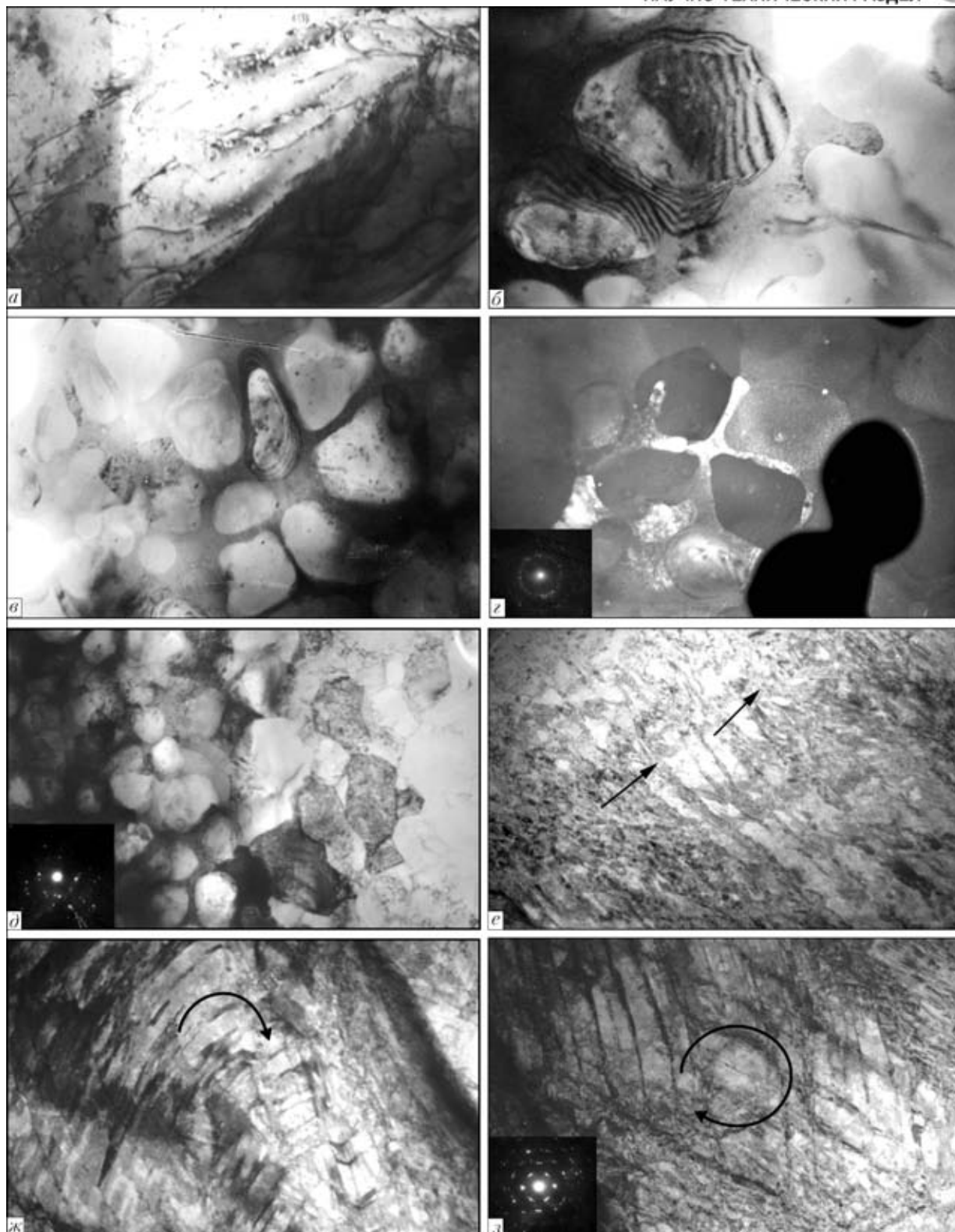


Рис. 4. Тонкая структура мегалла зоны соединения титана BT1-0 с нержавеющей сталью 12X18H9T со стороны стали: *a* — зона оплавления ($\times 20000$); *b* — структура в участке перехода к эвтектике ($\times 59000$); *c* — структура эвтектик в светло- ($\times 30000$) и темнопольном ($\times 50000$) изображении; *d* — структура в участке рекристаллизации ($\times 20000$); *e* — область полигонизации в переходной зоне ($\times 15000$); *ж, з* — повороты микрообъемов стали отмечены стрелками (соответственно $\times 15000$, $\times 10000$)

обнаружены довольно существенные и резкие изменения. Так, область частично релаксированных структур сменяется структурами, в которых фиксируется множественное скольжение, интенсивное двойникование (рис. 4, *ж*), сопровождаемое значительным общим повышением плотности дисло-

каций и формированием локальных дислокационных скоплений с плотностью $1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и более, которые являются концентраторами внутренних напряжений [12].

Кроме того, в указанных зонах, соответствующих областям сопряжения потока титана со

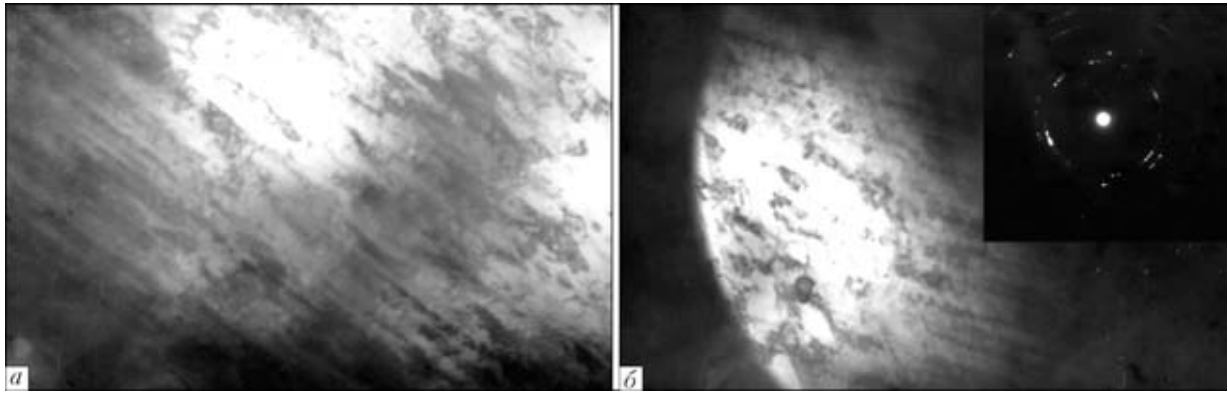


Рис. 5. Тонкая структура титана в соединении титан+нержавеющая сталь на расстоянии 0...10 мкм от границы раздела: а — $\times 50000$; б — $\times 39000$

сталью, зафиксированы специфические структуры (на рис. 4, ж, з отмечены стрелками), имеющие явные признаки поворотов и вращений структурных элементов в стали. Последнее подтверждается характером микродифракционных картин, имеющих четко выраженную систему отражений с разбиением рефлексов в радиальных направлениях (рис. 4, з).

Таким образом, на границах сопряжения потока титана с нержавеющей сталью (эта область локализуется в весьма узкой зоне — несколько микрометров) происходит резкий переход структур от мягких релаксированных, разупрочненных со стороны потока титана, до значительно упрочненных со стороны нержавеющей стали, где зафиксировано жесткое напряженное состояние металла. Подобное различие в структурах потоков титана и нержавеющей стали связано с их различной релаксационной способностью при деформировании, которая, не исключая влияния температуры определенных физических процессов (плавления, рекристаллизации, полигонизации), во многом определяется величиной энергии дефектов упаковки (ЭДУ) [13]. И если для α -титана ЭДУ весьма значительна (примерно $0,2 \text{ Дж/м}^2$ [14, 15]), что объясняет весьма активное протекание процессов структурной релаксации и пластического сброса возникающих внутренних напряжений, то для нержавеющей стали, у которой значение ЭДУ более чем на порядок ниже (примерно $0,013 \text{ Дж/м}^2$ [12]), превалирующими будут процессы упрочнения.

Как уже показано, область разупрочнения (со стороны титана) резко сменяется областью значительного упрочнения (со стороны нержавеющей стали). Последняя характеризуется наличием локальных концентраторов внутренних напряжений, «сброс» которых происходит за счет множественного скольжения, двойникования и поворотов (вращения) микрообъемов металла. Причем зафиксировано также формирование трещин, однако трещинообразование проявляется, как правило, в определенных зонах — местах поворотов потоков (на рис. 1, в отмечено стрелками, рис. 3). Наличие трещин свидетельствует о том, что реализуемые процессы пластического сброса внутренних локальных напряжений, какими являются дислокацион-

ное скольжение, двойникование и материальные повороты объемов металла, явно недостаточны для нейтрализации мощных концентраторов напряжений, возникающих со стороны стали именно в участках завихрений. Окончательный сброс напряжений в них происходит уже путем трещинообразования.

Аналитическая оценка внутренних напряжений в областях металла, отличающихся уровнем дислокационной плотности, выполненная согласно зависимости $\tau_{\text{вн}} = Gbh\rho/\pi(1-\nu)$ [13], где G — модуль сдвига; b — вектор Бюргера, равный $2,5 \cdot 10^{-8}$ см; h — толщина фольги $2 \cdot 10^{-5}$ см; ρ — плотность дислокаций; ν — коэффициент Пуассона (0,28), показала следующее.

При плотности дислокаций $(1...2) \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$, характерной для зоны сварки, где структуры релаксированы, создаваемое поле напряжений дает $\tau_{\text{вн}} = G/5 \cdot 10^4 \dots G/2,5 \cdot 10^4$, что не превышает значения теоретической прочности $G/10$ [16, 17]. Опасность возникновения трещин в данном случае отсутствует. При плотности дислокаций $(5...6) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, характерной для напряженных участков в нержавеющей стали, создаваемое поле напряжений дает $\tau_{\text{вн}} = G/9 \dots G/10$, что превышает значения теоретической прочности $G/10$ и приводит к разрушению.

Что касается эвтектических и интерметаллидных фаз, то они имеют дисперсные размеры, распределяются сравнительно равномерно в зонах соударения и завихрения волн, изменений в характере распределения дислокаций не вызывают. Четко выраженной привязки трещин к местам локализации эвтектических образований не обнаружено.

Структура зоны соединения со стороны титана сравнительно равномерная и мелкодисперсная (рис. 5). Обнаружено формирование фазовых выделений ультрадисперсных размеров. Несмотря на то, что и непосредственно в зоне контакта, и при удалении от нее титан испытывает значительную деформацию, о чем свидетельствует кольцевой характер микродифракционных отражений, концентраторов напряжений и формирования трещин со стороны титана не зафиксировано.



Выводы

1. Показано, что изменение концентраций химических элементов происходит вдоль поверхности соударения (до 5...7 мкм) и по глубине зоны сварки примерно до 150...200 мкм, что обусловлено перемещением потоков титана и стали во внутренние объемы свариваемых металлов под действием внешнего сварочного напряжения.

2. Установлено, что формирование интерметаллидных, карбидных фаз и эвтектик, представляющих собой дисперсные зерна, окаймленные зернограничными прослойками, происходит преимущественно в зоне соударения и во внутреннем объеме перемещающихся потоков свариваемых металлов. Интерметаллидные, карбидные фазы ультрадисперсных размеров распределяются внутри зерен эвтектик и прослоек.

3. Установлено, что наиболее градиентные структуры, а также значительные концентраторы внутренних напряжений, превышающие теоретическую прочность, образуются в определенных зонах на границе потоков титана со сталью, что обусловлено резким нарастанием плотности дислокаций, множественным скольжением, двойникованием и ротацией структурных микрообъемов нержавеющей стали, отличающейся низкой энергией дефектов упаковки.

1. Гельман А. А., Зенин В. А. Современные технологические процессы диффузионной сварки. Опыт ВИЛСа в получении изделий из разнородных сплавов // Технол. легк. сплавов. — 1998. — № 2. — С. 25–32.
2. Образование охрупченных слоев на титане при его взаимодействии со стальной технологической оснасткой в условиях диффузионной сварки / В. В. Шурупов, В. В. Пешков, М. Н. Шушпанов, Л. С. Кирсев // Автомат. сварка. — 2001. — № 2. — С. 17–20.
3. Исследование тонкой структуры ОШЗ титаностальных соединений, полученных сваркой взрывом / Ю. П. Трыков, В. Н. Арисова, С. А. Волобуев и др. // Свароч. пр-во. — 2000. — № 7. — С. 9–11.

4. Влияние конструктивно-технологических факторов на кинетику диффузионных процессов в титаностальных композициях / Ю. П. Трыков, В. Н. Арисова, С. А. Волобуев, А. Ф. Трудов // Тр. междунар. конф. «Слоистые композиционные материалы-98», Волгоград, сент. 1998 г. — Волгоград, 1998. — С. 179–180.
5. Ma Dongkong, Zhou Jinko. Способность к деформированию промежуточной зоны соединений пластин из стали Ст3 и титана при сварке взрывом // Rare Metal Mater. and Eng. — 1999. — 28, № 1. — P. 26–29.
6. Сидоров И. И., Тышарев А. М., Кирилин Э. Ф. Биметалл титан-сталь, полученный сваркой взрывом, и его применение // Вопр. материаловед. — 1999. — № 3. — С. 276–292, 494.
7. Yuanmou Z., Rongguang H., Shihong C. Особый вид деформации в металле соединения при сварке взрывом // Chin. J. Nonferrous Metals. — 1998. — № 8. — P. 239–243.
8. Von Groschopp J., Heune V., Hofmann B. Explosivplattierten Verbundwerkstoff Titan-Stahl // Schweisstechnik aktuell und progressiv forschung und praxis. — 1987. — № 2. — S. 125–134.
9. Oberg A., Martensson N., Schweitz J. A. Fundamental aspects of formation and stability of explosive welds // Metallurgical Transactions. — 1985. — № 1–6. — P. 841–852.
10. Влияние энергетических условий сварки взрывом на формирование тонкой структуры титаностальных композитов / Ю. П. Трыков, В. Н. Арисова, С. А. Волобуев, А. Ф. Трудов // Тр. междунар. конф. «Слоистые композиционные материалы-98», Сент. 1998 г., Волгоград. — Волгоград, 1998. — С. 214–215.
11. Метод препарирования для электронно-микроскопических исследований / Ю. Ф. Даровский, Л. И. Маркашова, Н. П. Абрамов Н. П. и др. // Автомат. сварка. — 1985. — № 12. — С. 60.
12. Хирт Дж., Лотте И. Теория дислокаций / Под ред. Э. М. Надгорного и Ю. А. Осипьяна. — М.: Атомиздат, 1972. — 600 с.
13. Теоретическое и экспериментальное исследование дислокаций / Н. А. Конева, Д. В. Лычагин, Л. А. Теплякова, Э. В. Козлов. — Л.: Изд-во ЛФТИ, 1986. — С. 116.
14. Механические свойства редких металлов / Л. Д. Соколов, В. А. Скуднов, В. А. Соленов и др. — М.: Металлургия, 1972. — 288 с.
15. Колачев Б. А. Физическое металловедение титана. — М.: Металлургия, 1976. — 184 с.
16. Композиционные материалы. Т.5. Разрушение и усталость / Под ред. Л. Браутмана. — М.: Мир, 1978. — 484 с.
17. Паши В. Е., Лихачев В. А., Гришяев Ю. В. Структурные уровни деформации твердых тел. — Новосибирск: Наука, 1985. — 230 с.

Considered are principles of the processes of formation of structure and character of its variations in titanium-steel joints produced by explosion welding, as well as factors provoking deterioration of properties of the joints.

Поступила в редакцию 21.05.2004,
в окончательном варианте 30.09.2004



Межрегиональный семинар «СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

в рамках специализированных выставок
«Металлы Сибири. Литье. Металлообработка. Сварка»

29–31 марта 2005 г.

г. Томск

На семинаре будут обсуждаться актуальные проблемы создания, производства и внедрения современных сварочных источников питания, технологий, материалов для строительства и ремонта высокоответственных сварных конструкций, в том числе и северного исполнения, а также проведена презентация современных технологий и оборудования для сварки, резки, наплавки.

Все справки по тел./ факс: (3822) 492-942
E-mail: kirilova@ispms.tsc.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ВЗРЫВОМ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНАТОРНОГО АЛГОРИТМА МГУА И РАСШИРЕНИЯ ВЫБОРКИ ДАННЫХ

Чл.-кор. НАН Украины **А. Г. ИВАХНЕНКО**, **М. Е. ВЕРЕВКИН**, **Г. А. ИВАХНЕНКО**, инженеры
(Международ. науч.-учеб. центр информац. технологий и систем НАН Украины и М-ва образования и науки Украины)

Исследована зависимость геометрических характеристик волнообразной поверхности между плитами, образующейся при сварке взрывом, от расположения и размера плит, а также количества используемой взрывчатки. Приведены результаты исследований свойств комбинаторного алгоритма метода группового учета аргументов (МГУА) применительно к поставленной задаче. Проведена идентификация модели с помощью комбинаторного алгоритма МГУА с использованием расширения выборки данных. В качестве основного критерия взят критерий регулярности, в качестве вспомогательного — критерий минимума смещения.

Ключевые слова: сварка взрывом, МГУА, комбинаторный алгоритм, расширение выборки

В настоящее время сварка взрывом находит широкое применение в ряде отраслей современной промышленности. По данным информационного центра делового сотрудничества [1], предложения, касающиеся сварки взрывом, на бирже технологий составляют около 45 % их общего количества.

Сварка взрывом является перспективным способом и широко применяется на предприятиях во многих городах Украины, в том числе Киеве, Днепропетровске, Кривом Роге [2]. Однако процессы, имеющие место при этом способе сварки, пока еще исследованы мало. В настоящее время не существует физической модели, которая описывала бы сварку взрывом. В данной работе нами принята попытка восполнить этот пробел.

На рис. 1 схематически изображена сварочная установка, состоящая из основной плиты толщиной x_4 , наковальни и флаера, который сталкивается с основной плитой и соединяется с ней. Толщину флаера (удельную массу) обозначим x_3 . В состав сварочной установки также входят буфер, взрывчатка, позволяющая получить ударную волну для разгона флаера, и детонатор. Количество взрывчатки на единицу массы флаера обозначим x_2 . В зоне сваривания происходит взаимопроникновение

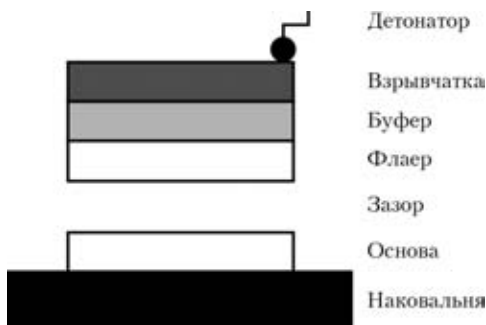


Рис. 1. Схема сварочной установки

волнистой формы, которое охарактеризуем двумя переменными y_1 и y_2 — соответственно длина и амплитуда волны. В исследовании также используется переменная x_1 — зазор между основной плитой и флаером.

Длина и амплитуда образующихся волн являются в нашем эксперименте выходными величинами. Они имеют порядок соответственно десять и сто микрометров. Размер начальной выборки данных (таблица) составляет 6×16 . Она является результатом 16 измерений шести величин, две из которых — это упомянутые выше выходные величины (длина и амплитуда волны). Наша задача состоит в поиске «наилучшей» зависимости выходных величин y_1 и y_2 от входных — x_1 , x_2 , x_3 и x_4 .

Начальная выборка данных

№ испытаний	Выходные параметры		Входные параметры			
	Амплитуда волны, мкм	Длина волны, мкм	Зазор, мм	Масса взрывчатки на единицу массы флаера, г	Толщина флаера, мм	Толщина основной плиты, мм
1	10	200	3	0,8	3	6
2	20	230	6	1,5	3	6
3	30	280	6	0,8	6	6
4	35	290	3	1,5	6	6
5	10	200	6	0,8	3	12
6	35	270	3	1,5	3	12
7	16	240	3	0,8	6	12
8	40	310	6	1,5	6	12
9	16	260	6	1,5	3	12
10	25	300	3	1,5	6	12
11	12	220	6	0,8	3	6
12	40	270	3	1,5	3	6
13	20	260	3	0,8	6	6
14	40	300	6	1,5	6	6
15	10	200	3	0,8	3	12
16	20	200	6	0,8	6	12



Построение эксперимента. Для нахождения модели сварки взрывом нами использованы данные работы [3] (см. таблицу). Иранские ученые провели структурную идентификацию модели зависимости геометрии сварочного шва от толщин плит, расстояния между ними и удельного количества взрывчатки тремя разными способами, в одном из которых использовали двухуровневый алгоритм метода группового учета аргументов (МГУА). Особенность указанной работы состоит в том, что для поиска закономерностей применяется комбинаторный алгоритм МГУА, основанный на принципе самоорганизации моделей [4], т. е. использование для определения модели двух выборок данных, которые обрабатываются по очереди. Оценку коэффициентов полиномиальной модели получают на основании одной выборки, а структуру модели и количество ее аргументов — на основании другой. При таком способе обработки данных двух выборок последовательно учитываются два критерия перебора множества моделей-кандидатов: внешний критерий погрешности модели RR и критерий ее несмещенности BS [5]. Смещенность модели равна нулю, если модели, полученные на обеих выборках, оказываются одинаковыми. Критерии погрешности и несмещенности не зависят друг от друга. Истоки данного метода относятся еще к 1960-м годам. Этот новаторский подход был предложен в работе [6].

Применим к полученным данным комбинаторный алгоритм МГУА, а также произведем расширение выборки. Комбинаторный алгоритм имеет преимущество перед многорядным: для отыскания оптимальной модели используется метод полного перебора. Сначала из всех возможных линейных по параметрам моделей выбирается небольшое количество наиболее точных, а потом применяется доопределение модели по критерию минимума смещения. Расширение выборки обычно осуществляют двумя способами — путем моделирования новых экспериментальных данных (расширение вниз) или новых данных измерений (расширение вправо). В настоящей работе нами использован новый комбинированный способ, который объединяет в себе оба упомянутых выше [7].

Отбор проводили по двум критериям последовательно, т. е. лучшие по основному критерию модели проверяли по дополнительному критерию. Для каждой полученной модели вычисляли также среднюю процентную погрешность по формуле

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{|y_{ij} - \bar{y}_{ij}|}{y_{ij}}, \quad i = 1, 2,$$

где n — количество измерений; i — номер выходной величины, для которой вычисляется погрешность; $y_1 = y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n}$ и $y_2 = y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n}$ — выходные векторы.

Эксперименты с расширением выборки. Сначала алгоритм МГУА был применен непосредственно к начальной экспериментальной выборке. Лучшими оказались модели

$$y_1 = -28,8893 + 0,1917y_2 + 7,2411x_2 - 0,4495x_4,$$

$$y_2 = 164,2421 + 2,5758y_1 + 5,9153x_3.$$

Для них значения критериев регулярности и минимума смещения равны соответственно $RR = 36,8719$, $BS^2 = 1,0186 \cdot 10^{-3}$ и $RR = 443,5273$, $BS^2 = 5,7911 \cdot 10^{-4}$, относительная погрешность составляет $MAPE = 20,67\%$ для y_1 и $MAPE = 5,162\%$ для y_2 .

Далее нами было улучшено качество аппроксимации за счет расширения матрицы наблюдений вниз. В работе [8] нобелевских лауреатов Р. Энгла и К. Грэнжера доказано, что результаты аппроксимации начальной выборки данных улучшаются при введении дополнительных аддитивных признаков, т. е. выборка данных расширяется вправо. Расширим выборку вниз и проверим, каким образом это повлияет на точность модели. Указанное выполняли с помощью генерации средних точек — строк, являющихся полусуммой соседних. Наиболее весомым аргументом для каждой выходной величины оказалась другая выходная величина, которая использовалась в качестве аргумента. Увеличение количества строк не привело к улучшению модели, а даже ухудшило ее. Однако при многократном отборе «лучших» средних точек оценка значительно улучшилась. Справедливо будет отметить, что использование дополнительных строк может существенно улучшить оценку аппроксимации, так и не повлияв на нее. Все зависит от конкретной экспериментальной выборки.

Затем расширим выборку вправо, дополним ее новыми столбцами, которые можно получить путем перемножения начальных или вычисления их средних значений (аналог средних точек для столбиков). На примере данной выборки видно, как влияет расширение вправо на качество аппроксимации выходных величин. Результаты, полученные для y_1 и y_2 , показали, что расширение выборки вправо очень эффективно, особенно за счет мультипликативных признаков. Если же выборка расширяется за счет аддитивных признаков, то положительный эффект проявляется только вначале, и поэтому нет смысла в добавлении многих аддитивных признаков. В большинстве задач вообще следует ограничиться лишь средним из всех входных векторов.

Следующий шаг — расширение начальной выборки данных как вниз, так и вправо. Полученную выборку анализировали следующим образом: сначала находили модель по данным левой верхней подвыборки размером 5×5 , потом 6×6 и так до 24×24 (рис. 2). Оказалось, что само по себе добавление «средних точек» не дает ощутимого эффекта, зато вместе с добавлением новых факторов оно становится эффективным способом улучшения качества аппроксимации выходных величин. Отметим, что при значительной схожести векторов y_1 и y_2 ($\text{corr}(y_1, y_2) \approx 0,8392$) точность модели была улучшена без их использования в качестве входных переменных.

Очень важно то, что на практике длину и амплитуду получаемого при сварке волнистого кон-

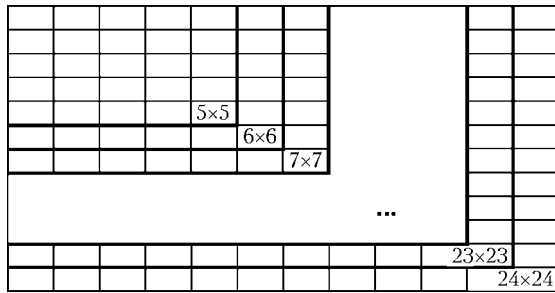


Рис. 2. Способ формирования подвыборок для анализа изменения критериев качества аппроксимации

тура в месте соединения плит нужно определять одновременно, т. е. значения y_1 и y_2 до самого начала процесса сварки неизвестны. На самом деле, задача сварщика состоит в том, чтобы определить амплитуду и длину волны заблаговременно в зависимости от толщины основной плиты и фляера, зазора между ними и массы взрывчатки на единицу массы фляера.

Нахождение наилучшей модели. После таких обнадеживающих результатов откажемся от использования y_1 и y_2 как независимых переменных при поиске наилучшей модели. Таким образом автоматически достигается, что результаты настоящей статьи можно использовать непосредственно в реальных условиях — на производстве. Для улучшения модели начальную выборку данных дополнительно дополнили четырьмя столбиками — $1/x_1, 1/x_2, 1/x_3, 1/x_4$. Введение признаков такого вида улучшает информативность выборки и качество модели, поскольку при этом учитывается новый вид зависимости.

Итак, аппроксимирована выходная величина с помощью подвыборки размером $(n + 1)n, 6 \leq n \leq 21$, где n — количество используемых незави-

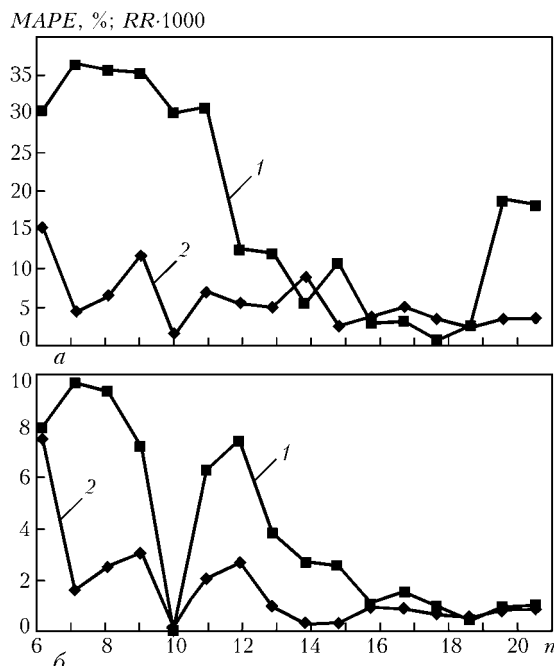


Рис. 3. Зависимость погрешности $MAPE$ (1) и критерия регулярности RR (2) от количества строк и столбцов в $(n + 1)n$ -подвыборке данных с аддитивным $(n + 1)$ -м столбцом: а, б — выходные величины соответственно y_1, y_2

симых переменных, а также количество строк. С каждым шагом количество строк и столбцов подвыборки увеличивалось на 1, аналогично рис. 2, и для новой подвыборки вычислялась новая модель. В каждую подвыборку включался также аддитивный фактор $1/4(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)$.

Результаты показали, что самый важный параметр, от которого зависят обе выходные величины, — это удельное количество взрывчатки. В меньшей степени на выходы влияет толщина фляера, а толщина основной плиты практически не влияет на форму волнистого контура между свариваемыми взрывом поверхностями.

Наилучшая модель:

$$y_1 = 182,356662048 + 10,863406557668x_1 + 124,0341248788x_2 + 10,863406557668x_3 + 5,4317032788332x_4 + 330,715922928 \frac{1}{x_4} - 15,98347606x_1x_2 + 0,24185654156x_1x_3 + 0,4613825486x_1x_4 - 11,4229643128x_2x_3 + 0,5116753672x_3x_3 + 1,137106842x_1x_2x_3 - 0,544132x_1x_2x_4 - 0,283593x_1x_3x_4 - 0,792656x_2x_3x_4 + 0,287267x_1x_2x_3x_4.$$

Показатели модели следующие: $RR = 3,5625 \cdot 10^{-3}$; $MAPE = 0,711\%$; $BS^2 = 7,79 \cdot 10^{-2}$. Они намного лучше предыдущих, что свидетельствует о необходимости использования аддитивного вектора, который является средним значением всех факторов.

Кривые RR и $MAPE$ на рис. 3, б имеют ярко выраженный минимум при $n = 10$. Следовательно, оптимальной является модель, полученная на подвыборке 11×10 . Интересно, что при $n = 10$ также достигается минимум критерия регулярности для выхода y_1 (рис. 3, а), а большое значение средней относительной процентной погрешности объясняется, вероятно неточностью измерений амплитуды.

Итак, оптимальная модель для y_2 следующая:

$$y_2 = 121,27555756 - 10,57224957254x_1 - 42,28899829017x_2 + 129,76965057 \frac{1}{x_2} - 10,5722495725x_3 - 237,867936006 \frac{1}{x_3} - 5,28612478627x_4 + 8,921349846x_2x_3 + 17,25386x_2x_4 + 7,0527133x_1x_2x_3 - 0,7336352x_2x_3x_4 - 0,4578947x_1x_2x_3x_4.$$

Показатели модели $RR = 2,04 \cdot 10^{-4}$, $MAPE = 0,058\%$, $BS^2 = 2,0084 \cdot 10^{-4}$ очень хорошие. Полученная модель рекомендуется нами в качестве наилучшей для описания процессов при сварке взрывом.

Таким образом, в настоящей статье индуктивным способом найдена зависимость выходных величин (амплитуды и длины волны, образующейся на стыке свариваемых поверхностей после соединения) от входных величин (толщины основной плиты, фляера, зазора между плитами и массы взрывчатого вещества на единицу массы фляера). В процессе исследований настоящей работы по-



лучен богатый набор данных, в который вошли дополнительные факторы (мультипликативные и аддитивные) и строки, около 15 моделей для разных способов расширения начальной выборки, зависимости критерия регулярности RR и погрешности $MAPE$ от размера выборки данных.

Оказалось, что обе выходные величины очень похожи как по своим моделям, так и по виду полученных графиков. Основным показателем для определения амплитуды и длины волны является параметр x_2 (удельная масса взрывчатого вещества на единицу массы фляера), который доминирует над остальными. В меньшей мере выходные величины зависят от толщины фляера x_3 . Волнистый контур в месте соединения двух поверхностей от зазора между плитами и от толщины основной плиты практически не зависит.

Отметим также, что проведенное нами исследование является единственным в своем роде в Украине. Надеемся на тесное плодотворное сотруд-

ничество в дальнейшем двух наук — кибернетики и сварки.

1. Інформаційний центр ділового співробітництва // www.uatechnology.org.
2. Інформаційний портал о взрывчатых веществах // www.explosive.ru.
3. *Nariman-Zadeh N., Darvizeh A., Gharababaei H.* Modeling and prediction of process parameters in explosive welding of plates using GMDH-type neural network and singular value decomposition // *Iranian J. Sci. and Technol.* — 2001. — **25**, № 81. — P. 453–461.
4. *Ивахненко А. Г.* Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. — Киев: Техника, 1975. — 311 с.
5. *Ивахненко А. Г., Степанко В. С.* Помехоустойчивость моделирования. — Киев: Наук. думка, 1985. — 215 с.
6. *Круг Г. М., Круг О. Ю.* Математический метод классификации древней керамики // *Тр. Ин-та археологии АН СССР.* — М.: Наука, 1965. — С. 317–323.
7. *Ivakhnenko A. G., Savchenko E. A., Ivakhnenko G. A.* Concrete optimization of square data samples as the first stage of the optimization of a piscvminant or predictive mode // *Pattern Recogn. and Image Analysis.* — 2004. — **14**, № 4. — P. 489–494.
8. www.nobel.se/economics/laureates/2003/ccoadv.pdf.

A dependence was studied between the geometrical features of wavy interface of the plates formed in explosion welding on plate location and size, as well as on the amount of the explosive used. The paper also gives the results of studying the properties of the combinatorial algorithm of the method of group accounting for arguments (MGAA) for the posed problem. The model was identified by MGAA combinatorial algorithm, using a data sampling extension. Regularity criterion is used as the main criterion, and minimum displacement criterion is the auxiliary criterion.

Поступила в редакцию 21.06.2004

III ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

25–27 мая 2005 г.

г. Киев

Приглашаются молодые остепененные и неостепененные научные сотрудники, аспиранты и специалисты возрастом до 35 лет.

Тематика конференции:

- Прогрессивные технологии сварки и соединения материалов
- Прочность, надежность и долговечность сварных конструкций
- Технологии наплавки, нанесения покрытий и обработки поверхности
- Процессы специальной электрометаллургии
- Новые конструкционные и функциональные материалы
- Автоматизация процессов сварки и родственных технологий
- Фундаментальные исследования физико-химических процессов (термодинамика, кинетика, микроструктура, фазовые превращения, электронная структура, свойства).

Желающим принять участие в конференции и выступить на ней с докладом необходимо до 20 марта 2005 г. прислать по электронной почте тезисы доклада в объеме одной страницы формата А (редактор Word, без иллюстраций, набор через 1,5 интервала, шрифтом № 14).

По всем вопросам просьба обращаться в оргкомитет:
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11, СНМИ;
Тел.: (044) 261-51-34 www.paton.kiev.ua,
E-mail: sci-youth@paton.kiev.ua



ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ (Обзор)

В. Д. ПОЗНЯКОВ, С. Б. КАСАТКИН, С. Л. ЖДАНОВ, кандидаты техн. наук, **П. А. СТРИЖАК**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности проведения ремонтных сварочных работ при восстановлении металлоконструкций механизмов, машин и инженерных сооружений. Описаны наиболее часто используемые в процессе выполнения восстановительных работ способы удаления дефектов, разделки кромок, технологии ремонтной сварки, сварочные материалы, применяемые при ремонтной сварке, методы контроля качества сварных соединений.

Ключевые слова: ремонтная сварка, восстановление сварных конструкций, удаление дефектов, разделка кромок, контроль качества сварных соединений, остаточные напряжения, сварочные материалы, усталостные трещины

В настоящее время в Украине эксплуатируется большое количество инженерных сооружений и машин, исчерпавших назначенный срок службы или близких к этому состоянию. Большинство из них имеет усталостные и хрупкие повреждения. Дальнейшая эксплуатация таких изделий становится небезопасной.

Как свидетельствуют публикации [1–4], проблема существует и в других экономически развитых странах. Так, согласно данным работы [2], около 26 % мостов в США нуждаются в ремонте. Особенно остро стоит проблема ремонта мостов на скоростных дорогах США. В работе [4] указывается, что многие конструкции (котлы высокого давления, морские платформы для добычи нефти и газа) превысили срок эксплуатации, установленный при их разработке. Однако несмотря на это они не заменяются новыми. Основная причина — огромные затраты на их покупку и установку. Кроме того, во время замены старых конструкций новыми те и другие не будут функционировать, что приведет к существенным убыткам. Поэтому в настоящее время разрабатываются способы, позволившие бы максимально продлить срок эксплуатации действующих объектов.

В большинстве случаев такие проблемы решают путем восстановления (ревитализации) металлоконструкций с применением дуговой сварки или упрочняющих обработок поврежденных элементов [4].

Учитывая большую значимость ремонтно-восстановительных работ для промышленности, в Американском институте сварки разработана и с начала 1980-х гг. осуществляется широкая научно-исследовательская программа по ремонтной сварке [2]. В начале нынешнего тысячелетия аналогичная программа, получившая условное название «Ресурс», реализуется и в Украине.

Необходимость в проведении исследований, направленных на совершенствование ремонтных технологий, обусловлена тем, что в настоящее время при восстановлении металлоконструкций, как

правило, используют стандартные технологии сварки, разработанные для изготовления новых изделий. Они не учитывают специфики ремонтных соединений, обусловленной влиянием значительных остаточных напряжений в них и ограниченным выбором способов удаления дефектов, разделки кромок и собственно сварки, которая может оказывать существенное влияние на свойства сварных соединений восстановленной конструкции [1, 3, 5, 6].

Так, в работе [7] отмечается, что ремонтная сварка способствует образованию в соединениях большего количества повреждений, чем при обычной первоначальной сварке. Это обусловлено тем, что ремонтная сварка более кратковременна, чем первоначальная. Поэтому при ее выполнении образуется больше участков, на которых происходили процессы начала и окончания сварки. Для этих участков характерны повышенные скорости охлаждения металла, что приводит к увеличению его твердости и склонности к образованию холодных трещин. Еще одной особенностью таких соединений является образование участков металла с неблагоприятной охрупченной структурой.

Данные работы [8] свидетельствуют, что из-за увеличения уровня остаточных напряжений и образования неоднородностей структуры при ремонтной сварке значения ударной вязкости снижаются на 20... 25 % по сравнению с исходным вариантом.

В работе [6] установлено, что вблизи исправленных сваркой дефектных участков могут возникать дефекты, обусловленные пластическими деформациями укорочения. Склонность сварных соединений к образованию таких дефектов тем больше, чем меньше их деформационная способность.

Для ремонтной сварки характерно также появление микротрещин в ледебуритном слое на поверхности реза, осуществляемого кислородной горелкой [3], наличие подрезов, несплавлений, неметаллических включений. При ремонтной сварке возможно образование ламелярных трещин [5].

В работе [9] отмечается, что отремонтированные тавровые сварные соединения стали средней прочности имеют более низкую сопротивляемость образованию усталостных трещин, чем не подвергавшиеся ремонтам соединения той же стали. Это объясняется тем, что в ремонтных сварных сое-



динениях обнаруживается неоднородность прочностных свойств (участки металла с повышенной хрупкостью). Сопrotивляемость усталостному разрушению указанных сварных соединений возрастает после дугового оплавления угловых швов.

По мнению авторов работы [2], технологии восстановления следует уделять большее внимание, чем первоначальной сварке. Важнейшей задачей при этом является выбор или разработка таких сварочных технологий, которые обеспечат низкий уровень остаточных напряжений и позволят в ряде случаев отменять мероприятия по их снятию.

Основными дефектами, исправляемыми ремонтной сваркой, являются усталостные трещины. Причиной их появления могут быть неадекватный проект конструкции, высокий уровень напряжений, неправильный выбор сварочных материалов, не способных обеспечить необходимую вязкость и свариваемость соединений, неудовлетворительное выполнение термической резки, недостаточное проплавление, наличие подрезов, вибрация, коррозионная среда, эксплуатационные нагрузки [10].

При эксплуатации большегрузных автосамосвалов, экскаваторов, бульдозеров в условиях севера в них зафиксированы многочисленные случаи образования усталостных трещин, которые при пониженных климатических температурах инициируют хрупкое разрушение [5].

Значительная часть простоев автосамосвалов связана с ремонтом сварной рамы. Ее разрушение, как правило, начинается в сварном шве в зоне конструктивного или технологического концентратора напряжений, а также в области перехода от более жесткого узла к менее жесткому. В дальнейшем трещина распространяется как по металлу шва в зоне термического влияния (ЗТВ), так и по основному металлу до полного разрушения узла рамы. Причинами разрушения могут служить непровары, подрезы, холодные трещины. Зачастую трещины появляются в узлах крепления передней подвески, а именно: в околошовной зоне по металлу стенки вертикальной стойки (концентратору напряжений, испытывающему повторные динамические нагрузки непосредственно от подвески).

Одним из слабых узлов автосамосвала М-200 с точки зрения трещинообразования является обод колеса. Многочисленные трещины обнаруживаются в колесе по околошовной зоне шва, соединяющего конусообразующую часть детали с цилиндрической. Причина данного разрушения — конструктивный концентратор напряжений. Трещина развивается под влиянием коррозионной среды, циклического и ударного нагружений.

Установлено, что при повторных статических нагрузках в металле магистральных трубопроводов могут происходить деформационные повреждения, в которых развивается процесс старения. Старение в сочетании с наводороживанием приводит к охрупчиванию металла, снижению ударной вязкости и пластичности, и как следствие, — к разрушению [11].

Особенности и причины разрушения конструкций должны быть учтены при разработке технологии их восстановления. В связи с этим в работе

[7] рекомендуется перед проведением ремонтной сварки проанализировать следующее:

— позволяет ли состояние данной сварной конструкции производить на ней ремонтную сварку;

— сколько ремонтов можно производить на одном и том же участке сварной конструкции;

— какая технология может быть использована для обеспечения лучшей работоспособности и меньшей степени деградации свойств металла вблизи сварного соединения.

В работе [1] акцентируется внимание на обязательном осуществлении неразрушающего контроля поврежденных узлов изделия для установления границ залегания дефектов и идентификации основного металла перед ремонтной сваркой. Для последнего требуется определять его химический состав, а также проводить металло- и спектрографические исследования.

При ремонтной сварке выполняют удаление трещин, формирование разделки кромок, собственно ремонтную сварку и сопутствующие ей процессы [5, 10, 12]. При необходимости улучшают дизайн конструкции, обрабатывают сварные соединения для снятия напряжений и повышения свойств металла. После сварки обязательно контролируют качество соединений.

Перед удалением трещины необходимо высверлить отверстия у ее вершины, а затем устранить поверхностные трещины с помощью шлифовки [13]. Удаление металла вблизи трещины следует выполнять за ее видимые границы, не должно оставаться дефектов, которые могут инициировать появление новых трещин [10]. Зону металла вблизи удаленной трещины необходимо контролировать ультразвуковым или рентгеновским методами.

Для удаления трещины и формирования разделки кромок используют различные способы обработки металла: газокислородную резку, воздушно-дуговую строжку угольным электродом, дуговую резку специальными электродами, шлифовку, фрезеровку и т. д.

Для удаления дефектов и выполнения разделки кромок рекомендуется использовать воздушно-дуговую строжку металла специальными электродами [5].

При ремонте стойки и рукояти экскаваторов ЭКГ-12.5, изготовленных из сталей 08ГДНФА и ИЖ-6, разделку кромок осуществляли воздушно-дуговой строжкой угольным электродом [5]. Образующийся при этом науглероженный слой удаляли абразивным кругом. При отсутствии воздушно-дуговой строжки можно применять газовую резку. Однако при этом необходимо удалить твердый слой металла, что является весьма трудоемкой операцией. В этой же работе отмечается, что обнаруженные в узлах автосамосвалов трещины удаляли способом воздушно-дуговой строжки с применением угольных электродов. Подготовленные кромки зачищали абразивным камнем до полного удаления ржавчины, окалина, масла и других загрязнений.

В то же время наиболее предпочтительным способом для формирования разделки кромок является механическая обработка [14]. Соединения,



разделку кромок для сварки которых выполняли способом фрезерования с помощью специального устройства, имели более высокую сопротивляемость усталостным разрушениям, чем соединения с разделкой кромок, произведенной газокислородной резкой.

В работе [5] отмечается, что на свойства сварных соединений оказывают влияние параметры разделки кромок. Слишком узкая разделка способствует возникновению дефектов (шлаковых включений, несплавлений с основным металлом), а слишком широкая — увеличивает продолжительность сварки, затрудняет управление тепловложением и приводит к большому расходу сварочных материалов.

В связи с этим для балки рукоятки и двуногой стойки толщиной 50 и 30 мм наиболее оптимальными являются следующие параметры разделки: скос каждой кромки 10° , зазор 12 мм, подкладное кольцо толщиной более 3 мм и шириной 20...24 мм. Температура предварительного подогрева для балки рукоятки равна 230, а для стойки — 120°C .

После удаления повреждений и формирования разделки кромок приступают непосредственно к процессу сварки. Разработке технологического процесса ремонтной сварки обычно предшествуют исследования, целью которых является изучение влияния того или иного фактора на работоспособность восстановленного узла конструкции. Поскольку значительная доля разрушений конструкций связана с образованием в них усталостных трещин, естественно, акцент в тематике исследований направлен на разработку способов повышения сопротивляемости отремонтированных соединений этому виду разрушения.

В работе [15] описаны исследования сопротивляемости усталостным разрушениям в стыковых сварных соединениях морских конструкций из стали St-52-3, подвергавшихся ремонтам. Испытания проводили на образцах толщиной 200 мм и длиной 500 мм. Образцы имели первоначальные стыковые швы, выполненные сваркой под флюсом. Затем на этих образцах моделировали ремонтные этапы работ. Производили разделку под ремонтную сварку вблизи первоначального шва (в месте возникновения усталостных трещин). После этого выполняли многопроходную ремонтную сварку в специальной камере, заполненной инертным газом под давлением 1,6 МПа с применением пульсирующей дуги. Давление газа, создаваемое в камере, соответствовало давлению воды на глубине 160 м.

Испытания на усталость проводили на воздухе и в морской воде на базе 2 млн циклов при нулевом цикле нагружения. Большинство образцов разрушились по ремонтным швам, некоторые — по первоначальному швам. Пределы выносливости σ_0 для образцов, выполненных по оптимальной и реальной технологиям, равнялись соответственно 116 и 107 Н/мм^2 . У образцов, выполненных по реальной ремонтной технологии и испытанных в морской воде, $\sigma_0 = 40\text{ Н/мм}^2$. Испытания показали, что предел выносливости сварных ремонтных соединений существенно снижается под действием морской воды.

В работе [16] описано усовершенствование технологии ремонтной сварки рельсов путем замены ручной дуговой сварки механизированной в углекислом газе. При испытании сварных рельсов на усталость установлено, что наибольшую сопротивляемость усталостным разрушениям имеют отремонтированные сварные соединения рельсов, выполненные механизированной сваркой в углекислом газе с предварительным и сопутствующим подогревом.

Соединения рельсов, полученные в углекислом газе проволокой Св-08ХЗГ2СМ с подогревом изделий, имеют несколько более высокую сопротивляемость усталостным разрушениям, чем соединения, выполненные с подогревом проволокой Св-08Г2С. Отремонтированные с использованием сварки с предварительным и сопутствующим подогревом проволокой Св-08ХЗГ2СМ рельсы имеют сопротивляемость усталостным разрушениям, равную таковой цельнокатаных рельсов.

В работах [17, 18] описан способ повышения сопротивляемости сварных соединений усталостному разрушению, основанный на применении сварочной проволоки с 10 % Ni и 10 % Cr, которая обеспечивает низкую температуру мартенситных превращений в металле сварного шва. Мартенситные превращения сопровождаются увеличением объема и расширением металла шва на конечной стадии охлаждения. Благодаря этому в сварном соединении возникают сжимающие остаточные напряжения, способствующие повышению сопротивляемости сварных соединений усталостным разрушениям.

С применением данного способа выполнили ремонтную сварку тавровых соединений стали SM 570 с $\sigma_{0,2} = 579\text{ МПа}$ в смеси 80 % Ar и CO_2 на режиме $I_{\text{св}} = 290\text{ А}$, $U_{\text{д}} = 30\text{ В}$, $v_{\text{св}} = 30\text{ см/мин}$. Температура начала мартенситного превращения составляла 180°C , а заканчивалось оно при комнатной температуре. Предел выносливости сварных соединений, выполненных указанной проволокой, в 2 раза выше, чем у соединений, в металле которых не происходят превращения, сопровождающиеся увеличением объема.

Кроме перечисленных способов, для повышения сопротивляемости сварных соединений усталостным разрушениям, рекомендуется применять специальные виды обработки, такие как ударная обработка, шлифовка, оплавление швов с использованием технологии ТИГ и др. [4, 19–21].

Обработка сварных соединений пневматическим молотком создает в них сжимающие напряжения, которые повышают сопротивляемость усталостным разрушениям [20]. Наилучшие результаты достигнуты при ударной нагрузке 280 кПа и шестиразовой обработке одного и того же сварного соединения. Толщина пластически деформированной зоны составляла 0,5 мм.

В работе [4] приведены результаты испытания на трехточечный изгиб тавровых соединений стали повышенной прочности с $\sigma_{0,2} = 400\text{ МПа}$, моделирующих наиболее широко распространенные узлы сварных конструкций. Образцы длиной 220 мм, шириной 68,5 мм и толщиной 12,5 мм с попе-

речным ребром сваривали вручную покрытыми электродами. Испытания показали, что в результате снятия усиления шва шлифовальным кругом сопротивление усталостным разрушениям образцов повышается больше, чем после проковки пневматическим молотком (соответственно в 2,6 и 2,5 раза). Это объясняется тем, что при проковке в поверхностном слое металла толщиной 3,5 мм образуется наклеп и заметно увеличивается твердость, а при шлифовке твердость металла существенно не возрастает.

Рекомендуется подвергать ремонтные сварные соединения таким видам обработки, которые повышают сопротивление разрушениям [10]. Отмечается, что в ремонтных соединениях необходимо снижать уровень остаточных напряжений растяжения, уменьшать остроту надреза, удалять трещиноподобные дефекты. Для этого отремонтированные сварные соединения следует шлифовать, оплавливать вольфрамовым электродом в инертном газе или плазменной горелкой, проковывать пневматическим молотком. Первые два способа улучшают форму сварного соединения, третий — снижает уровень остаточных напряжений растяжения в них.

Образцы, имитирующие узлы мостовых конструкций, подвергали ремонтной сварке с применением различных технологий [22]:

сварка с полным проплавлением, сварочные валики обрабатывали шлифовальным кругом;

сварка с выполнением ремонтных швов по той же технологии, что и в первом случае, а затем оплавление вольфрамовым электродом в инертном газе по способу ТИГ;

заварка с выполнением дополнительных швов для увеличения глубины первоначального шва, затем валик оплавливали вольфрамовым электродом в инертном газе.

После ремонтной сварки образцы подвергали усталостным испытаниям, показавшим, что образцы, подвергнутые ремонту по третьей технологии, имели самую высокую сопротивляемость усталостным разрушениям. Их предел выносливости в 3 раза превышал предел выносливости исходных неремонтированных сварных соединений с дефектами.

Предложена методика оценки усталостной прочности сварных конструкций с дефектами, основанная на применении коэффициента улучшения W [23]:

$$W = \Delta\sigma_F / \Delta\sigma_N,$$

где $\Delta\sigma_F$ — размах приложенной нагрузки к реальному соединению; $\Delta\sigma_N$ — расчетная сопротивляемость сварного соединения разрушению при нагружении, аналогичному в реальной конструкции.

При $W < 2$ повышение усталостной прочности конструкции необходимо проводить традиционными способами (проковкой, зачисткой). В случае $W \geq 2$, помимо этих способов, целесообразно дополнительное повышение предела выносливости соединений.

После выбора сварочных материалов и способов сварки приступают непосредственно к выполнению

ремонтной сварки. При этом учитывают тип конструкции и свойства стали, из которой она изготовлена. Ниже приведены примеры выполнения ремонта конструкций различного назначения, эксплуатируемых в различных условиях и при разных видах нагрузок.

В работе [14] описан процесс ремонтной сварки автосамосвала М-200 с использованием электродов со фтористо-кальциевым покрытием марки УОНИ-13/55. Сварку выполняли короткой дугой валиками шириной не более 3 диаметров электрода, блочным способом. Блоки сваривали поочередно. Начало и конец блока смещали относительно предыдущих на 20...30 мм. При сварке применяли предварительный подогрев до 110...120 °С.

Для ремонтной сварки балки рукояти ковшей экскаваторов ЭЖГ-12,5, изготовленных из сталей 08ГДНФ и ИЖ-6 [5], изначально рекомендовали электроды ЖАНП-4. Однако из-за недостаточной пластичности стали и ее большой толщины (50 мм) предпочтение отдано электродам УОНИ-13/55. Равнопрочности сварного соединения в данном случае достигали за счет перехода в шов легирующих элементов из основного металла. Применение более пластичного присадочного металла исключает образование закалочных структур в шве, что препятствует распространению трещин, возникающих во время эксплуатации [5].

При ремонте трубопроводов первый и второй слой выполняют электродами типа FOX EV 47 диаметром 3,25 и 4,00 мм, а последующие слои — диаметром 6 мм, что позволяет измельчить структуру и предотвратить образование трещин [24]. Описана технология ремонта мостовых кранов, при эксплуатации которых в них возникают усталостные трещины в верхней полке двутавровой балки, между ребром и полкой балки и в других узлах кранов [25]. При ремонтной заварке усталостных трещин сначала удаляют трещины, а затем выполняют сварку крупными валиками за один проход. После этого сварочный валик шлифуют с целью уменьшения концентрации напряжений и повышения сопротивляемости усталостным разрушениям.

При ремонте сварных швов между верхней полкой и ребром двутавровой балки также удаляют трещины шлифовкой или воздушно-дуговой строжкой, а затем выполняют сварку угловых швов. Качество швов контролируют ультразвуковым методом.

В работе [26] описан так называемый волновой или двухцикловый способ ремонтной сварки, применяемый для оборудования электростанций, изготовленного из стали с 2,25 % Сг и 1 % Мо. Ручную дуговую сварку стыковых соединений выполняли электродами диаметром 4 мм. Время между двумя циклами при волновом способе сварки достигает 40 с. При первом цикле температура нагрева металла составляет 1350 °С, а при втором — 800 °С. Применение волнового способа позволило существенно снизить твердость металла шва и ЗТВ, поскольку при втором цикле происходит отжиг металла шва и ЗТВ, образовавшихся при прохождении первого цикла. После второго цикла сварки образуется довольно пластичная структура



металла ЗТВ с твердостью 276 HV. Применение трехволнового способа сварки позволило снизить твердость металла ЗТВ до 250 HV.

После восстановления целостности отдельных узлов или конструкций проверяют качество ремонтных соединений. Если оно после ремонтной сварки соответствует уровню качества первоначального сварного соединения, то снижение долговечности, как правило, незначительно [27].

Поскольку при ремонте сварных соединений вероятность образования в них дефектов достаточно высока, этому процессу уделяют особое внимание. Как правило, для контроля качества сварных соединений применяют ультразвуковой, рентгенографический, магнитопорошковый, выборочной разрезки сварных соединений и другие способы.

Проверку ремонтных соединений производили путем их выборочной разрезки [2]. Осматривали разрез с целью установления отсутствия или наличия сварочных дефектов, измеряли твердость. Рекомендуется производить ультразвуковой и радиографический контроль ремонтных сварных соединений.

Неразрушающий контроль ремонтных сварных соединений осуществляли с помощью ультразвука или магнитных частиц [4]. Ультразвуковой контроль проводили с целью выявления трещин, шлаковых включений, пор и т. д. Кроме того, рекомендуется измерять твердость металла шва и ЗТВ в сварном соединении по Виккерсу и контролировать изменение размеров изделия.

Необходимо отметить тот факт, что на практике выполнение ремонтной сварки в одном соединении может повторяться несколько раз. О том, как это сказывается на дальнейшей работоспособности изделия, единого мнения нет.

Так, в работе [8, 28] отмечается, что в результате ремонта увеличивается зона с измельченным зерном на 0,3; 7,6; 48,2 % по сравнению с первоначальной сваркой соответственно после первого – третьего ремонтов, но такое изменение ширины зоны с мелким зерном не влияет на прочностные свойства соединения. Как следует из работы [29], после многократных ремонтов прочностные свойства металла ЗТВ сварных соединений снижаются незначительно. В то же время ударная вязкость в металле ЗТВ сварных соединений после трех ремонтов снижается на 15...20 %. Для повышения сопротивляемости усталостным разрушениям ремонтные швы должны быть сварены без подваликовых трещин, и иметь пониженную твердость.

В работе [20] установлено, что после третьего ремонта сопротивляемость металла сварных соединений усталостным разрушениям снижалась, однако после четвертого ремонта она увеличивается, что объясняется неполным удалением усталостной трещины перед ремонтной сваркой. Другие исследователи установили, что количество ремонтов в одном и том же сварном узле нужно ограничивать тремя, поскольку их большее количество ухудшает свариваемость металла.

С учетом большой значимости ремонтной сварки в Японии создана специальная база данных по ремонтам мостов, в которых при эксплуатации воз-

никали усталостные трещины [30]. Она введена в Интернет и содержит информацию об опыте ремонта мостов в Японии и других странах. В нее включены описания восстановления 96 мостов, ремонт которых производили начиная с 1960-х гг., а также фотографии конструкций мостов, их дефектов, отремонтированных узлов конструкций, описания способов ремонта.

В базе данных указывается на существование двух подходов к ремонту повреждений, вызванных усталостным разрушением конструкции: удаление повреждений; повышение сопротивляемости конструкции усталостным разрушениям.

База данных содержит следующие разделы: область применения ремонтных технологий; условия проведения ремонтов; тип конструкции; особенности нагружения; описание повреждений; применяемые способы ремонта.

В соответствии с классификацией, приведенной в базе данных, сварные конструкции повреждаются в результате следующих причин:

- наличия дефектов, образовавшихся при сварке;
- применения узлов конструкций с низкой сопротивляемостью усталостным разрушениям;
- наличия остаточных напряжений и деформаций в сварных соединениях конструкций;
- использования конструкций, не пригодных к эксплуатации в условиях усталостного нагружения.

В базе данных приведен следующий перечень способов восстановления сварных конструкций мостов:

- удаление трещин;
- заварка мест, где были удалены трещины;
- поверхностная обработка сварных соединений с помощью оплавления вольфрамовым электродом в инертном газе или проковка пневмомолотом;
- укрепление болтами;
- улучшение формы конструкций;
- высверливание тормозящих трещину отверстий;
- модификация соединительных деталей.

В базе данных содержатся рекомендации по применению способов ремонта для различных случаев повреждения сварных конструкций. При наличии в конструкции сварочных дефектов и образовании от них усталостных трещин необходимо удалять эти трещины, заваривать места удаления трещин с последующей поверхностной обработкой сварных соединений с помощью пневмомолота для создания сжимающих остаточных напряжений.

При наличии в конструкции узлов с низкой сопротивляемостью усталостным разрушениям рекомендуется уменьшать уровни остаточных напряжений растяжения и эксплуатационных напряжений, действующих на конструкцию, путем увеличения поперечного сечения конструкции.

В базе данных приведена информация о наблюдениях за отремонтированными сварными конструкциями мостов в течение многих лет, свидетельствующая о существенном увеличении срока эксплуатации конструкции до появления новых повреждений после улучшения формы конструкции.

Представленный обзор свидетельствует о большом значении ремонтной сварки. Приведенная в нем информация помогает успешно решать определенные задачи по восстановлению поврежденных конструкций. Вместе с тем остается еще много неясных вопросов, требующих уточнения.

- Maccocaire C. Repair welding: how to set up a shop // *Welding J.* — 1991. — № 8. — P. 54–56.
- Irving R. R. Can industry afford the high cost of weld repair? // *Iron Age.* — 1980. — № 3. — P. 49–55.
- A study on cracks on the oxygas cut surfaces of weld grooves of 14MnMoVN steel plates during cold forming // Y. Donglin, H. Yongfu, Z. Rangez et al. // *Trans. China Welding Inst.* — 1982. — № 4. — P. 159–164.
- Branco C. M., Infante V., Maddox S. J. A fatigue study on the rehabilitation of welded joints. — S. I. [1999]. — 29 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1769–99).
- Ларионов В. П. Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. — Новосибирск: Наука, 1986. — 168 с.
- Волков А. С. Причины появления дефектов вблизи исправленных участков сварных швов // *Свароч. пр.-во.* — 1974. — № 8. — С. 33–34.
- Somardzic I., Siewert T. Reliability improvements in repair welding of high strength steels. — S. I. [2001]. — 13 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-2002–01).
- Lai M. O., Fong H. S. Fatigue performance of repaired pipelines steel weld // *J. Mater. Sci. Lett.* — 1988. — № 12. — P. 1353–1354.
- Brink S. H. van den. Reparatielassen // *Lastechniek.* — 1989. — № 2. — P. 40–41, 43, 45, 47.
- Recommendation on the repair of fatigue-loaded welded structures. — S. I. [1996]. — 16 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1632–96).
- О старении и оценке состояния металла эксплуатируемых магистральных трубопроводов / Б. Е. Патон, С. Е. Семенов, А. А. Рыбаков и др. // *Автомат. сварка.* — 2000. — № 7. — С. 3–12.
- Petershagen H. Recommendation de le'IS concernant la reparation de structures soudees sollicitees en fatigue // *Soudage et techn. connexes.* — 1999. — № 5/6. — S. 29–34.
- Miki C. The repair of fatigue loaded welded structures. — S. I. [1997]. — 10 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII WG5–14–97).
- Рекомендации по выполнению сварочно-монтажных работ при изготовлении и ремонте металлоконструкций и деталей машин, предназначенных для работы в районах Крайнего Севера / В. П. Ларионов, Р. С. Григорьев, О. И. Слепцов, К. Н. Тулоханов. — Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1980. — 23 с.
- Rohe R., Wornicke R. Schwingfestigkeitsuntersuchungen an hyperbar geschweißten Reparaturen // *Schweissen und Schneiden.* — 2000. — № 3. — S. 150–157.
- Сергеев Ю. В., Носовский Б. И., Чугарев В. В. Совершенствование технологии ремонта железнодорожных рельсов с применением дуговой сварки // *Автомат. сварка.* — 1998. — № 3. — С. 46–48.
- Ohta A., Maeda Y., Suzuki N. Fatigue life extension by repairing fatigue cracks initiated around box welds with low transformation temperature welding wire. — S. I. [2000]. — 13 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1835–00).
- Ohta A., Suzuki N., Maeda Y. Extension of fatigue life by additional welds using low transformation temperature welding material. — S. I. [2001]. — 8 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1881–01).
- Miki C. Repairing and reinforcing of fatigue demanded steel bridges // Intern. conf. on performance of dynamically loaded welded structures (San-Francisco, July 14–15, 1997). — San-Francisco, 1997. — P. 286–298.
- Dixter R. J., Kelly B. A. Research on repair and improvement methods // *Ibid.* — P. 273–285.
- Miki C., Anami K., Kaji H. Repair of fatigue cracks bridge structures. — S. I. [1997]. — 14 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII WG5–12–97).
- Konishi T., Miki C. Fatigue assessment of repaired structural components. — S. I. [1998]. — 24 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1732–98).
- Chapeau W. Choix d'un mode de reparation des fissures de fatigue dans les constructions soudees // *Revue Soudure.* — 1988. — № 3–4. — P. 31–35.
- Alberry P. J., Myers J., Chew B. An improved welding technique for heat affected zone refinement // *Welding and Metal Fabrication.* — 1977. — № 9. — P. 549–553.
- Timossi L., Servetto C. Inspection and repairing methodologies on cracks in steel manufacturing plants. — S. I. [1996]. — 9 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XV-908–96).
- Bowers R. J., Letts M. W. Weld-repair simulation in 2,25Cr-1Mo steel. — S. I. [1996]. — 21 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-1856–96).
- Gregory E. N., Slater G., Woodley C. C. Weld repair of cracks in steel bridge members // *Rept. Nat. Coop. Highway Program.* — 1989. — № 321. — P. 1–4.
- Lai M. O., Fong H. S. Effect of repeated repairs on the strength of welded joints // *Welding J.* — 1989. — № 6. — P. 28–30.
- Blagojevic A. Utjecaj popravljivanja grešaka na kvalitet zavarrenog spoja celika povisene č30. vrtoč31. // *Zavarivanje.* — 1975. — № 4. — S. 111–122.
- Miki C., Goto E., Jto Y. Data base of repair case for fatigue failure on Internet. — S. I. [2001]. — 13 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1887–01).

Peculiarities of performing repair welding operations in reconditioning of metal structures, mechanisms, machines and engineering facilities are reviewed. Methods for repair of defects and groove preparation, repair welding technologies, welding consumables used for repair, and methods for inspection of quality of welded joints, which are most extensively applied for repair and reconditioning operations, are described.

Поступила в редакцию 20.09.2004

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ СВАРНЫХ БАЛЛОНОВ

Технология разработана в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и направлена на решение двух приоритетных задач: снижение удельной массы и повышение эксплуатационной надежности.

Новый подход заключается в слоистом устройстве стенки баллонов и рациональном сочетании металлов с разными физико-механическими свойствами. Он позволяет:

- ✓ применять металлы с высокой удельной прочностью;
- ✓ повысить эксплуатационную надежность путем сведения к минимуму несовершенства конструкции, связанные со сварными швами на цилиндрической части и горловине;
- ✓ сделать технологию простой и доступной для осуществления в заводских условиях.

Зарубежные аналоги отсутствуют.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 12
Тел.: (38044) 269 06 90, 261 50 58



О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ*

П. В. ИГНАТЧЕНКО, А. И. БУГАЙ, инженеры (Ассоциация «Электрод», г. Киев)

Приведены данные об общих объемах производства сварочных материалов в странах СНГ в 2003 г., а также о доле их производства в России и Украине. Отмечены тенденции увеличения объемов производства электродов малого диаметра. Сделан анализ имеющихся производственных мощностей по выпуску сварочных материалов.

Ключевые слова: сварочное производство, сварочные материалы, тенденция развития производства, сырьевые компоненты, качество

Анализ развития производства сварочных материалов в 2003 г. в странах СНГ показал, что оно напрямую зависит от объема выпуска стали и проката в РФ и Украине.

Так, в 2003 г. металлургами РФ произведено 61,4 млн т стали и 51,4 млн т проката. По сравнению с 2002 г. выпуск стали увеличился на 3, проката — на 5,5 %. В Украине произведено 36,9 млн т стали и 29,1 млн т проката (прирост составил соответственно 10 и 14 %), мировое производство стали достигло 945140 млн т (прирост — 6,7 %).

Общий объем производства покрытых сварочных электродов в 2003 г. в странах СНГ составил 273542 т, из них 77,5 % приходится на предприятия РФ, 17,5 — Украины и 5,0 % — остальные страны СНГ. В прошлом году общий объем производства покрытых электродов увеличился по сравнению с 2002 г. на 11 %, в том числе в РФ на 12, в Украине — на 7,6 %. Объем производства электродов с рутильменитовым покрытием составил 178480 т, с основным — 82439 т. Выпуск электродов специального назначения для сварки высоколегированных сталей и цветных металлов достиг 12622 т, т. е. увеличился на 25 %.

В РФ изготовлено 212194 т электродов, в том числе с рутильменитовым покрытием 128535 т, с основным — 71599 т, специальных электродов — 12059 т; в Украине — 47624,4 т, из них с рутильменитовым покрытием — 37636,3 т, с основным — 9428,5 т, специальных электродов — 560,6 т. Наметились тенденции роста производства электродов малого и среднего диаметра (2...4 мм), суммарный выпуск которых составил 238543 т, что на 10,6 % больше, чем в 2002 г. Изготовлено электродов диаметром 5 и 6 мм соответственно 33503 и 1501 т. Таким образом, произведено 87 % электродов диаметром до 5 мм.

Общий объем выпуска легированной сварочной проволоки диаметром до 2 мм для механизированной сварки в защитных газах составил 38723 т,

в том числе диаметром 0,8...1,4 мм — 17108 т. В РФ изготовлено 25123 т указанной проволоки, в том числе диаметром 0,8...1,4 мм — 9708 т, а в Украине — 13600 т, в том числе диаметром 0,8...1,4 мм — 7860 т.

По сравнению с 2002 г. общий объем выпуска проволоки вырос на 5,9, в РФ — на 6,4, в Украине — на 4,9 %. Налажен промышленный выпуск омедненной сварочной проволоки, которая по заказам потребителей поставляется на шпулях и катушках с рядной намоткой массой от 5 до 15 кг. Поставщиками такой проволоки в основном являются предприятия-члены ассоциации такие, как ОАО «Межгосметиз-Мценск», ОАО «МММЗ», ОАО ЧСПЗ и ОАО «ОСПАЗ». В 2002 г. омедненной проволоки изготовлено 3890 т.

В 2003 г. порошковой проволоки выпущено всего 3585,1 т, в том числе сварочной — 1948,0 т, наплавочной — 1637 т, выпуск ленты по сравнению с 2002 г. составил 177 т (увеличился на 25 %). Объем производства порошковой проволоки в РФ составил 25351 т, сварочной — 1579 т, наплавочной — 956,1 т; в Украине — 1050 т, в том числе сварочной — 271,0 т, наплавочной — 779 т.

В 2004 г. сварочных флюсов произведено 31106 т, в том числе в РФ 6051 т, в Украине — 25055 т. Объем производства сварочного флюса по сравнению с 2002 г. в РФ уменьшился на 42 %, в Украине увеличился на 29 %.

В 2003 г. общий объем производства сварочных материалов составил 367695 т, в том числе для механизированной сварки — 94153 т. На долю сварочных материалов для механизированной сварки приходится 26 % общего выпуска.

Из приведенных данных видно, что основной объем сварочных работ в странах СНГ по-прежнему выполняется с использованием электродов. Однако несмотря на низкий уровень механизированной сварки такое положение временное, поскольку уже с 2003 г. наместились изменения в лучшую сторону. Необходимо всесторонне уделять внимание развитию механизированной сварки в странах СНГ, как это делается в промышленно развитых странах мира.

На сегодня в странах СНГ имеется достаточно производственных мощностей для изготовления сварочных материалов как для ручной, так и механизированной сварки. Но из-за медленного темпа

* Данный материал в виде доклада был заслушан на III Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ (г. Днепропетровск, 1–4 июня 2004 г.).

роста выпуска промышленной продукции существующие мощности не загружены.

По этой же причине прекратили существование крупный электродный цех (на 40 тыс. т) ОАО «Сулинский металлургический завод» и его оборудование распродается, а также электродный цех Волгодонского «Атоммаша». Почти не работает электродный цех, который производил на бывшем ОАО «Одесский сталепрокатный завод» (ныне ОАО «Сталеканатный») 35 тыс. т продукции, долгое время не работали и только сейчас начали функционировать электродные цехи Гомельского завода пусковых двигателей, ОАО «ДЭИЗСМ» (г. Днепропетровск) и др.

Несмотря на финансовые трудности и нестабильную реализацию продукции предприятия-члены ассоциации уделяют большое внимание реконструкции и техническому переоснащению электродных цехов, замене устаревшего и морально изношенного оборудования на новое. В этом плане заслуживает высокую оценку деятельность таких предприятий, как ЗАО «ЭЛЗ», ООО «Сычевский электродный завод», ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона, ЗАО «Артемаш-Вистек», ОАО «Спецэлектрод», ОАО «Межгосметиз-Мценск», ЗАО «ШЭЗ», ОАО «МММЗ», ОАО «ОСПАЗ», ООО «Новооскольский электродный завод» (бывший ОАО «Дон»), ЗАО «Сварочные электроды «СИБЭС» и др.

При анализе состояния производства сварочных электродов в странах СНГ, вызывает обеспокоенность увеличение количества малых электродных участков, которые создаются без учета спроса на электроды. Причем этот процесс широко распространился и на страны Средней Азии. По ориентировочной оценке, общее число участков по производству сварочных электродов в странах СНГ превысило 350 и продолжает увеличиваться. И это притом, что в перспективе значительного роста выпуска промышленной продукции не ожидается. Необходимо также учитывать, что в ближайшие годы прогнозируют увеличение доли механизированных способов сварки — порошковыми проволоками, легированными проволоками в защитных газах и под слоем флюса.

Следует отметить, что в 1958 г. в бывшем Советском Союзе электроды изготавливали общим объемом 208 тыс. т на 251 предприятии, но в основном для собственных нужд. Механизированная сварка в те годы только начинала зарождаться. Легированной сварочной проволоки было произведено 230 т, порошковую проволоку не выпускали совсем, а выпуск флюса составлял 40,6 тыс. т.

В то время заводы-производители электродов имели свои заводские лаборатории, где и проводили необходимые анализы. Что же происходит в начале XXI в.? Большинство малых производств не имеют необходимых аналитических лабораторий, что ставит под сомнение качество выпускаемых ими электродов. Создатели таких малых производств заинтересованы не в качестве продукции, а в получении сиюминутной прибыли. Многие из них некомпетентны в вопросах технологии электродного производства, поэтому их «опекают» различные консультанты-посредники, кото-

рые заинтересованы в получении прибыли, но которых не беспокоит дальнейшая судьба созданного малого производства.

Зачем сегодня в Украине около 100 мелких производителей сварочных электродов (например, только в Днепропетровске и области их 19)? До перестройки в Украине 28 цехов производили 192 тыс. т, а сейчас выпускают около 50 тыс. т, причем основная доля сварочных электродов по-прежнему приходится на крупные предприятия. Возникает вопрос, зачем наращивать количество мелких производств, если крупные не загружены? По-нашему мнению, значительного роста потребления сварочных электродов в ближайшее время не ожидается. В связи с этим малые предприятия должны в этих условиях предлагать рынку только высококачественные электроды. Некоторые из них имеют для этого все необходимое — высококвалифицированные кадры, соответствующую оснащенность цехов и лабораторий, которым под силу выпускать широкую номенклатуру электродов и изготавливать высококачественные сварочные электроды. Особенно хочется отметить такие малые предприятия-члены ассоциации, как ЗАО «Электрод» (г. Железнодорожск), ООО «Электрод» (г. Тольятти), ЗАО «Свама» (С.-Петербург). Известны также аналогичные предприятия, не входящие в состав ассоциации такие, как ООО «Ротекс» (г. Краснодар), ООО «Арксэл» (г. Донецк) и др.

Что же касается объема производства сварочных материалов для механизированной сварки, то существующие мощности по производству сварочной проволоки марки Св-08Г2С для сварки в защитных газах используются на 18, порошковой проволоки — на 10, сварочного флюса — на 16 %. Техническая оснащенность указанных производств остается на уровне перестроечного периода, и оборудование продолжает морально и физически изнашиваться. Очевидно, что в ближайшие десять лет потребуются переоснащение производства.

Так, цеха по выпуску легированной сварочной проволоки в России ОАО «Запсибметкомбинат», ОАО «ЧСПЗ», ОАО «ОСПАЗ», ОАО «Белметкомбинат» и в Украине ОАО «ЗСПЗ», ОАО «Стальметиз» (ныне ОАО «Сталеканат») находятся пока в удовлетворительном состоянии. Это касается также цехов по производству порошковой проволоки ОАО «ЧСПЗ» (РФ), ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона, ООО «Велдтек» на базе ОАО «Днепрометиз» (Украина). После перестройки значительно пострадал цех ОАО «ДЭИЗСМ» — из 11 вольфрамовых станков осталось только 7.

Серьезное техническое переоснащение осуществлено в цехах ОАО «МММЗ», где планируют выпускать порошковые сварочную и наплавочную проволоки, в том числе малого (1,2... 1,6 мм) диаметра.

Кроме перечисленных предприятий, в Украине порошковые проволоки изготавливают ОАО «Торезвердосплав», ООО «Арксэл», НТЦ ИЭС им. Е. О. Патона и Дубровицкий ДП «Искра».

В настоящее время основными производителями и поставщиками сварочного флюса являются ОАО



«Запорожский завод флюостеклоизделий», ОАО «Никопольский завод ферросплавов» (Украина) и ОАО «Челябинский трубный завод» (РФ). ОАО «ЭСП ЭЛКОМ» и ОАО «Ижорские заводы» производят в год до 1 тыс. т флюсов специального назначения, но в основном для собственных нужд.

Подводя итоги анализа состояния производства сварочных материалов в странах СНГ, следует отметить, что существующие мощности позволяют в ближайшие годы полностью удовлетворить потребности народного хозяйства стран СНГ в качественных сварочных материалах в необходимых количествах, номенклатуре и сортаменте.

Одним из важнейших направлений развития рассматриваемой отрасли является организация производства новых конкурентоспособных сварочных материалов. Однако за последние годы из-за отсутствия бюджетного финансирования в основном приходилось использовать сварочные материалы устаревших марок, особенно это касается электродов. В результате производители вынуждены создавать новые сварочные материалы за счет собственных средств. Такие разработки ведут следующие предприятия-члены ассоциации: ЗАО «ЭЛЗ» (г. С.-Петербург), ОАО «Сычевский электродный завод», ОАО «Спецэлектрод», ЗАО «ШЭЗ», ЗАО «Сварочные электроды СИБЭС», ОАО «ЧСПЗ», ЗАО «Артемаш «Вистек» и др. Несмотря на финансовые трудности созданием сварочных материалов целенаправленно занимаются флагманы сварочной науки — ИЭС им. Е. О. Патона, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» и др. Например, в ИЭС им. Е. О. Патона созданы целлюлозные электроды, в том числе для сварки высокопрочных сталей, новые порошковые проволоки и флюсы; в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» совместно с другими предприятиями разработаны несколько марок электродов для судостроения энергетического и нефтехимического машиностроения, которые прошли опытно-промышленную проверку и широко применяются в промышленности.

Малым производителям решить эту проблему не по силам. Кроме того, не проявляют интерес к созданию конкурентоспособных сварочных материалов их потенциальные потребители. Создается впечатление, что они не заинтересованы в развитии отечественных производителей сварочных материалов и продолжают закупать их за рубежом по высокой цене.

Учитывая изложенное выше считаем, что обща изготовители и потребители должны добиваться в государственных структурах финансирования для создания новых конкурентоспособных сварочных материалов, обеспечивающих высокие сварочно-технологические свойства на уровне ведущих зарубежных фирм.

Для этого необходимо создать из числа заинтересованных представителей России и Украины (ОАО «НПО «ЦНИИТмаш», ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ИЭС им. Е. О. Патона, Институт сварки России, ОАО «ВНИИмонтажспецстрой» и другие институты и акционерные общества, РНТСО и Общество сварщиков Украины) рабочую группу по разработке комплексной приоритетной

программы, в которой следует предусмотреть развитие научных исследований по следующим направлениям:

создание нового поколения сварочных материалов, включая электроды с высокими сварочно-технологическими свойствами, предназначенными для сварки металлоконструкций, которые эксплуатируются в экстремальных условиях Крайнего Севера, в морских и нефтегазовых комплексах, атомной энергетике, конкурентоспособных аналогичной зарубежной продукции;

повышение технического уровня и культуры производства сварочных материалов за счет применения новых и совершенствования существующих прогрессивных технологий, позволяющих улучшить их технико-экономические показатели;

изыскание и применение более доступных по цене сырьевых компонентов, обеспечивающих создание новых конкурентоспособных сварочных материалов по сравнению с зарубежными аналогами.

Следует также рекомендовать членам ассоциации (разработчикам, предприятиям-производителям сварочных материалов и технологического оборудования) выполнять весь комплекс работ, связанных с совершенствованием сварочных материалов.

В этой связи дирекция ассоциации должна проработать эти вопросы с перечисленными выше институтами, акционерными обществами, РНТСО, Обществом сварщиков Украины и государственными структурами, после чего подготовить соответствующие предложения для рассмотрения их на очередном расширенном заседании совета.

Положительный результат возможен только при условии заинтересованности предприятий, особенно ассоциации, которая должна взять на себя проработку указанной программы. Этот вопрос требует серьезного обоснования, сил и энергии, и если мы не добьемся его решения, то наши сварочные материалы, особенно электроды, со временем станут продукцией второго сорта.

За период между конференциями в странах СНГ значительно улучшилось качество производимых сварочных материалов, внедрены прогрессивные технологические процессы, создано новое технологическое оборудование. Несколько улучшилось состояние поставок сырьевых компонентов. Но начиная с конца 2003 г. в РФ и Украине работники метизных производств и особенно посредники значительно повысили цены на сварочную проволоку для производства электродов (в РФ — на 72, в Украине — на 37 %), ферромарганец (в РФ — на 98, в Украине, например, на Никопольском заводе ферросплавов — на 268 %). Однако даже при таких высоких ценах проволоки на метизных предприятиях нет. Возможно, это связано с продажей катанки за рубеж по демпинговым ценам. Возникает вопрос, кому это выгодно?

Ассоциация подготовила и направила по этому вопросу письма в Федеральную антимонопольную службу России, а также в антимонопольный комитет Украины, но ответов пока не получила. Из источников массовой информации стало известно, что антимонопольный комитет Украины обя-

зал поставщиков металлургической и метизной продукции продолжать поставки по старым ценам. Однако имела место обратная реакция — указанные поставки перестали выполнять даже по новым ценам. Таким образом, ситуация осложнилась. Мы продолжаем добиваться снижения цен, но пока безрезультатно.

В 2000 г. совет ассоциации проводил совещания с поставщиками сырьевых компонентов, где договорились, что поставки будут выполнять без посредников. Однако с 2003 г. началась новая волна привлечения посредников, что вызвало новый скачок цен и отрицательно сказалось на конкурентоспособности сварочных материалов, особенно электродов. Получая катанку по демпинговой цене и изготавливая из нее проволоку, зарубежные поставщики могут легко наводнить наш рынок более дешевыми электродами, тем самым подрывая экономику стран СНГ. Исходя из этого следует обратиться в правительственные органы с требованием положить конец увеличению цен на компоненты.

На расширенное собрание ассоциации, состоявшееся в г. Череповце в июне 2003 г. на базе ОАО «ЧСПЗ», был приглашен первый заместитель генерального директора ОАО «КФЗ» Н. В. Кузьмин. Здесь рассмотрели вопрос об организации производства ферротитана и было вынесено следующее решение: ЗАО «ЭЛЗ» с привлечением ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» и ЗАО «Свама»

подготовить технические требования на электродный ферротитан; дирекции ассоциации следует отослать их отдельным предприятиям, изготовителям электродов, для экспертного заключения. С целью выпуска опытной партии ферротитана ЗАО СП «Элком» поручили организовать поставку ОАО «КФЗ» 2 т ильменитового концентрата с Ареадненского месторождения Приморского края, а ЗАО «ШЭЗ» — такое же количество ильменита с Вольногорского ГМК. Поставки были выполнены, но оказалось, что Ареадненский ильменит, по утверждению Н. В. Кузьмина, не соответствовал ранее присланному сертификату по содержанию серы и фосфора, по этой же причине не подошел ильменит Вольногорского ГМК. Дирекция ассоциации осуществила оценку ильменитового концентрата Иршинского месторождения и ильменита из Казахстана. Иршинский ильменит по своему химическому составу был забракован, казахский также не соответствовал требованиям сертификата. Как выяснилось, добыча ильменитового концентрата в Приморском крае и Казахстане является сезонной. Там добычу этого концентрата начнут в ближайшее время и смогут обеспечить его сепарацию для получения ферротитана нужного качества.

Надеемся, что совместными усилиями будет решена проблема обеспечения электродчиков качественным ферротитаном.

Data are given on overall volumes of welding consumable manufacture in CIS countries in 2003, as well as share of their production in Russia and Ukraine. Tendencies of increasing of volumes of small diameter electrode manufacture are noted. Analysis of the available capacities of welding consumable manufacture has been made.

Поступила в редакцию 01.06.2004



IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СВАРКА— 2005

21–24 июня 2005 г.

г. Нижний Новгород

ТЕМАТИКА ВЫСТАВКИ:

- ✓ Оборудование и оснастка для контактной сварки
- ✓ Оборудование для специализированных способов сварки
- ✓ Машины и оборудование для дуговой сварки и резки, источники питания, приспособления и инструменты
- ✓ Оборудование для плазменной обработки металлов
- ✓ Машины и оборудование для газовой сварки, вспомогательный инструмент
- ✓ Оборудование, приспособления и инструменты для сварки в среде защитного газа
- ✓ Оборудование для подготовки поверхности
- ✓ Автоматические системы управления для сварочных процессов, роботы и робототехнические комплексы
- ✓ Измерение, контроль, испытания, обработка данных
- ✓ Средства защиты сварщиков и охрана окружающей среды
- ✓ Научное и информационное обеспечение

Адрес оргкомитета:

ВЗАО «Нижегородская ярмарка»
603086, Нижний Новгород, ул. Совнаркомовская, 13, оф. 220
Тел.: (8312) 775496; факс (8312) 775586
E-mail: kaa@yarmarka.ru

НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ*

И. Р. ЯВДОЩИН, Н. В. СКОРИНА, А. Е. МАРЧЕНКО, кандидаты техн. наук, **Ю. Д. ВАКОЛЮК**, инж.,
А. П. ПАЛЬЦЕВИЧ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены сведения о новых разработках ИЭС им. Е. О. Патона в области покрытых электродов общего назначения с рутиловым, ильменитовым и основным видами покрытия.

Ключевые слова: дуговая сварка, покрытые электроды, низкоуглеродистые стали, высокопрочные стали, сварочные технологические свойства, механические свойства

Номенклатура электродов общего назначения, выпускаемых предприятиями Украины и стран СНГ, главным образом представлена электродами с рутиловым (АНО-4, АНО-21, МР-3, ОЗС-4, ОЗС-12), ильменитовым (АНО-6, МР-3М, МР-3В) и основным (УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, АНО-27) покрытиями. Большинство этих электродов разработано более 30 лет назад, а электроды УОНИ-13 — более 60. Перечисленные выше марки уступают лучшим зарубежным аналогам в первую очередь по сварочно-технологическим свойствам и не могут с ними конкурировать. Единственным фактором, сдерживающим поступление зарубежных электродов на отечественный рынок, является слишком высокая цена — в 1,5...2 раза выше цены на отечественные электроды. Однако в последние годы разница в ценах на отечественные и зарубежные электроды сокращается (поскольку дорожает сырье и энергия), и вскоре зарубежные электроды начнут теснить старые отечественные разработки на рынках СНГ. Учитывая сложившуюся ситуацию, Институт электросварки им. Е. О. Патона совместно с НПФ «Патон-Электрод» ведут разработки электродов нового поколения, которые смогут противостоять экспансии на отечественный рынок электродов зарубежных фирм. Разработки ведутся в следующих направлениях:

первое — создание универсальных электродов с рутиловым и рутилцеллюлозным покрытиями для сварки конструкций из низкоуглеродистых марок сталей;

второе — создание универсальных электродов с ильменитовым покрытием (как вариант электродов, покрытие которых построено на дешевом титансодержащем сырье);

третье — создание низководородных электродов для сварки конструкций из углеродистых низколегированных сталей;

четвертое — создание ультранизководородных электродов для сварки низколегированных высокопрочных сталей.

* Данный материал в виде доклада был заслушан на III Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ (г. Днепропетровск, 1–4 июня 2004 г.).

Первое направление представлено двумя новыми разработками — электродами АНО-37 с покрытием рутилового и АНО-36 — рутилцеллюлозного вида (табл. 1). Обе марки соответствуют типу Э46 по ГОСТ 9467–75. Они предназначены для сварки переменным или постоянным током конструкций из низкоуглеродистых марок сталей во всех пространственных положениях в гражданском и промышленном строительстве, при ремонте и в других случаях. По комплексу сварочно-технологических свойств эти электроды значительно превосходят электроды АНО-4, АНО-21, МР-3, ОЗС-4. Они обеспечивают легкое начальное и повторное зажигание дуги, отличное формирование металла шва, легкую отделимость шлаковой корки, малое разбрызгивание металла.

Благодаря повышенному содержанию целлюлозы в покрытии электроды АНО-36 позволяют выполнять вертикальные швы высокопроизводительным способом сверху вниз. Многие потребители отмечают, что электроды АНО-36 и АНО-37 соответствуют уровню лучших зарубежных аналогов, однако спрос на них значительно ниже, так как они несколько (5...7%) дороже электродов старых разработок. Тем не менее с учетом указанных выше технологических преимуществ спрос на электроды АНО-36 и АНО-37 постепенно возрастает, особенно со стороны организаций, для которых вопросы качества сварных швов играют важную роль.

Второе направление представлено новыми электродами с ильменитовым покрытием марки АНО-4И (табл. 1), они являются аналогом электродов В-17 фирмы «Kobe Steel» (Япония) и предназначены для сварки конструкций из низкоуглеро-

Таблица 1. Электроды с рутиловым и ильменитовым покрытием для сварки низкоуглеродистых сталей

Марка электрода	Тип по	
	EN 499	ГОСТ 9467–75
АНО-36	E 42 0 RC 11	<u>Э46-АНО-36-d-УД</u> E 432(3)-PЦ11
АНО-37	E 38 2 RR 12	<u>Э46-АНО-37-d-УД</u> E 431(3)-P21
АНО-4И	E 38 2 RA 12	<u>Э46-АНО-4И-d-УД</u> E 430(4)-P21



Таблица 2. Низководородные электроды для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, работающих в условиях низких климатических температур

Марка электрода	Тип по	
	EN 499	ГОСТ 9467-75
АНО-12 АНО-12MR	Е 46 4 В 32 Н 10	<u>Э50А – АНО-12-d – УД</u> Е 515 – БЖ 26
АНО-101	Е 46 6 В 32 Н 10	<u>Э50А – АНО-101 – d – УД</u> Е 517 – БЖ 26
АНО-102	Е 46 5 1Ni В 32 Н 10	<u>Э50А – АНО-102 – d – УД</u> Е 515 – БЖ 26

дистых сталей во всех пространственных положениях при сварке конструкций в судостроении, при судоремонте, сварке буровых платформ для добычи нефти и газа. По уровню механических свойств металла шва они соответствуют типу Э46 по ГОСТ 9467-75, по сварочно-технологическим превосходят электроды с ильменитовым покрытием марок АНО-6, АНО-6У, МР-3М, МР-3В. Они менее склонны к образованию подрезов, обеспечивают хорошее формирование металла шва, легкую отделимость шлаковой корки, малое разбрызгивание. По стоимости электроды АНО-4И практически равноценны ильменитовым электродам прежних разработок, однако, как всякая новая марка, пока мало знакомая потребителю, электроды АНО-4И медленно завоевывают признание.

Третье направление представлено новыми разработками — низководородными электродами АНО-12, АНО-12MR, АНО-101 и АНО-102 (табл. 2), которые рекомендуется применять вместо электродов УОНИ-13/55.

Электроды УОНИ-13/55 традиционно применяются для сварки особо ответственных конструкций. Однако для них характерны такие недостатки, как формирование усиленных валиков, плохая отделимость шлаковой корки, особенно в глубокой разделке. Порог хладноломкости металла шва для этих электродов составляет -30°C . Новые электроды (АНО-12, АНО-12MR, АНО-101) заметно превосходят электроды УОНИ-13/55 как по сварочно-технологическим, так и по механическим свойствам металла шва. Они предназначены для ручной дуговой сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Пригодны для сварки швов во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности или переменном токе от источников с на-

ряжением холостого хода не менее 70 В. В отличие от УОНИ-13/55 данные электроды характеризуются спокойным горением дуги, малым разбрызгиванием, обеспечивают мелкочешуйчатое формирование металла шва, легкую отделимость шлаковой корки, высокую стойкость металла шва против образования трещин. По комплексу свойств они не уступают электродам ОК 48.80, ОК 53.04 фирмы ESAB. Электроды данной группы — это электроды многоцелевого назначения. Они широко опробованы в судостроении и судоремонте при сварке сталей классов А, Д, Е. Электроды АНО-12 и АНО-12MR обеспечивают высокую ударную вязкость при низких температурах вплоть до -50°C . Электроды АНО-12MR характеризуются низкой гигроскопичностью покрытия в условиях высокой влажности окружающей атмосферы (относятся к классу «moisture resistance»). Электроды АНО-12 сертифицированы DetNorske Veritas по категории 4Y H10. Электроды АНО-101 обеспечивают порог хладноломкости металла шва ниже -70°C , что достигается применением микролегирования без каких-либо добавок никеля в сварной шов. Электроды АНО-102 предназначены для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу шва предъявляются требования повышенной коррозионной стойкости в морской воде. Она обеспечивается в результате легирования шва никелем и медью.

Несмотря на отмеченные достоинства, спрос на новые электроды этой группы очень небольшой. Отчасти это связано с их более высокой ценой (на 15...20% выше, чем у УОНИ-13/55), хотя она в 1,5...2,0 раза ниже цены на электроды зарубежных аналогов.

Четвертое направление представлено ультранизководородными электродами АНО-100, предназначенными для сварки конструкций из низколегированных высокопрочных сталей при строительстве буровых платформ, мостовых, подъемно-транспортных механизмов. При сварке таких сталей важнейшим фактором, определяющим технологию сварки конструкций, является содержание диффузионно-подвижного водорода в металле шва. Чем меньше его содержание, тем ниже температура предварительного подогрева конструкции и вероятность образования холодных трещин. Впервые в Украине созданы ультранизководородные электроды, обеспечивающие содержание диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле

Таблица 3. Типичные значения механических свойств металла шва при сварке углеродистых и низколегированных сталей

Марка электрода	σ_b , МПа	δ , %	KCV , Дж/см ² , при температуре, $^{\circ}\text{C}$			
			+20	-40 (-20)	-60 (-50)	-70
АНО-36 АНО-37	480...520	22...24	130...150	(40...60)	—	—
АНО-4И	480...500	22...24	130...160	(50...60)	—	—
АНО-12 АНО-12MR	600...610	24...26	190...200	90...100	40...60	—
АНО-101	650...660	25...27	190...200	90...100	75...90	65...80
АНО-102	620...630	23...25	170...180	70...90	35...45	—
АНО-100	640...660	24...26	210...220	60...80	(40...50)	—

не более $3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ (в расчете на расплавленный металл — менее $1,8 \text{ см}^3/100 \text{ г}$). Применение этих электродов позволит значительно сократить трудозатраты при сварке конструкций из высокопрочных сталей. Их обозначение по ГОСТ 9467-75 Э60 АНО-100-d-ЛД, а по EN 499 — E 50 5 2Ni E 04H2Г-7-Б 20

В 42 Н 5. Спрос на ультранизководородные электроды для сварки низколегированных высокопрочных сталей, по нашему мнению, будет постепенно возрастать по мере увеличения объемов производства и применения высокопрочных сталей в Украине и странах СНГ. И потенциальным их

Data are given on new PWI developments in the field of general-purpose coated electrodes with rutile, ilmenite and basic types of coatings.

потребителям будет полезно знать о наличии указанной разработки.

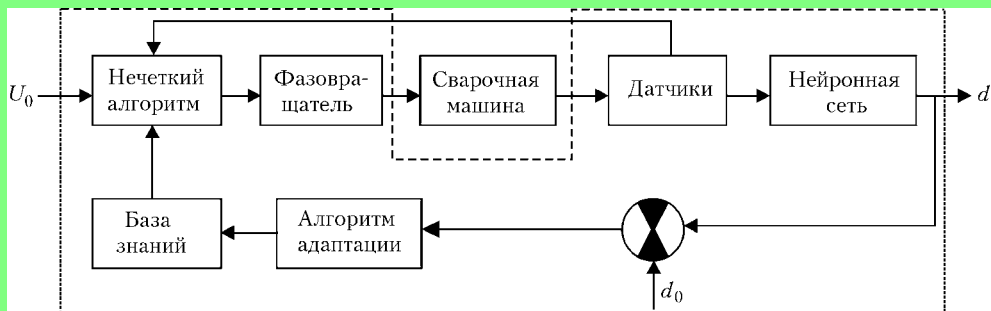
Типичные значения механических свойств металла шва при сварке новыми отечественными электродами (по всем четырем направлениям разработок приведены) в табл. 3.

Дополнительную информацию по новым электродам можно получить по адресу: 03150, г. Киев, ул. Боженко, 11, Институт электросварки им. Е. О. Патона, отдел 10.

Поступила в редакцию 01.06.2004

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА С СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Искусственные нейронные сети (ИНС) создаются по принципу прямого моделирования человеческого мозга. Они не программируются, а обучаются. Благодаря параллельной и распределенной обработке входных данных ИНС позволяют управлять сложными многофакторными процессами с нелинейными зависимостями критерия качества, когда нет математических моделей.



Структурная схема системы управления на основе нейронной сети и нечеткой логики

Для контактной точечной сварки нейронная сеть состоит из трех слоев: входного, скрытого и выходного. Количество нейронов входного слоя определяется числом контролируемых параметров, а именно: сварочным током и напряжением между электродами, измеренными в заданные моменты времени протекания тока. Число нейронов скрытого слоя определяется во время обучения сети, в процессе обучения также определяются веса входных параметров, вес выходного нейрона и пороговые значения. В качестве выходного параметра при точечной сварке выбирается диаметр ядра сварной точки или усилие на разрыв.

С использованием обученной нейронной сети и нечеткой логики разработана компьютерная система контроля и управления процессом точечной сварки малоуглеродистой стали с цинковым покрытием (рисунок). По сравнению с известными системами она обеспечивает более стабильное и контролируемое качество сварной точки в реальном времени.

Область применения: автомобильная и авиационная промышленность, сельхозмашиностроение.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11.
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.
Отд. № 24, Подола Н.В.
Тел.: (38044) 227 55 88

ТОКОПОДВОДЯЩИЕ МУНДШТУКИ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК

В. В. ДМИТРИК, канд. техн. наук (Укр. инж.-пед. академия, Харьков),
С. И. ПРИТУЛА, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны конструкция и составы порошковых материалов для изготовления токоподводящих мундштуков сварочных горелок полуавтоматов, автоматов и роботов, используемых при сварке в углекислом газе. Установлено, что использование разработанных токоподводящих мундштуков позволяет значительно уменьшить их износ, увеличить стабильность процесса сварки и снизить вероятность образования дефектов в сварных швах.

Ключевые слова: дуговая сварка, токоподводящий мундштук, ресурс, износ, порошковые материалы

Токоподводящие мундштуки (ТМ) горелок полуавтоматов, автоматов и роботов, используемых для сварки в углекислом газе и смесях газов, являются наиболее изнашиваемыми деталями (рис. 1). В зависимости от параметров режима сварки, тока, скорости сварки, геометрии разделки кромок и толщины свариваемых изделий ресурс эксплуатации традиционных медных ТМ составляет 4...9 ч, а из латуни — на 50...70 % меньше.

В процессе эксплуатации ТМ подвергаются интенсивному механическому и электроэрозионному износу (рис. 2) [1, 2]. Преимущественно износ мундштуков происходит по участку контакта внутренней поверхности канала с поверхностью наклепанной электродной проволоки, подаваемой в зону горения дуги. Ролики подающего механизма обычно оставляют на поверхности электродной проволоки вмятины, риски и следы деформации, что также способствует износу ТМ. На поверхности электродной проволоки имеют место оксидные соединения и масляные пленки. В процессе сварки

такие пленки разрушаются, приводя к увеличению контактного сопротивления и износу ТМ.

Рассматривая пару ТМ–электродная проволока как звенья цепи, по которой течет сварочный ток в зону горения дуги, представим контактное сопротивление цепи R_k в виде

$$R_k = R_{\Pi} + R_{\text{нер}},$$

где R_{Π} — сопротивление, обусловленное поверхностными пленками, которые образуются на контактных поверхностях и препятствуют протеканию тока; $R_{\text{нер}}$ — сопротивление, обусловленное наличием неровностей (шероховатостей) на контактных поверхностях.

Контакт поверхностей электродной проволоки и канала ТМ происходит преимущественно по участкам гребней (рис. 2). Соприкасающиеся металлические поверхности участков контакта в различной степени обеспечивают протекание тока. Допуская, что между двумя контактирующими поверхностями находится пленка, имеющая равномерную толщину d и удельное сопротивление ρ_{Π} , дополнительное сопротивление в цепи сварочного тока выразим формулой

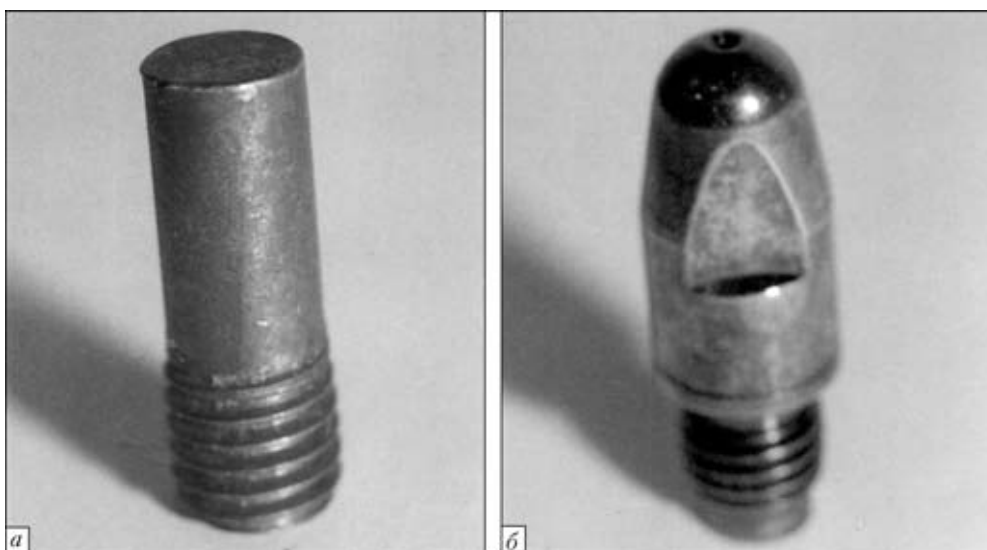


Рис. 1. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов: а — экспериментальный ($\text{Cu} + \text{C} + \text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}$); б — фирмы «Binzel»

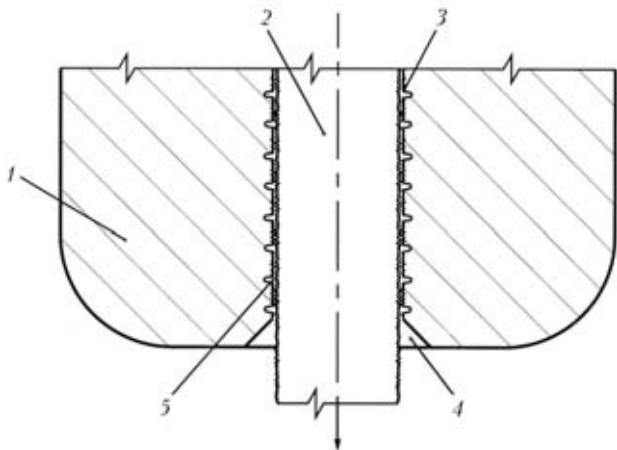


Рис. 2. Схема ТМ с электродной проволокой, подаваемой в зону горения дуги (стрелка): 1 — тело ТМ; 2 — электродная проволока; 3 — участок контакта цилиндрического канала ТМ с электродной проволокой; 4 — конусообразное отверстие, образующееся на торцевом участке канала ТМ; 5 — поверхность цилиндрического канала ТМ

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}} d}{F},$$

где F — поверхность физического контакта соприкасающихся поверхностей канала ТМ и электродной проволоки.

Вместо $\rho_{\text{п}}$ и d подставим эмпирически определяемую величину σ (Ом·мм), обозначающую удельное поверхностное сопротивление, поскольку при наличии аналогичных поверхностных пленок их сопротивление зависит преимущественно от толщины d . Для контактирующих цилиндрических поверхностей ТМ и электродной проволоки сопротивление $R_{\text{п}}$ представим в виде

$$R_{\text{п}} = \frac{\sigma}{2\pi R h},$$

где R — радиус окружности контакта (усредненный); h — высота цилиндрического контакта.

Интенсивному износу способствует оплавление участков гребней ТМ (рис. 2), а также их частичный отрыв, что происходит в результате электроэрозионной коррозии.

Вследствие износа цилиндрический канал ТМ приобретает в поперечном сечении овальную форму. На нижнем участке он имеет конусообразную форму (рис. 3). Овальная форма канала обеспечивает увеличение контактного сопротивления, уменьшает площадь контактирующих поверхностей (ТМ и электродной проволоки), вызывает отклонение электродной проволоки от оси свариваемого шва и «блуждание» дуги. Эти факторы снижают стабильность процесса сварки и вызывают образование дефектов в швах.

Уменьшением износа ТМ занимались многие исследователи. Для их изготовления предлагали различные технические решения [3–11], а также новые конструкционные материалы [12–17]. Для уменьшения износа перспективным является использование ТМ из порошковых материалов. В состав материала композиции ТМ [12] в определенном процентном соотношении вводили медь (ос-



Рис. 3. Изношенный токоподводящий мундштук из экспериментального порошкового материала

нова), углерод, нитрид кремния, оксид алюминия и титан. Указанные компоненты смешивали до получения равномерного содержания ингредиентов по объему. Затем смесь при температуре 800...900 °С подвергали спеканию. Спеченный материал калибровали при давлении $P_{\text{к}} = 400...500$ МПа. Полученный материал имел пористость 3...7 %. Его форма соответствовала геометрии серийных ТМ (см. рис. 1) и не требовала последующей механической обработки, за исключением сверления отверстия для прохождения электродной проволоки и шлифования ТМ с целью уменьшения шероховатости. Входящие в состав предложенной композиции материала оксиды алюминия и нитрида кремния разрушают оксидные пленки на поверхности движущейся электродной проволоки. Графит образует твердую смазку между трущимися поверхностями канала ТМ и электродной проволоки. Входящие в порошковый материал ингредиенты обеспечивают ТМ уменьшение $R_{\text{п}}$ на 18...22 %, а также низкую степень износа и увеличение ресурса эксплуатации (рис. 4).

Экспериментально установлено, что целесообразно наносить на поверхность медных и керамических ТМ многослойные термостойкие покрытия путем ионного осаждения на установках типа «Булат». Такие покрытия имеют небольшую толщину (15...25 мкм). Их термостойкость составляет 1000...1800 °С. Они предотвращают приваривание металла проволоки к металлу канала мундштука и примерно на 50...70 % уменьшают прилипание брызг расплавленного металла к нижнему торцевому участку ТМ [2, 15]. Ресурс эксплуатации ТМ с термостойкими покрытиями на 15...20 % больше, чем аналогичных без покрытия.

Токоподводящие мундштуки горелок полуавтоматов, поставляемых фирмой «Binzel» (ФРГ) (см. рис. 1), также изготавливают из порошковых материалов. На их поверхности имеется термостойкое никелевое покрытие, нанесенное гальваническим способом.

Фирма «Binzel» является лидером производства сварочных горелок с мундштуками, характеризующимися высокой износостойкостью. Апробация

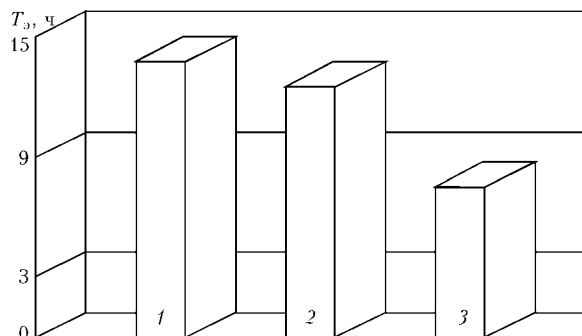


Рис. 4. Ресурс эксплуатации (T_3) для горелок автоматов при сварке в CO_2 на штатных режимах: 1 — экспериментальный; 2 — фирмы «Binzel»; 3 — серийный (медный)

предложенных нами ТМ показала, что их эксплуатационные характеристики являются также высокими [5, 12]. Преимущество ТМ фирмы «Binzel» заключается в небольшой шероховатости их поверхности и относительно высокой степени адгезии никелевого покрытия к рабочей поверхности ТМ. Последняя, однако, существенно ниже (рис. 4), чем у предложенных в работе многослойных термостойких покрытий, получаемых путем ионного осаждения на установке типа «Булат» [15]. Несомненным преимуществом ТМ фирмы «Binzel» является их геометрия, более оптимальная, чем у других ТМ (см. рис. 2). Разработанный состав порошковых материалов [1, 12, 15] характеризуется увеличенной длительностью эксплуатации (рис. 4).

Установлено, что на поверхность ТМ из порошковых материалов целесообразно наносить многослойные термостойкие покрытия, имеющие завершающий слой типа ZrN , TiN и SiC . Это позволяет предотвращать приваривание брызг расплавленного металла к их рабочей поверхности.

Перспективной является разработка мундштуков и сопел с термостойким покрытием на основе легированного карбида кремния [16], выполняемых обычно двухслойными. Первый, переходной, слой состоит из смеси кремния, углерода и меди, второй, рабочий, представляет собой нанокристаллическую форму кубического карбида кремния. Микротвердость при нагрузке на пирамидку 20 г составляет 30 ГПа; термостойкость покрытия — 2300 °С. Использование ТМ с покрытием SiC позволило на 30... 50 % уменьшить количество брызг, налипающих на их рабочую поверхность. При нанесении на поверхность ТМ термостойких покрытий следует предотвращать попадание компонентов, входящих в их состав, на поверхность канала (см. рис. 2), поскольку наличие таких компонентов увеличивает контактное сопротивление. Термостойкие покрытия предотвращают забрызгивание торцевого участка ТМ, что снижает интенсивность образования конусообразного канала на участке выхода электродной проволоки.

Design and powder materials composition of current-conducting nozzles used in CO_2 welding torches of semi-automatic and automatic devices and robots are described. It is shown that application of the developed current-conducting nozzles allows their wear to be substantially decreased, stability of the welding process to be raised, and probability of formation of defects in the welds to be reduced.

Таким образом, разработка и применение для сварочных горелок ТМ из порошковых материалов на основе меди и термостойких покрытий их рабочей поверхности являются технически целесообразными, поскольку позволяют увеличить ресурс их эксплуатации, повысить стабильность процесса сварки, уменьшить вероятность образования дефектов в металле швов и снизить потребность в них.

1. Дмитрик В. В. Повышение эксплуатационных характеристик горелок для сварки в углекислом газе и его смесей // Автомат. сварка. — 1998. — № 2. — С. 42–45.
2. Дмитрик В. В. Стабилизация режимов автоматической сварки перлитных сталей // Свароч. пр-во. — 1999. — № 5. — С. 11–14.
3. А. с. 1357166 СССР, МКИ В 23 К 9/12. Токоподводящий мундштук / Д. А. Дудко, В. А. Лебедев, В. П. Никитенко, А. Н. Юденко. — Оpubл. 07.12.87; Бюл. № 45.
4. Заявка 61-193783 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Наконечник для сварки в защитном газе / Мацуи Сигэаки, Накаяма Сигэру, Окада Коити. — Оpubл. 28.08.86.
5. Данильченко Б. В., Дмитрик В. В., Притула С. И. Способы уменьшения забрызгивания сопел и токоподводящих мундштуков сварочных горелок // Свароч. пр-во. — 1995. — № 9. — С. 22–24.
6. Заявка 61-216867 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Керамический токоподводящий мундштук и способ его изготовления / Амасака Тадао, Ивота Мисао, Фудзикава Кадзуми. — Оpubл. 26.09.86.
7. Заявка 62-38774 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Наконечник сварочной горелки / Икэхата Тэцуо, Маэда Масанори. — Оpubл. 19.02.87.
8. Заявка 63-154270 Японии МКИ В 23 К 9/26. Токоподводящий мундштук для дуговой сварки / Амасака Тадао, Ивота Мисао, Фудзикава Кадзуми. — Оpubл. 27.06.88.
9. Заявка 61-46375 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Наконечник горелки для сварки (в защитных газах) / Хираива Хироси, Гокодзи Исао. — Оpubл. 06.03.86.
10. А. с. 1265022 СССР, МКИ В 23 К 9/12. Токоподводящий мундштук / Р. И. Гаркалюк, В. Ф. Мошкин, В. А. Атаманчук и др. — Оpubл. 23.10.86; Бюл. № 39.
11. Заявка 61-245978 Японии, МКИ В 23 К 9/26, С 23 С 4/06. Токоподводящий мундштук / Амасака Тадао, Ивота Мисао, Фудзикава Кадзуми. — Оpubл. 01.11.86.
12. А. с. 1816609 РФ, МКИ В 23 К 35/30. Материал для токоподводящих мундштуков к сварочным горелкам / В. В. Дмитрик, Д. И. Момот, Н. В. Грицай, С. М. Вилков, Н. П. Воличенко. — Оpubл. 23.05.93; Бюл. № 19.
13. Henderson S. New generation ceramics in the hot seat. But do the benefits outweigh the costs? // Metal Construction. — 1987. — 19, № 3. — P. 120–122.
14. А. с. 1316773 СССР, МКИ В 23 К 35/30. Материал для токоподводящих наконечников / А. Я. Борисов, С. Е. Виноградов, Я. Н. Киселев и др. — Оpubл. 15.06.87; Бюл. № 22.
15. Дмитрик В. В., Пузиков В. М., Семенов А. В. К разработке термостойких покрытий сопел и мундштуков сварочных горелок // Свароч. пр-во. — 1993. — № 7. — С. 25–27.
16. Семенов А. В., Дмитрик В. В., Пузиков В. М. Разработка и использование покрытия с повышенной термостойкостью на основе карбида кремния для защиты от забрызгивания сварочных горелок // Сб. тез. стенод. докл. междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций» (Киев, 2003). — Киев, 2003. — С. 72–73.
17. Дмитрик В. В., Притула С. И. Применение термостойких покрытий в сварочном оборудовании // «Сварка и родственные технологии — в XXI век»: Тез. докл. междунар. конф. (Киев, окт. 1998). — Киев: ИЭС им. Патона, 1998. — С. 37–38.

Поступила в редакцию 09.09.2004



ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И РАЗРАБОТКА ПРИПОЕВ (Обзор)

А. Н. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук, **А. М. ЖАДКЕВИЧ**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проанализированы направления создания припоев, критерии их выбора с целью получения качественных однородных и разнородных соединений изделий для различных областей техники. Показано влияние на качество соединения физических свойств припоя, особенностей кристаллизации и других факторов, которые необходимо учитывать при разработке технологии пайки. Отмечены перспективные направления исследований в области пайки изделий ответственного назначения.

Ключевые слова: пайка, припой, качество соединений, разнородные материалы, дефекты конструкций, кристаллизация, наноматериалы

В течение многих веков основными конструкционными материалами оставались медь, железо и их сплавы, а основным источником нагрева для пайки — биотопливо. С XIX в. появляются более концентрированные источники нагрева — ацетилено-кислородное пламя и электрический дуговой разряд. Припои по температуре пайки начали подразделять на мягкие и твердые, причем в ряде изданий по терминологии в соответствии с температурным критерием называют и сам процесс пайки по-английски низкотемпературным (soldering) и высокотемпературным (brazing). К мягким припоям относят припои с температурой плавления ниже 450 °С, а с температурой плавления, равной или свыше 450 °С, — к твердым [1–3]. Мягкие припои, например, оловянно-свинцовые, имеют низкий предел прочности и, как правило, являются и легкоплавкими. Твердый припой обладает высоким пределом прочности. Однако эта классификация стала неприемлемой с появлением новых источников нагрева, новых конструкционных сплавов, изделий из них и собственно припоев. В течение XX в. пайка из вспомогательной технологии превратилась в наукоёмкую технологию изготовления ответственных инженерных конструкций из новых материалов-сплавов, керамики, композитов и других, отвечающих специальным требованиям: жаростойкости, коррозионной стойкости, способности выдерживать криогенные температуры и др. В ряде случаев пайка является единственной технологией, обеспечивающей эксплуатационную надежность изделия [4–9]. Недостаточно высокое качество соединения деталей и узлов в энергетике, авиации, ракетостроении и многих других отраслях техники может стать причиной разрушений с катастрофическими последствиями.

Известно, что существенное влияние на качество паяных соединений оказывают следующие факторы: способы пайки; припой, флюсы, активные и инертные газы, вакуум; режимы и циклы пайки; технологический уровень оснащённости процесса; конструкция, масса и материал изделия; подго-

товка к пайке и обработка после пайки [10–15]. На качество изделий новой техники, паяемых в вакууме, оказывают влияние вид припоев, особенности расплавления нанесенного покрытия и другие условия. Кроме температуры плавления, к важным характеристикам припоев относятся: 1) упругость паров компонентов, входящих в состав припоев; 2) изменение температуры припоя при частичном растворении в нем материалов соединяемых деталей; 3) температура пайки и время выдержки при определенной температуре; 4) механические характеристики припоев и др. [10–13, 16–19]. Однако в справочно-информационных материалах отсутствует обобщающая информация о способах улучшения качества паяных соединений, учитывающих упомянутые выше условия и факторы.

Целью настоящей работы является анализ публикаций по усовершенствованию техники пайки, выбору припоев в соответствии с требованием сохранения высокого качества соединения в процессе эксплуатации, уточнению критериев, характеризующих физико-химические свойства материалов, применяемых в соответствии со способом пайки.

Особое внимание к технике пайки и составу флюсов начинают уделять с 1930-х годов в связи с развитием радиотехники, электроники, авиа- и дирижаблестроения. Так, в радиотехнике появилась задача обеспечения надежных соединений медных и других металлических деталей (проводов, пластин и др.) с фольгированным гетинаксом, стеклотитом, стеклом. Естественно, вначале использовали давно известные припои или покрытия на основе олова, свинца, меди и серебра, а в качестве флюсов — канифоль. Во многих случаях заготовки покрывали оловом, медью, серебром или золотом гальваническим или другим способом. Эта же технология сохранилась и до настоящего времени, хотя известны и предложения о замене серебряного покрытия заготовок печатных плат на оловянно-свинцово-висмутовые [20, 21].

С развитием электротехники, электроники повышались требования к качеству соединения и значительно расширялась номенклатура материалов и типов соединений, подлежащих пайке [22]. Так, с 1960-х годов широкое применение нашли изделия из корундовой керамики, к которым присоединяли детали из железоникелевых или новых для про-

мышленности материалов (ниобиевых и других сплавов). Для пайки керамики и керамики с металлом в припой необходимо вводить адгезионно-активные элементы (титан, цирконий, гафний). Так, для пайки керамики с никелевой втулкой применили присадку в виде медной и титановой фольг толщиной 0,1 и 0,05 мм. При температуре пайки 1020 °С в вакуумной электропечи при разрежении $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. образовывался паяный шов следующего состава: сплав 80 % Cu и 20 % Ti. В этом случае припой обеспечивал примерное равенство коэффициентов термического расширения паяного шва и всех деталей при температуре эксплуатации 650 °С и одновременно необходимую прочность соединения [23]. Только для пайки деталей электровакуумных приборов в середине 1960-х годов предлагалось 590 составов припоев с температурой плавления 3...2996 °С [24]. Для соединений тех же материалов, не находящихся в откачанных полостях приборов, использовали еще несколько сотен составов припоев.

С 1950-х годов возросло внимание к надежности паяных соединений и исследованию причин разрушения паяных швов. В частности, специалистов привлекла традиционная и проверенная десятилетней эксплуатацией изделий из конструкционных сталей технология газовой пайки латунными припоями [25–27]. В результате разработан способ пайки с отмывкой перед сборкой, предварительным нанесением композитной пасты и ее оплавлением [28]. Установлено также влияние распределения компонентов припоя в зоне паяного соединения на герметичность соединения [29].

Эксплуатационные характеристики, коррозионная стойкость и долговечность соединений металл-припой-металл в значительной степени зависят от металлургического взаимодействия материалов, участвующих в процессе пайки [14, 29–31]. В частности, на качество соединения влияет химический, структурный и физический состав покрытий. Например, при переходе от золотого покрытия коваровых оснований корпусов микросхем на никелевые установлено, что прочность соединения максимальна только при определенной, ограниченной в узком диапазоне толщине покрытия (для никелевого покрытия — 12 мкм). При меньшей толщине наблюдается отрыв никелевого ободка от платы вследствие высокой пористости, при большей толщине разрыв происходит по стеклокерамике [13, 32].

Качество порошковых припоев в виде паст и суспензий одного и того же химического состава зависит от технологии приготовления порошков. Установлено, что текучесть порошка, полученного распылением расплава газом, заметно хуже, чем полученного центробежным распылением и механическим дроблением. Свойства металла шва, выполненного припоем с наполнителем из металлического порошка, зависят от формы, размеров и структуры, варьируя которые можно активно управлять процессом формирования соединения [33, 34].

Известно, что при длительном хранении припоев (или их компонентов) качество паяных соединений может отличаться от регламентируемых. В первую очередь это относится к порошкообраз-

ным припоям и пастам на их основе, в частности, на основе серебра ПСр-45 и др. теряют свои свойства и становятся непригодными для пайки при хранении на воздухе более 10 сут [35]. Вместе с тем имеются сведения, что соединения, паянные хранившимся более 20 сут припоем ПМФС6-0,15 с дисперсностью частиц 5...30 мкм, увеличили прочность почти на 25 % [36].

Для достижения удовлетворительного качества паяных соединений необходимо точное регулирование и поддержание технологических параметров в течение всего цикла пайки. Наиболее удачным примером решения этого вопроса можно считать метод оптимизации оборудования по последовательно применяемым критериям, при выборе установок для диффузионных способов пайки [16]. Однако и он требует уточнения и усовершенствования. В частности, при использовании высокохимически активных припоев, содержащих алюминий, титан, цирконий и др., необходимо ввести критерий, учитывающий необходимость быстрого достижения высокого вакуума и температуры свыше 1000 °С. Важным технологическим фактором качества является соблюдение условий сборки паяемых деталей. В изделиях, подверженных действию переменных механических и температурных нагрузок (теплообменные аппараты и др.), при относительно большом паяльном зазоре (при большой массе паяных швов) появляются концентраторы напряжений из-за разности коэффициентов температурного расширения [17]. Естественно, решить эту проблему можно путем подбора припоев по коэффициенту температурного расширения. Важными характеристиками способа использования припоев являются: схема подачи, расположение или нанесение припоя, форма припоя.

Так, для герметизации применимы пайка с предварительно установленной прокладкой, пайка с предварительным капиллярным лужением, с плакированием припоем деталей. При нагреве припой проникает в паяемый материал, вызывая деформацию поверхности твердого тела при смачивании и растекании расплава [37]. Это явление обусловлено действием неуравновешенных сил поверхностного натяжения по периметру припоя и, следовательно, кроме других факторов, зависит от состава припоя и характера межатомных связей на междолинных границах. В частности, в работе [18] отмечена необходимость комплексной оценки процессов смачивания, растекания и растворения. Последнему особое внимание уделено в работе [20].

Согласно стандарту Украины ДСТУ 3761.4–98 припой определяют по их физическому состоянию до применения (многослойный, порошковый, композиционный, сформированный, трубчатый, паста и самофлюсующий). Такая классификация необходима прежде всего при разработке конструкции соединений и выборе способа нагрева, однако одним из основных критериев выбора припоя следует считать его металлургические и физико-химические свойства [38].

Одним из важнейших преимуществ пайки по сравнению со сваркой является более широкий



диапазон возможного соединения разнородных металлов и сплавов. При соответствующем выборе припоев, источника нагрева и техники пайки удастся избежать образования интерметаллидов. С середины XX в. с развитием химического и энергетического машиностроения, промышленной и атомной энергетики, ракетостроения возникла необходимость в изготовлении конструкций из титана, циркония и других материалов.

Для пайки соединений титановых и циркониевых сплавов в 1970-е годы предложены припой на основе циркония, легированного серебром, марганцем или оловом [39]. Опытные образцы припоев систем цирконий–никель или кобальт–медь, титан–медь–никель способны обеспечить более высокие эксплуатационные характеристики изделий, работающих при переменных температурах. Это достигается лучшим соответствием коэффициентов линейного расширения припоя и паяемых сплавов циркония и титана [40, 41]. Усилиями сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института авиационных материалов, МИФИ-Амето и других разработан ряд составов припоев для пайки титана и циркония на базе системы титан–цирконий–медь–никель, которые доминируют в настоящее время в промышленности [42]. Следует отметить, что при традиционной разработке составов припоев исходили из физико-химических, металлургических свойств соединяемых материалов. Тем не менее уже в середине XX в. в связи с необходимостью изготовления изделий из разнородных металлов, металлов и керамики возникла «механическая» проблема. Паяные соединения подвергаются дополнительным напряжениям и деформациям, причиной которых являются различные коэффициенты термического расширения и модулей упругости материалов. В начале 1970-х годов в ИЭС им. Е. О. Патона рассмотрен механизм и разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния многослойных паяных полупроводниковых приборов при изменении температур окружающей среды и от нагрева в процессе эксплуатации [43]. Наиболее существенные проблемы по обеспечению прочности и геометрии узлов возникли при производстве крупногабаритных конструкций в ракетостроении, энергетическом машиностроении, судостроении. Вопросами напряженно-деформированного состояния и металлургической несовместимости соединений из разнородных материалов занимались специалисты Украинского государственного морского технического университета им. Адмирала С. О. Макарова (г. Николаев, Украина). Кроме программ моделирования расчета, ими предложены промежуточные прокладки с иными, чем у соединяемых материалов, свойствами [44]. Эта конструкция соединения предъявляет особые требования к припою. Учитывая, что объем производства и номенклатура изделий из разнородных материалов достаточно велики и в дальнейшем будут возрастать, логично предположить, чтобы характеристика припоев включала коэффициент теплового расширения и модуль упругости. Кроме того, решить эту проблему можно путем использования в качестве промежуточных

«деформирующихся» слоев высокопластичных серебряных, золотых, медных припоев, заполняющих широкий зазор.

Демпфирующая промежуточная прокладка, позволяющая увеличить прочность соединения керамического диска газовой турбины с металлическим валом, предложена в Институте проблем материаловедения им. И. Н. Францевича. Такая конструкция не только увеличивает площадь пайки, но и равномерно распределяет напряжения, возникающие в процессе пайки [45]. С целью обеспечения релаксации напряжений, возникающих в связи с различием коэффициентов термического расширения, при изготовлении твердосплавных элементов металлообрабатывающих инструментов, использовали припой системы медь–никель–марганец, имеющие достаточную пластичность [46].

Для снижения напряжений рекомендуется конструировать изделия с деталями, допускающими деформации в местах пайки, за счет утонения стенок, гофров и т. п. [23]. Однако использовать рекомендации, разработанные для мелких изделий радиоэлектронной техники, для крупногабаритных изделий часто неэкономично, и порой невозможно выполнить конструктивно.

Отдельные узлы энергетических установок работают при высоких (свыше 1000°C) температурах, подвергаясь большим нагрузкам. Припой должны обеспечивать возможность изготовления паяных конструкций из компактных и пористых материалов и неметаллов с различными коэффициентами линейного расширения. Во многих случаях основой таких припоев служат сплавы системы никель–хром–бор–кремний. Иногда в качестве тугоплавких наполнителей используют молибден или вольфрам. Эти наиболее тугоплавкие в природе металлы играют роль модификаторов — центров кристаллизации, благодаря чему улучшается структура шва [47]. Для уменьшения образования хрупких фаз и снижения диффузии по границам зерен при высокотемпературной пайке никелевыми припоями этой системы, кроме введения в состав припоя благородных металлов, предлагается свести к минимуму паяемый зазор (не более 100 мкм) [48].

Следует отметить, что припой с большим количеством бора и кремния эрозионно-активны и не пригодны для пайки тонкостенных конструкций (сотовые, решетчатые панели, пластинчато-ребристые теплообменники и др.), которые во многом определяют развитие современной техники. Поэтому во Всесоюзном научно-исследовательском институте авиационных материалов, ИЭС им. Е. О. Патона, Техномаше и других организациях разработаны припой на основе никеля с малой эрозионной активностью для пайки нержавеющей сталей. Так, В. Ф. Хоруновым с сотрудниками предложен припой ПР-Н58Ф, который применяется в серийном производстве рулей ракет воздух–воздух [49–51].

Особенно высокие требования предъявляются к составам жаропрочных припоев, применяемых для изготовления деталей газотурбинных двигателей. Поскольку в топливе содержится сера, то в процессе сгорания изделие подвергается сульфидной коррозии, а основные элементы, используемые в ка-

честве депрессантов, снижают стойкость против этой коррозии [30]. В то же время припой на основе системы никель–хром–цирконий значительно расширяют возможности пайки жаропрочных никелевых сплавов, в том числе при дуговом нагреве [52–55].

В последние десятилетия в автомобилестроении, химической промышленности, промышленном и гражданском строительстве находят широкое применение листовая сталь и профильный прокат с антикоррозийным покрытием из цинка, как правило, толщиной менее 1 мм. При сварке конструкций из таких материалов защитное покрытие выгорает в зоне термического влияния вдоль шва на ширине нагрева, начиная с температуры испарения до температуры плавления цинка. Повторная гальванизация является дорогостоящим процессом, а использование низкотемпературных припоев, при которых можно было бы избежать испарения, не обеспечивает достаточной прочности. В фирме ESAB (Швеция) в качестве припоя предложено применять медную проволоку, поскольку медь легко образует с цинком сплавы — латунь — в любом соотношении. Причем пайку производят по схеме сварки МИГ, иногда с добавлением к аргону небольшого количества активного газа (кислорода). Медная присадочная проволока — электрод с добавкой кремния (3 %) и марганца (1 %) имеет температуру плавления 910... 1025 °С, а температура плавления цинка — 419 °С. Жидкий цинк остается на поверхности стали и растворяется в меди. Образуется латунь, которая и покрывает переходной участок между паяным швом и цинковым покрытием [56].

С середины 1960-х годов актуальность приобрела задача создания технологии строительства конструкций в космосе. Наиболее перспективным источником нагрева при сварке и пайке признан электронный луч, а материалом для конструкций — алюминиевые сплавы. При выборе припоя следовало учитывать то, что сплавы не должны содержать элементов с высокой упругостью паров из-за высокого космического вакуума. Температура солидуса припоя должна быть выше максимальной температуры солнечного нагрева конструкций в космосе (150 °С) [57]. Этим условиям отвечает, в частности, припой, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона В. Ф. Хоруновым, В. И. Швец, В. Ф. Лапчинским и др. [55].

Однако при изготовлении алюминиевых конструкций в таких сложных условиях, как космос, необходимо принимать во внимание, что химически активные флюсы для разрушения оксида алюминия уменьшают коррозионную стойкость изделия и оборудования. Вместо флюсов предложено предварительно наносить на соединяемые поверхности слой материалов, оксиды которых имеют низкую температуру диссоциации. Положительные результаты дали покрытия из никелевых, никель-медных, никель-оловянных слоев, нанесенных электролитическим способом. Разработана технология соединения элементов космических конструкций, отличающаяся тем, что припой в виде таблетки предварительно закладывают в па-

яемый узел таким образом, что при нагреве припой затекает в паяемый зазор [57].

Составы припоев для низкоуглеродистых сталей, применявшиеся с древнейших времен, в значительных усовершенствованиях не нуждались, так же, как и припой для низколегированных сталей. Корректировка обусловлена появлением новых источников нагрева и техники пайки: индукционного, дугового, электронно-лучевого нагрева, пайки в вакууме, аргоне и др. В серийном производстве нашли применение самофлюсующие припои. При пайке легированных сталей возникают проблемы с выпадением карбидов по границам зерен, и расплавленные припои могут проникать по границам зерен, особенно под действием напряжений. При выборе припоя, кроме обычных критериев, учитываются условия предварительной и последующей термообработки. При пайке до закалки необходимы тугоплавкие припои; при пайке высокоуглеродистых сталей — температура нагрева должна быть ниже температуры закалки или достаточной для одновременной закалки [22].

В процессе эксплуатации паяных изделий возможно выделение газов из соединений. Это в некоторых случаях может привести к ухудшению эксплуатационных свойств изделия. Один из способов предотвращения отрицательного эффекта предложен фирмой Green-one Tes., изготавливающей поглотители солнечных коллекторов из медных трубок, которые припаиваются к теплопроводным пластинам с нанесенным покрытием. При нагреве свыше 234 °С (при отсутствии циркуляции теплоносителя) из припоя интенсивно выделяются газы, разрушающие антиотражающее покрытие. Фирма совместила во времени пайку и ультразвуковую сварку, что обеспечило выделение газов и паров из припоя и паст в процессе изготовления [58].

Во многих изделиях паяные соединения должны обеспечивать герметичность. Пригодность материалов для пайки плоских корпусов интегральных микросхем изделий электронной промышленности проверяется по косвенным характеристикам — механической прочности и герметичности. Однако при пайке позолоченных корпусов прочность швов системы золото–олово–свинец резко падает в результате термического старения, что объясняется образованием хрупких интерметаллидных фаз. Поэтому в последнее время значительное внимание уделяется физическому металловедению паяных соединений устройств микроэлектроники, в частности, изучению процессов на границе раздела «припой–основной металл» и формированию интерметаллидов на этой границе [59]. Задача экономики драгоценных металлов, поставленная в конце 1970-х годов, решалась одновременно с проблемой механической прочности и герметичности пайки никелированных корпусов. В результате разработана самофлюсующая паста на основе оловянно-свинцового припоя, образующая с никелем незначительное количество интерметаллидов [59].

Количество припоя, введенного в паяльный зазор, во многих случаях влияет на качество одних и тех же паяных соединений, выполняемых по одинаковой технологии [60].



В конце XX в. возросло внимание к наноматериалам — поликристаллическим материалам с размерами кристаллитов 5... 10 нм. В перспективе они могут быть использованы в качестве высокопрочного конструкционного материала. В Московском инженерно-физическом институте проведены сравнительные исследования свойств соединений меди, стали, титана, бериллиевой бронзы, паяных припоями с различными структурами, и установлено влияние на структуры и свойства паяных соединений. Одним из способов получения аморфных наноматериалов является сверхбыстрая кристаллизация. Пайка с использованием лент аморфного припоя малой толщины (около 20 мкм) обеспечила высокое качество соединений конструкций для атомных реакторов [61]. Серебряные припои из частиц наноразмеров (диаметр в пределах 10...30 нм), предложенные фирмой Robert Bosh GmbH, позволяют снизить температуру процесса пайки [62].

В последнее время проблемами эксплуатационной надежности паяных соединений занимаются научно-исследовательские и конструкторские организации таких отраслей, как ракетостроение и энергетика. В НПО «Энергомаш» В. П. Семеновым разработана модель механизма разрушений биметаллических конструкций (сплав ЭП 202 и сталь ВНС16) при высокотемпературной пайке и установлено, что трещины зарождаются в результате растягивающих напряжений в материалах при потере деформационной способности под воздействием расплава припоя. Причем в локальных объемах напряжения могут превышать предел прочности паяемых материалов. В поверхностном слое зоны соединения наблюдается твердорастворное легирование, искажение кристаллической решетки, дислокация и скопление водорода [63]. Задача о развитии трещины в паяном однородном материале, в котором изменяется концентрация легирующих элементов, внедряющихся из припоя в прилегающий к месту пайки слой, решалась применительно к сверхтвердым материалам [64].

Выводы

1. В течение длительного времени основными критериями для выбора припоев был температурный интервал плавления и ряд других физических характеристик: смачиваемость паяемых материалов, прочность и пр.

2. С середины XX в. номенклатура конструкционных материалов для производства изделий ответственного назначения расширяется, в связи с чем разрабатывается значительное количество припоев для качественного соединения разнородных металлов, керметов, керамики, химически активных, тугоплавких металлов и др.

3. Многочисленными исследованиями установлено, что количество дефектов, влияющих на характеристики прочности, герметичности и коррозионной стойкости паяных соединений, зависит от ряда факторов (различия физических свойств, особенностей кристаллизации, и др.), которые необходимо учитывать при разработке составов материалов и технологии пайки.

4. Наиболее перспективные направления повышения качества пайки соединений связаны с исключением из состава припоев веществ, образующих интерметаллиды с основным материалом, разработкой припоев, содержащих модификаторы и наночастицы, конструированием паяемых деталей, узлов и изделий с учетом возможной компенсации деформаций и снижения напряжений и др.

1. Алов А. А., Долгов Ю. С., Попов А. С. К вопросу о природе процессов сварки и пайки // Свароч. пр-во. — 1956. — № 12. — С. 18–25.
2. Лакедемонский А. В., Хрятин В. Е. Паяние и припой. — М.: Металлургиздат, 1958. — 240 с.
3. Куликов Ф. В., Лехциер И. Р. Твердая пайка. — М.: Госэнергоиздат, 1959. — 185 с.
4. Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. — М.: Машиностроение, 1970. — 408 с.
5. Петрушин И. Е., Лоцманов С. Н., Николаев Г. А. Пайка металлов. — М.: Металлургия, 1973. — 230 с.
6. Словарь-справочник по сварке / Под ред. К. К. Хренова. — Киев: Наук. думка, 1974. — 195 с.
7. Справочник по пайке / Под ред. С. Н. Лоцманова, И. Е. Петрушина, В. П. Фролова. — М.: Машиностроение, 1975. — 407 с.
8. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Пайка металлов. — М.: Машиностроение, 1977. — 388 с.
9. Хорунов В. Ф. Пайка: достижения и перспективы // Автомат. сварка. — 1998. — № 11. — С. 51–53.
10. Россошинский А. А. Некоторые предпосылки к теории образования паяных соединений // Новые достижения в области пайки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1981. — С. 3–13.
11. Проектирование технологии пайки металлических изделий / С. В. Лашко, Н. Ф. Лашко, И. Г. Нагапетян и др. — М.: Металлургия, 1982. — 392 с.
12. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Информационная модель проектирования технологии пайки // Современные методы пайки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 12–19.
13. Берзина А. И., Лапишов Ю. К. Влияние технологических условий пайки на надежность паяных швов никелированных корпусов микросхем // Современные методы пайки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона. — 1982. — С. 105–108.
14. Берзина А. И., Лапишов Ю. К. Влияние фосфора и кобальта в никелевых покрытиях плоских корпусов микросхем на качество ультразвуковой сварки и герметизации пайкой // Автомат. сварка. — 1983. — № 6. — С. 64–66.
15. Влияние конструктивных параметров на долговечность при теплосменах паяных соединений электронных компонентов / В. И. Махненко, Н. И. Пивторак, А. А. Грачев, Т. В. Сагайдачная // Там же. — 1991. — № 8. — С. 30–34.
16. Котельников Д. И. Оптимизация оборудования для диффузионных способов пайки и сварки // Современные методы пайки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 126–134.
17. Беляев В. Н. Надежность паяных соединений труб с трубными решетками, выполненных высокотемпературной пайкой // Автомат. сварка. — 1983. — № 10. — С. 59–61.
18. Квасницкий В. В. Некоторые вопросы взаимодействия жидкой и твердой фаз при пайке жаропрочных никелевых сплавов // Зб. наук. праць УДМТУ. — 1999. — № 4. — С. 109–114.
19. Майко Г. Г. Пайка и припои / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1968. — 323 с.
20. Хлытов В. В., Боксер Э. Л., Пастухов Б. А. Равновесие на периметре при смачивании твердой поверхности расплавами // Адгезия расплавов и пайка материалов. — 1976. — № 1. — С. 39–42.
21. Улучшение паяемости печатных плат путем оплавления гальванического покрытия лучистой энергией кварцевых галогенных ламп накаливания / Г. Д. Никифоров, М. И. Опарин, С. А. Федоров и др. // Свароч. пр-во. — 1976. — № 10. — С. 42–43.
22. Кривошей В. В., Бельцев А. Н. Пайка и сварка в производстве радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Энергия, 1974. — 240 с.
23. Костина Л. А., Частиков С. М., Юдин В. М. Пайка ниобиевого сплава с корундовой керамикой // Свароч. пр-во. — 1976. — № 10. — С. 43–44.

24. *Гладков А. С., Подвизина О. П., Чернов О. В.* Пайка деталей электровакуумных приборов. — М.: Энергия, 1967. — 288 с.
25. *Шаширо А. Е., Груздов В. В., Томилина И. Н.* Влияние микровыделений железа на характер разрушения латунных паяных швов // Автомат. сварка. — 1980. — № 5. — С. 34–38.
26. *Tylecote R. F.* The mechanical properties of copper brazed joints // *Welding J.* — 1946. — № 4. — P. 242–246.
27. *Haworth J. V., Hume-Rothery W.* The effect of four transition metals on the α/β brass type of equilibrium // *Phil. Mag.* — 1952. — № 340. — P. 613–629.
28. *Гржимальский Л. А., Ильевский И. И.* Технология и оборудование пайки. — М.: Машиностроение, 1979. — 240 с.
29. *Соединения листовых композиционных материалов разностороннего армирования с алюминиевой матрицей* // В. Ф. Хорунов, И. С. Дыхно, В. С. Кучук-Яценко и др. // Автомат. сварка. — 1981. — № 6. — С. 62–64, 69.
30. *Разработка жаропрочных припоев, работающих в условиях сульфидных коррозий* // В. Ф. Квасницкий, Г. В. Ермолаев, Г. Ф. Мьяльница // Там же. — 1987. — № 5. — С. 66–69.
31. *Фрумлин Е. И., Базильский С. В., Белецкий В. А.* Выбор припоя и технологии пайки термоплит // Там же. — 1988. — № 1. — С. 71–72.
32. *Влияние* толщины никелевого покрытия плоских корпусов микросхем на качество сварных и паяных соединений // А. И. Берзина, П. К. Марценюк, Ю. К. Лапшов, Ю. Д. Деркач // Там же. — 1983. — № 2. — С. 66–67, 71.
33. *Качество* порошковых припоев, полученных различными способами // Д. А. Дудко, В. Ф. Хорунов, Ю. Б. Малевский и др. // Там же. — 1980. — № 9. — С. 60–61.
34. *Радзиевский В. Н., Гаркунов Ю. Ф., Ткаченко Г. Г.* Влияние диспергирования наполнителя из железного порошка медным припоем на свойства металла паяного шва // Там же. — 1997. — № 8. — С. 18–22.
35. *Адгезия* расплавов и пайка материалов // Под ред. Ю. В. Найдича. — Киев: Наук. думка, 1977. — 106 с.
36. *Влияние* длительности хранения порошкообразного припоя ПМФС6-0.15 на прочность паяных соединений // С. В. Лашко, А. А. Россошинский, О. П. Бондарчук, А. Н. Писарев // Автомат. сварка. — 1980. — № 2. — С. 73–74.
37. *Берзина А. И., Дорофеева Э. Н., Полякова В. М.* Сборка и герметизация пайкой никелированных корпусов микросхем // Там же. — 1987. — № 6. — С. 46–48.
38. *Жадкевич А. М.* Развитие техники пайки, классификация и определение процессов пайки // 36. науч. праць Нац. ун-ту кораблебудування. — 2004. — № 6. — С. 33–42.
39. *Beal R. E., Saperstein Z. P.* Development of brazing filler metals for zircalloy // *Welding J.* — 1971. — № 7. — P. 275s–291s.
40. *Долгов Ю. С., Никифорова З. В.* Пайка новых конструктивных материалов. — М.: Машиностроение, 1980. — 39 с.
41. *Чуларис А. А., Михайлова М. М., Дербаремдигер Л. А.* Исследование процесса образования соединения циркониевого сплава с титановым при пайке в вакууме // Автомат. сварка. — 1991. — № 11. — С. 29–32.
42. *Северюков О. Н., Федотов В. Т., Яйкин А. П.* Новые аморфные припои для пайки титана и его сплавов // Мат. междунар. науч.-техн. конф. «Пайка-2000». — Тольятти, ТПИ, 2002. — 77 с.
43. *Скопенко А. И., Махиенко В. И., Пивторак Н. И.* Упругопластические деформации в многослойных паяных соединениях полупроводниковых приборов при циклических теплосменах // Автомат. сварка. — 1974. — № 3. — С. 33–36.
44. *Ермолаев Г. В., Лабарткава А. В.* Применение ЭВМ для решения задач механики паяных узлов // 36. науч. праць УДМТУ. — 1990. — № 6. — С. 55–64.
45. *Москаленко С. А., Костюк Б. Д., Найдич Ю. В.* Паяное соединение керамического диска (нитрида кремния) с металлическим валом // Адгезия расплавов и пайка материалов. — 2002. — № 35. — С. 103–105.
46. *Опыт* серийной пайки твердосплавного инструмента в вакуумных печах // Г. П. Волк, Т. В. Коноваленко, А. А. Михайлов, Ю. В. Найдич // Там же. — 2002. — № 35. — С. 127–128.
47. *Порошковые* жаропрочные припои для изготовления паяных узлов энергетических установок // Л. С. Кривуша, М. М. Сухомлин, Г. М. Воробьев и др. // Автомат. сварка. — 1987. — № 5. — С. 65–66.
48. *Lugsheider E., Janssen H., Humms H.* Nickel-base brazing solders- potential and challenges // *Welding and Cutt.* — 2003. — № 4. — S. 189–191.
49. *А. с. № 1244861 СССР.* Припой для пайки нержавеющей сталей и никелевых сплавов // В. Ф. Хорунов, И. А. Владимирская, М. М. Дыхно. — Заявл. 27.02.85. Не публ.
50. *Хорунов В. Ф., Кужель А. В., Супрун О. Д.* Технология изготовления и работоспособность паяных пластинчатых теплообменников // Тез. докл. II Всесоюз. конф. «Проблемы технологии сварки теплоустойчивых и жаропрочных высоколегированных сталей и сплавов», 24–26 сент., г. Николаев. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 73–74.
51. *Хорунов В. Ф., Владимирская И. А.* Новый порошковый припой на никель-марганцевой основе // Там же. — С. 128.
52. *Arc brazing of heat resistant nickel alloys* // V. F. Khorunov, S. V. Maksymova, I. V. Zvolinskyi, M. S. Samokhin // IBSC-2000 «Advanced brazing and soldering technologies». Intern. brazing and soldering conf. proc. 2–5 April, 2000, Albuquerque, New Mexico. AWS, ASM International, 2000. — P. 6–9.
53. *The use of Ni-base brazing filler metals containing Zr and Hf widens capability of superalloys brazing* // Ibid. — P. 494–498.
54. *Хорунов В. Ф.* Некоторые вопросы эрозии жидким припоем паяемого металла // Сб. науч. тр. «Прогрессивные методы в пайке». — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. — С. 9–18.
55. *А. с. 1606295, МКИ В 23 К 35/26.* Припой для пайки никеля // В. Ф. Хорунов, В. И. Швеиц, В. Ф. Лапчинский и др. — Оpubl.15.11.90, Бюл. № 42.
56. *Роде Х., Катик И., Пасчолд Р.* Импульсная дуговая пайка в среде защитных газов ЭСАБ листов с защитным покрытием // Svetsaren (Сварщик). — 2000. — № 3. — С. 21–24.
57. *Технология* низкотемпературной вакуумной пайки узлов решетчатых фирменных конструкций из алюминиевых сплавов // Ф. В. Хорунов, В. Ф. Лапчинский, В. И. Швеиц, В. Ф. Шулым // Автомат. сварка. — 1992. — № 2. — С. 52–53.
58. *Epp Bärbel.* Löter-Treffen unter Ausschluss der Öffentlichkeit // Sonne Wind und Wärme. — 2002. — № 6. — S. 60–61.
59. *Электронно-зондовые* исследования паяных соединений корпусов интегральных микросхем // Г. И. Баталин, А. И. Берзина, В. В. Папиженко и др. // Автомат. сварка. — 1982. — № 4. — С. 38–43.
60. *Прочность* соединения сплава ХН60ВТ, паяного высокотемпературными припоями // О. С. Киселев, Б. Л. Груздев, В. Г. Думанский, Л. С. Пыбина // Там же. — № 5. — С. 58–59, 63.
61. *Мамедова Т. Т., Плющев А. Н.* Исследование возможности использования быстрозакаленных дистанционирующих решеток // Сб. науч. тр. научной сессии МИФИ-2002. — Т. 9. Молекулярно-селективные и нелинейные явления и процессы. Ультрадисперсные (нано-) материалы. — М.: Изд-во МИФИ, 2002. — С. 70–71.
62. *Pat. Germany 10056732 O МПК² В 23 К 35/24.* Lote und Verfahren zu ihrer Herstellung // W. Gruenwald, E. Urban. — Заявл. 15.11.2000; Оpubl. 23.05.2002.
63. *Семенов В. Н.* Модель механизма разрушения материалов при пайке конструкции // Технолог. машиностроения. — 2000. — № 5. — С. 18–22.
64. *Рост* трещины вблизи границы раздела разнородных материалов в условиях сжатия // Ю. П. Стафаков, И. Л. Побаль, А. Г. Князева, А. И. Гордиенко // Физ. мезомеханика. — 2002. — № 1. — С. 81–88.

Trends in the development of brazing alloys, criteria of their selection to produce the quality similar and dissimilar joints of products for different fields of engineering have been analyzed. Effect of physical properties of the brazing alloy, specifics of crystallization and other factors, which should be taken into account in the development of brazing technologies, on the joint quality is shown. Challenging investigations in the field of brazing of critical products are outlined.

Поступила в редакцию 01.02.2005



СВАРНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЗАЩИТНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

В. Д. ЛАПАНДИН, инж. (ОАО «Азовобшемаш», г. Мариуполь),
А. М. БЕРЕСТОВОЙ, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Предложена конструкция защитной арматуры и метод расчета на прочность, учитывающий совместную устойчивость котла цистерны и защитного ограждения запорно-предохранительной системы. Такое решение позволяет сохранить работоспособность арматуры в нестандартных аварийных ситуациях при перевозке наливных опасных грузов и обеспечить защиту окружающей среды.

Ключевые слова: сварные конструкции, защитная арматура, предохранительные дуги, аварийная ситуация, расчетная схема, работоспособность

Интенсивность перевозок опасных наливных грузов (особенно сжиженных газов под давлением) железнодорожным транспортом и повышение его технических параметров в нестандартных аварийных ситуациях требует защиты запорно-предохранительной и сливно-наливной арматуры, расположенной в верхней части котла цистерны. В отечественной и зарубежной практике эту проблему в основном решали путем создания различных конструкций защитных колпаков, полностью закрывающих арматуру [1]. Однако, как показывает практика, такое решение недостаточно эффективно, особенно в аварийных ситуациях (например, при опрокидывании цистерн).

В последние годы наметилось использование защиты арматуры путем установки на котле предохранительных сварных дуг (концы которых на цистерне закреплены шарнирно) выше запорно-предохранительной арматуры [2]. Опыт и расчеты показывают, что, кроме значительных технологических сложностей при изготовлении и сборке таких конструкций, наблюдается недостаточная устойчивость и жесткость их в аварийных ситуациях, особенно при опрокидывании груженой цистерны.

Представляет интерес решение описанной выше задачи с учетом устойчивости и жесткости котла и привариваемых элементов защитных дуг для самых неблагоприятных условий эксплуатации. Жесткость элементов защитных дуг необходимо учитывать в основном в направлениях поперек и вдоль котла, с условием того, что значительная часть нагрузок воспринимается непосредственно

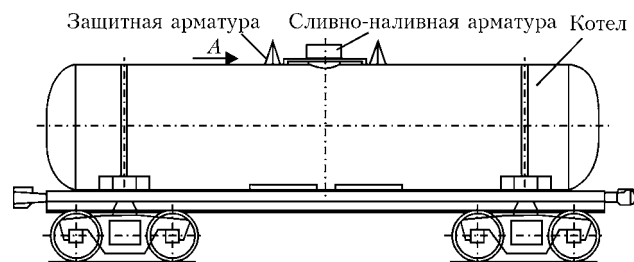


Рис. 1. Схема железнодорожной цистерны с защитной арматурой

котлом. Такой подход позволяет значительно снизить массу конструкции защитной арматуры, обеспечить ее исполнение в сварном варианте и повысить ее эффективность. В общем виде это конструктивное решение защищено патентом Украины [3] и приведено на рис. 1 и 2. Методика расчета прочности такой конструкции должна учитывать аварийную ситуацию, при которой полностью груженная цистерна опрокидывается на предохранительные дуги.

Наиболее эффективно применение метода конечных элементов, при котором расчетная масса в конструкции распределяется на пластинах и стержнях, связанных между собой в узловых точках. Это позволяет математически описать наиболее реально нагруженное состояние конструкции при аварийных ситуациях и выявить самые слабые по прочности участки котла и его защиты. Для расчетов использовали программу «Искра».

Расчеты показали, что при опрокидывании груженой цистерны на предохранительные дуги напряжения в оболочке котла (на участках приварки дуг) ниже предела текучести материала обечайки котла ($\sigma_T = 305$ МПа, сталь 09Г2С), т. е. сохраняется целостность и форма сопрягаемой с предохранительными дугами части обечайки котла. При этом и в распорках, установленных на верхней образующей котла, напряжения ниже предела текучести материала.

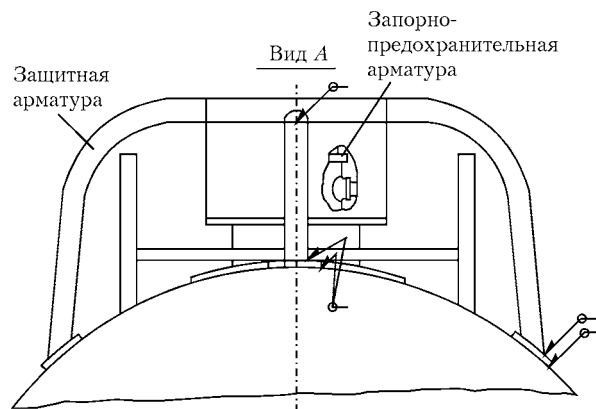


Рис. 2. Расположение швов приварки предохранительных дуг



Рис. 3. Железнодорожная цистерна после опрокидывания

В настоящее время ОАО «Азовмаш» на основании выполненных расчетов и с использованием технического решения [3] изготавливает ряд моделей вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов, снабжая их сварными конструкциями предохранительных дуг.

В 2003 г. произошла авария, связанная с опрокидыванием сцепа груженых сжиженными углеводородными газами вагонов-цистерн модели 15-

1519-01. Обследование аварийных цистерн показало, что сварная конструкция арматуры ($\sigma_T = 245$ МПа, сталь 20) обеспечила целостность арматуры и котла. В самих защитных дугах имели место незначительные деформации (рис. 3), которые не отразились на исправности арматуры и целостности котла. Это полностью подтвердило результаты проведенных расчетов.

Таким образом, использование предложенной сварной конструкции защитных устройств и метода его расчета на прочность с учетом взаимосвязи жесткости и устойчивости котла и элементов защитных устройств арматуры цистерн для перевозки опасных грузов позволяет избежать выхода из строя арматуры при нестандартных аварийных ситуациях.

1. *Вагоны* / Под ред. Л. Шадура. — М.: Транспорт, 1973. — 440 с.
2. *Пат. 2038240 РФ, МПК 6В61Д 5/00. Железнодорожная цистерна* / В. Н. Филиппов, Ю. А. Шмырев, Р. Ф. Канивец и др. — Оpubл. 27.06.95, Бюл. № 18.
3. *Пат. 39985 Украина, МКИ 7 В 61D 5/10. Залізнична цистерна* / В. А. Карасьов, С. М. Келембет, В. Д. Лапандін та ін. — Надрук. 16.07.2001, Бюл. № 6.

Design of protective fittings and method for strength design, allowing for combined stability of tank boilers and protection enclosure of the stop safety valve system, are suggested. This design makes it possible to maintain performance of the fittings under emergency conditions, when transporting hazardous bulked cargo, and provide environment protection.

Поступила в редакцию 24.11.2004

УДК 621.791.75.039-229.314

СВАРКА НА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДКЛАДКАХ

М. Г. ШАРАПОВ, д-р техн. наук (ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», г. С.-Петербург, РФ),
А. А. АВЕРЬЯНОВ, инж. (ФГУП «Адмиралтейские верфи», г. С.-Петербург, РФ)

Даны примеры эффективного использования керамических подкладок в сварочном производстве при строительстве танкеров и другой морской техники.

Ключевые слова: дуговая сварка, керамические подкладки, качество формирования, организация производства

Технология сварки на керамических подкладках активно внедрялась в сварочное производство еще в 1970–1980-е годы. В судостроении разработку керамических подкладок вел ЦНИИ ТС, который наладил их производство. Однако в перестроечное и постперестроечное время эту технологию, несмотря на все ее достоинства, не использовали. Ее возвращение на российские верфи произошло в 2000 г., когда (после ознакомления с уровнем производства судов на западных верфях, где находят широкое применение керамические подкладки при сварке) решением руководства ФГУП «Адмиралтейские верфи» была произведена закупка партии керамических подкладок концерна ESAB. Усилиями отдела главного сварщика технология сварки на керамических подкладках внедрена при строительстве танкеров. Сегодня она внедряется при

строительстве другой морской техники, в частности, при сварке сталей повышенной и высокой прочности. Наиболее прогрессивной для этих сталей оказалось применение технологии механизированной сварки корня шва во всех пространственных положениях порошковой проволокой 48ПП-8Н диаметром 1,2 мм. Керамические подкладки обеспечили высокое качество формирования обратной стороны шва, что позволило исключить дополнительную операцию строжки корня шва и аргонодуговую сварку неплавящимся электродом, которую (для обеспечения гарантированно высокого уровня качества корня шва) нередко применяли на судостроительных заводах.

Химический состав керамики импортных подкладок следующий, мас. %: 47,4 SiO₂; 37,5 Al₂O₃; 9,1 MgO; 3,5 CaO.

Наиболее применяемые виды керамических подкладок — подкладки круглой формы диаметром 6, 9, 12 мм и плоские с формирующей канавкой 2×8 мм. Концерн ESAB выпускает подкладки



секционного типа в основном длиной 500 мм с размером звена 25 мм, что позволяет им гнуться, копируя линию стыка. Подкладки прикреплены на ленту шириной 80 мм с клеевой поверхностью, что позволяет надежно закрепить ее на шве, в том числе и в разделке без дополнительных прижимных и других устройств и удерживаться при сварке, несмотря на выгорание клея в близлежащих к зоне сварки областях. Клей не влияет на качество металла шва. Для защиты от повреждений, загрязнений и клеевая поверхность ленты закрыта второй защитной лентой, удаляемой перед креплением подкладки на стыке.

Examples of efficient application of ceramic backings in welding for construction of tankers and other marine engineering facilities are given.

Поступила в редакцию 01.06.2004

У ДК 621.791.03-52

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДАТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ

А. Е. КОРОТЫНСКИЙ, канд. техн. наук, Н. М. МАХЛИН, В. Г. БУРЯК, Д. Д. КУНКИН, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описан датчик электрического сигнала, эквивалентного измеряемому току или напряжению в условиях повышенного воздействия помех. Показаны преимущества данного устройства над традиционными датчиками аналоговых сигналов. Даны кривые передаточной характеристики и проведена оценка достигаемой точности универсального датчика электрических параметров сварки. Указаны пути расширения возможностей датчика.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочное оборудование, датчик, ток, напряжение, опторазвязка, помехозащитность

Для электромагнитной совместимости сварочного оборудования, построенного прежде всего на базе высокочастотных преобразователей, требуется обязательное наличие гальванической развязки (ГР) в датчиковой аппаратуре. Такие датчики должны обеспечивать измерения с требуемой точностью в условиях горения сварочной дуги, а значит, отличаться устойчивостью к воздействию помех и наводок, а также способностью передавать сигнал в широком частотном и динамическом диапазоне, независимо от его формы и полярности.

Обычно в сварочном оборудовании для измерения тока и напряжения либо для построения систем управления с контурами обратных связей по току (напряжению) применяются датчики, выполненные на основе эффекта Холла [1], трансформаторов тока (ТТ) [2], устройств типа модулятор-демодулятор (МДМ) [3], термопреобразователей (ТП) [4].

Благодаря невысокой стоимости, простоте и надежности ТТ широко применяются в сварочном оборудовании. К их недостаткам следует отнести невысокую точность при измерении токов, форма

В связи с изложенным выше возникает вопрос организации производства таких подкладок на электродных производствах, что вполне по силам предприятиям-членам ассоциации «Электрод». Для этого вполне пригодно существующее оборудование при некоторой его доработке. Такую работу, а также создание специализированного оборудования могла бы взять на себя фирма «Велма».

Опыт применения керамических подкладок при строительстве заказов на ФГУП «Адмиралтейские верфи» показывает, что в судостроении совершенствование технологии дуговой сварки неизбежно будет связано с их применением, и в дальнейшем это произойдет во многих отраслях.

которых отличается от синусоидальной, а также непригодность для измерения параметров в цепях постоянного тока.

Датчики МДМ могут использоваться для измерения как переменного, так и постоянного тока и напряжения. Однако из-за ограниченного частотного и динамического диапазонов входных сигналов и схемно-конструктивных усложнений они широкого распространения в сварочном оборудовании не получили.

Требованиям ГР удовлетворяют ТП. Кроме того, они обеспечивают сигнал, эквивалентный действительному значению тока или напряжения вне зависимости от их формы. Вместе с тем значительная инерционность ТП практически исключает возможность их применения в качестве элементов контуров обратной связи, особенно в источниках питания и системах, содержащих узлы высокочастотного преобразования.

Наибольшее распространение получили датчики, построенные на основе эффекта Холла, используемые для измерения тока и напряжения. При этом датчики тока (ДТ) удовлетворяют большинству предъявляемых к датчикам требованиям при измерении тока любой формы и полярности. Однако промышленные образцы датчиков напряжения (ДН) на основе преобразователей не обеспечивают необходимые частотный диапазон изме-

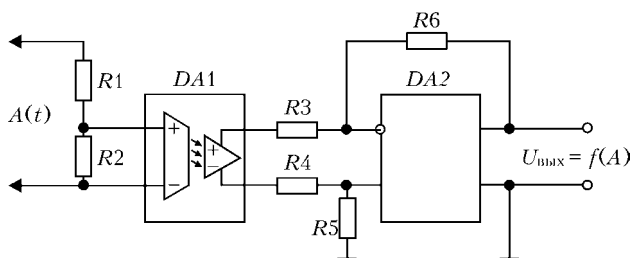


Рис. 1. Упрощенная электрическая схема базового модуля ИНУ

рений и точность в широком динамическом диапазоне. Кроме того, таким ДН требуется большая мощность и мощный внешний резистор [1, 5].

Положение существенно улучшилось с появлением на рынке электронных компонентов ГР в интегральном исполнении [6]. Эти устройства характеризуются широким динамическим и частотным диапазонами, высокой помехоустойчивостью, низким энергопотреблением, высокими значениями электрической прочности изоляции и другими преимуществами.

Авторами предпринята попытка создания на основе ГР с Σ - Δ -преобразователем универсального датчика сварочного тока и напряжения. Проведено исследование его метрологических и электрических характеристик. Базовой частью таких датчиков является измерительно-нормирующее устройство (ИНУ), имеющее ГР между входом и выходом. Упрощенная электрическая схема ИНУ представлена на рис. 1.

ИНУ содержит входной аттенюатор $R1, R2$; линейную опторазвязку в интегральном исполнении $DA1$ и масштабирующий усилитель $DA2$. Резисторы $R3, R6$ и $R4, R5$ выбирают из условий обеспечения необходимых коэффициентов усиления. Входной аттенюатор выполнен на прецизионных резисторах, сопротивление которых выбирается с учетом диапазона возможных значений входного сигнала и максимально допустимого входного напряжения опторазвязки. При построении ДТ с использованием шунта наличие аттенюатора необязательно.

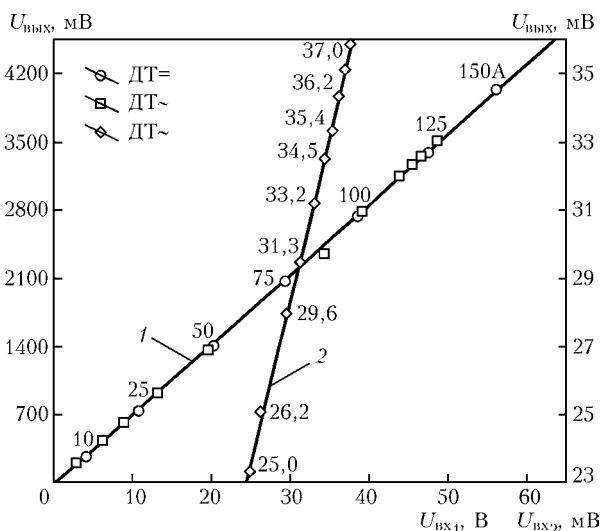


Рис. 2. Передаточная характеристика универсального датчика в режиме датчика тока (1) и датчика напряжения (2)

Микросхема $DA1$ представляет собой получившую в последнее время широкое распространение опторазвязку серии HCPL (фирма «Agilent Technologies»), в состав которой входят Σ - Δ -модулятор, оптронная цепь ГР и Σ - Δ -демодулятор. Такое построение опторазвязки обеспечивает высокую точность передачи аналоговых сигналов [7]. Из-за нечувствительности светового потока к воздействию внешних полей выходной сигнал оптопары не содержит помех и искажений, являющихся результатом действия внешнего электромагнитного поля.

Масштабирующий операционный усилитель $DA2$, выполненный с биполярным питанием, предназначен для усиления входного сигнала датчика до уровня, необходимого при дальнейшей обработке сигнала. Он обеспечивает согласование выходного импеданса ИНУ с входным импедансом приемника сигнала (узлы обратной связи систем управления, АЦП и т. д.).

Характеристики и параметры датчиков рассмотрим на примере датчика УДС-55/1, опытные образцы которого разработаны и испытаны в ИЭС им. Е. О. Патона. На рис. 2 приведены передаточные характеристики датчика при использовании его в режиме ДТ и ДН. Кривой 1 соответствует левая ось ординат с указанными на ней значениями выходного сигнала ДТ, а кривой 2 — правая ось с указанными на ней значениями выходного сигнала ДН. Входные значения ДТ снимали с измерительного шунта типа 75 ШСМ, включенного последовательно в сварочную цепь, а ДН — непосредственно с выхода сварочного источника. Измерения проводили как для постоянного, так и переменного сигнала. Из рис. 2 видно, что передаточные характеристики универсального датчика (УД) линейны независимо от рода тока во всех режимах измерений. В целом, оценивая результаты испытания, можно считать возможным использование разработанного устройства в качестве датчика постоянного тока с достаточной степенью помехозащищенности.

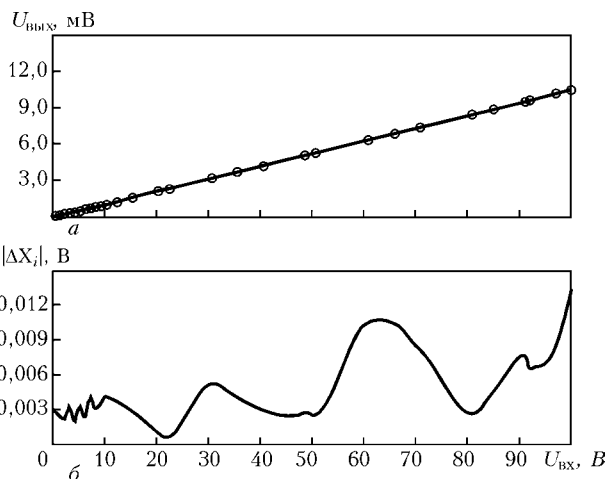


Рис. 3. Передаточная характеристика универсального датчика в режиме датчика напряжения (а) и разброс его показаний (б)



Для оценки достигаемой точности представим передаточную характеристику устройства выражением

$$U_{\text{вых}} = \prod_{i=1}^3 k_i U_{\text{вх}},$$

где $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение УД; $U_{\text{вх}}$ — входной сигнал УД; k_i — коэффициент передачи каждого звена датчика.

Графически зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ изображается прямой линией, наклон которой определяется произведением коэффициентов передачи каждого звена. Таким образом, можно узнать погрешность исследуемого устройства. С этой целью нами проведен эксперимент, в ходе которого исследовали передаточную характеристику УД на постоянном токе. Результаты эксперимента представлены на рис. 3. На рис. 3, а изображена аппроксимирующая прямая, построенная по выходным данным УД, на рис. 3, б — отклонения полученных точек от аппроксимирующей прямой $U_{\text{вых}} = 9,5545 U_{\text{вх}}$. Погрешность УД может быть вычислена по следующей формуле:

$$E = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta X_i|}{\bar{X}} 100 \%,$$

где ΔX_i — отклонение i -го значения от аппроксимирующей прямой; n — количество измерений; \bar{X} — среднее значение всех результатов измере-

ний. Результаты вычислений дают погрешность 0,88 %.

Дальнейшее расширение функций УД возможно в следующих направлениях:

подключение к выходным каналам многоканального АЦП. Использование цифрового сигнала представляется весьма привлекательным, поскольку он не подвержен воздействию помех и может передаваться на значительные расстояния; совмещение УД и микросхемы AD736, преобразующей входной сигнал в сигнал постоянного тока, прямо пропорциональный среднеквадратичному или среднему значению входного сигнала.

В заключение следует отметить, что на основе проведенных испытаний разработаны опытные образцы универсального датчика УДС-55/1, которые опробованы в работе как в сварочном оборудовании, так и в анализаторах дуги.

1. *Гальваномагнитные преобразователи в измерительной технике* / В. В. Брайко, И. П. Гринберг, Д. В. Ковальчук и др. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 360 с.
2. *Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособие* / Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.
3. *Электронные и полупроводниковые устройства систем автоматического управления* / Под ред. Е. М. Решетникова. — М.: Машиностроение, 1966. — 463 с.
4. *А. с. 1659889 СССР А1, МКИ G 01 R 19/22*. Измерительный преобразователь переменного напряжения в постоянное / А. Е. Коротынский, А. Е. Сергеев, В. М. Лукаш и др. — Оpubл. 30.06.91; Бюл. № 24.
5. *Data sheets of voltage and current transducer* / LEM Business Area Components // www.lem.com.
6. *Романов А. Ю.* Линейные опторазвязывающие устройства на основе E-D АЦП // Электрон. компоненты и системы. — 2003. — № 9. — С. 6.
7. *Data Sheets HCPL-7800A* // www.agilent.com.

Sensor of an electric signal equivalent to measured current or voltage under conditions of increased noise effect is described. Advantages of such devices over traditional sensors of analog signals are shown. Transfer characteristic curves are given, and estimation of the achieved accuracy of the versatile sensor of electrical welding parameters is considered. Ways of enhancement of capabilities of the sensor are indicated.

Поступила в редакцию 28.05.2004,
в окончательном варианте 25.10.2004

НОВОСТИ

ГАРАНТИРОВАННО СУХИЕ ГОТОВЫЕ К УПОТРЕБЛЕНИЮ ШТУЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ

Штучные электроды, упакованные по системе Böhler Dry (сухая упаковка по системе Бёлер), по мнению разработчиков, постоянно готовы к употреблению, даже будучи распакованными на месте использования, в том числе в сложных условиях, так как всегда сухие, «тепленькие» и не нуждаются в повторной сушке.

Многослойную алюминиевую фольгу, не пропускающую водяной пар, сваривают в вакууме, упаковка производится автоматически, вакуум служит для сварщика индикатором и гарантирует оптимальное качество.

Система Böhler Dry имеет такие преимущества: практичность и доступность, возможность сварки без повторной сушки, нет необходимости поддержания теплого состояния, гарантированно низкое

содержание водорода, экономия средств за счет ненужности повторной сушки и сохранения тепла, гарантия качества, малый объем упаковки, простое хранение на складе, долговечность, гарантированный срок хранения в целой упаковке (три года).





НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЗК ПРОДОЛЬНЫХ ШВОВ СВАРНЫХ ТРУБ

При производстве труб с применением дуговой сварки под флюсом решающее влияние на качество сварки оказывают химический состав флюса и проволочного электрода, подготовка сварочных кромок, а также параметры сварки. При этом наиболее характерными являются следующие типы дефектов: непровары, подрезы, поры, шлаковые включения, продольные трещины и трещины произвольной ориентации, отклонения геометрии шва и трубы.

Коллективом специалистов ИЭС им. Е. О. Патона (г. Киев) и НИИНК АО «Интроскоп» (г. Кишинев) создана установка УЗК НК360. Она отвечает жестким требованиям по времени переналадки на трубы другого типоразмера, а также требованиям по надежности системы АУЗК. Система управления в ней реализована на программируемом контроллере «Siemens» Simatec S7-300 с двумя распределенными станциями ET-200m.

Управление установкой осуществляется по сети PROFIBUS-DP, ручное управление также осущес-

твляется с программируемого пульта фирмы «Siemens» OP-17. В установке применены серводвигатели комплектных приводов фирмы «Rexroth Bosch», интерфейс блоков управления приводами PROFIBUS-DP.

Внедрение установки 11К360 в технологической линии на Выксунском металлургическом заводе (Россия) рассчитано на обеспечение 100-процентного УЗ контроля на приоритетном направлении развития завода — выпуске прямошовных сварных труб диаметром 508...1420 мм с толщиной стенки 7...50 мм для магистральных трубопроводов. Установка выполнена для контроля качества сварного шва в соответствии с требованиями международных стандартов API 5L и DIN EN 10246-15.



УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ управления процессом сварки и устройство для его осуществления (варианты), отличающийся тем, что формируют регулируемый временной интервал, длительность которого отсчитывают от момента отпирания ключей и которая не превышает времени насыщения сердечника выходного трансформатора, и форсированно запирают проводящие в данном такте ключи по окончании регулируемого временного интервала или при достижении измеряемым током эталонного значения, при этом одновременно запрещают открывание всех ключей на время от момента подачи сигнала на запирающие ключи и до момента установления постоянного напряжения на обмотках выходного трансформатора в данном такте работы инвертора. Патент РФ 2239526. И. В. Логинов, С. С. Молчанов, К. А. Юркевич [31].

Способ получения сварного соединения деталей из разнородных материалов, отличающийся тем, что при получении соединения многослойной детали из тонкостенных элементов из трудносвариваемого сплава с арматурой технологический элемент изготавливают из металла арматуры и закрепляют на многослойной детали контактной роликовой сваркой, располагая его внахлестку на многослойной детали, а роликовые электроды устанавливают один на технологическом элементе, другой — на многослойной детали со смещением друг относительно друга. Патент РФ 2239527. В. И. Бобков, А. Н. Вычеров (ОАО НПО Энергомаш им. акад. В. П. Глушко) [31].

Способ получения композиционного материала сталь-медь, отличающийся тем, что составляют пакет под сварку взрывом из плакирующей заготовки в виде медного диска, защитной прокладки из высокоэластичного материала и стального экрана, и устанавливают над плакируемой стальной заготовкой с зазором, составляющим 0,5...1,5 толщины привариваемой плакирующей заготовки, в виде медного диска, полученную

сборку размещают на стальной опоре под углом к продольной оси канала ствола порохового метательного устройства равным 74...80°, и осуществляют сварку взрывом путем ударного нагружения за счет разгона цилиндрического ударника из высокопластичного. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2239528. С. П. Писарев, А. П. Князев (Волгоградский ГТУ) [31].

Способ диффузионной сварки разнородных металлов, отличающийся тем, что кольцевые заготовки выполняют с отверстиями в центральной части диаметром не более чем 1,5 толщины стенки камеры и помещают их в камеру с зазорами не более 1 мм, после чего камеру с заготовками устанавливают в герметичном объеме и производят всестороннее сдавливание камеры нейтральным газом, нагретым до температуры сварки, затем камеру охлаждают и удаляют центральную часть сваренных кольцевых заготовок. Патент РФ 2239529. В. П. Гордо, В. Н. Елкин, Г. Н. Шевелёв (ФГУП НИКИ энергетики им. Н. А. Доллежалея) [31].

Способ изготовления теплоотводящего кессона, отличающийся тем, что на внутренней поверхности стальной пластины выполняют образующие ребристую поверхность канавки шириной, соответствующей ширине ребра медной пластины, при этом канавки выполняют с плавным выходом на плоскость пластины и образованием с противоположных сторон гладких участков, идентичных по форме и расположению углублениям на медной пластине, при этом размещают в канавках стальной пластины, а при сборке кессона медную пластину вставляют ребрами в соответствующие канавки стальной пластины с образованием зазоров как между горизонтальными паяемыми поверхностями, так и между боковыми, пайку осуществляют под нагрузкой в пакете, содержащем не менее двух пар пластин. Патент РФ 2239530. В. Н. Семенов, В. А. Ринейский, С. С. Головченко, С. И. Криворотченко [31].

Способ сварки толстостенных деталей из трудносвариваемых, высоколегированных, высокопрочных материалов,

*Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетене РФ «Изобретения. Полезные модели за 2004 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



отличающийся тем, что присадочный металл в виде тонкостенных элементов толщевой, равной или большей толщины свариваемых кромок, прихватывают к поверхностям кромок свариваемых деталей, собирают стык без зазора на подкладке, прикладывают к стыку в направлении, перпендикулярном ему, сжимающую нагрузку, выполняют расплавление присадочного металла узким расфокусированным электронным лучом на режимах, обеспечивающих минимальное оплавление околошовной зоны, и затем сварку на тех же режимах. Патент РФ 2239531. В. И. Бобков, А. Н. Вычеров (ОАО НПО энергетики им. акад. В. П. Глушко) [31].

Электрод для плазменной обработки, содержащий держатель в виде тела вращения, выполненный из материала на основе меди, вмонтированную в глухое отверстие на торце держателя по его оси биметаллическую цилиндрическую катодную вставку, содержащую сердечник, изготовленный из сплава гафния и циркония, и оболочку, охватывающую сердечник, отличающийся тем, что соотношение площадей поперечных сечений оболочки и сердечника в нем составляет $(0,5...0,7):1$. Патент РФ 2239532. Г. В. Осинцев [31].

Способ электронно-лучевой обработки титановых сплавов, отличающийся тем, что зону нагрева располагают на основном металле параллельно сварному шву, нагрев производят электронным лучом до температуры $\alpha \rightarrow \beta$ -превращений титанового сплава со скоростью нагрева не более $15^\circ\text{C}/\text{с}$, причем нагрев ведут сканирующим электронным лучом по нескольким траекториям с разными частотами осцилляции. Патент РФ 2240211. А. П. Аржакин, И. И. Столяров, В. М. Язовских и др. (ОАО «Пермский моторный завод») [32].

Способ изготовления оголовника свинцовой разветвительной муфты, отличающийся тем, что для получения отверстий торцы с одной стороны патрубков развальцовывают на угол 90° , затем патрубки устанавливают в отверстия свинцового диска и припаивают отверстия патрубков к торцевой поверхности диска, на которую устанавливают коробку и пропаявают стык коробки и диска по контуру. Патент РФ 2240212. А. К. Беленко, А. Е. Виноградов, С. М. Кулешов, П. И. Ющенко (ЗАО «Связьстройдеталь») [32].

Способ соединения тонкостенных труб пайкой, включающий сборку соединения и пайку, отличающийся тем, что по окружности, по меньшей мере, одной из труб предварительно выполняют точечные выступы, расположенные эквидистантно с шагом $t = (0,7...1,0)R$, где t — расстояние между выступами, мм; R — наружный радиус трубы, мм, при этом высоту выступов выбирают соответствующей величине монтажного зазора. Патент РФ 2240902. В. М. Бойко, Б. Н. Марьян, А. В. Чернышев (ОАО Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное предприятие им. Ю. А. Гагарина) [33].

Устройство выделения информации и управления положением сварочного электрода, содержащее источник питания дуги, шунт в сварочной цепи, сварочную горелку, датчик величины сварочного тока, усилитель коррекции, привод коррекции сварочной горелки поперек стыка, схему сравнения, усилитель амплитуды колебаний электрода, регулятор амплитуды колебаний электрода, сумматор, привод подачи сварочной горелки вдоль стыка, отличающееся тем, что в устройство дополнительно введены первый и второй аналоговые коммутаторы. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2240903. В. М. Пакарин, Э. В. Роцупкин, Н. И. Воронцов, Н. В. Воронцова (Тульский ГТУ) [33].

Способ контактной стыковой сварки чугуна оплавлением, отличающийся тем, что задают общее время t в секундах предварительного подогрева $t = 0,02S$, где S — площадь сечения свариваемой детали в квадратных миллиметрах, в течение которого подогрев осуществляют прерывисто, производя несколько циклов, суммарная продолжительность импульса и паузы каждого из которых составляет $0,8...1,2$ с, а последующую осадку после оплавления осуществляют давлением $30...40$ МПа, при этом на протяжении всего времени сварки, включая предварительный прерывистый подогрев, на свариваемые детали в зоне сварки подают несинусоидальные наносекундные электромагнитные импульсы мощностью 1 МВт, длительностью

менее 1 нс и частотой повторения не менее 1 кГц. Патент РФ 2240904. М. В. Шахматов, В. В. Крымский, Д. М. Шахматов [33].

Материал для электродов контактных сварочных машин, отличающийся тем, что содержит дополнительно кремний марки КР2 и алюминий марки А5 при следующем содержании компонентов, мас. %: $96,26$ Cu; $1,93$ Ni; $0,96$ Cr; $0,55$ Si, $0,3$ Al. Патент РФ 2240905. Б. Н. Недидов, В. Ф. Павлов, В. С. Сливкин, В. Ф. Шабанов (СКТБ «Наука» Красноярского научного центра СО РАН) [33].

Способ лазерной сварки прецизионных осесимметричных изделий, отличающийся тем, что разделение лазерного луча осуществляют на два луча одинаковой интенсивности с общей фокальной плоскостью на заключительном участке траектории, при этом оптические оси лучей на заключительном участке траектории располагают в одной плоскости с осью симметрии изделия и ориентируют в этой плоскости под углом наклона относительно перпендикуляра к общей фокальной плоскости, лежащим в диапазоне, определяемом неравенством $(-50^\circ) \leq \alpha \leq (+50^\circ)$, расстояние L между оптическими осями в общей фокальной плоскости устанавливают по соотношению $L = D$. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2240906. В. А. Гребенников, Г. Н. Джанджава, Д. К. Милишнев и др. (ОКО «Раменское приборостроительное КБ») [33].

Керамический флюс для автоматической сварки и наплавки, отличающийся тем, что керамический флюс дополнительно содержит алюминиевый порошок, силикат натрия и оксид титана, а оксид алюминия введен в виде глинозема и/или корунда при следующем соотношении компонентов, мас. %: $25...38$ SiO₂; $15...25$ Al₂O₃; $24...35$ MgO; $7...17$ CaF₂; $0,1...9$ TiO₂; $0,1...2$ Al; остальное Na₂OxSiO₂. Патент РФ 2240906. Ю. С. Волобуев, О. С. Волобуев, А. В. Сурков и др. [33].

Устройство автоматического управления положением сварочной головки, отличающееся тем, что в устройство включен канал управления скоростью подачи проволоки, который содержит триггер Шмидта, вход которого подключен к токовому, а выход — к элементу И, ко второму входу которого подключен генератор импульсов, второй выход которого подключен к счетчику, а третий выход — к регистру, причем ко второму входу счетчика подключен элемент И, выход счетчика подключен ко входу регистра, выход регистра подключен к цифро-аналоговому преобразователю, выход которого подключен к одному из входов схемы сравнения, ко второму входу которого подключен выход усилителя амплитуды, выход схемы сравнения подключен ко входу усилителя, выход которого подключен к приводу подачи проволоки. Патент РФ 2241583. Р. В. Соколовский, М. А. Корниенко, В. М. Панарин и др. (Тульский ГТУ) [34].

Мягкий припой, отличающийся тем, что он дополнительно содержит галлий и цинк, при этом отношение галлия к олову и цинка к олову находится в пределах от $1/75$ до $1/25$ при следующем соотношении компонентов, мас. %: $48...52$ индия; $46...50$ олова; $0,6...26,0$ галлия; $0,6...2,0$ цинка. Патент РФ 2241584. Г. П. Доронин, П. П. Литвиненко (ФГУП «Научно-производственное предприятие «Исток») [34].

Состав сварочной проволоки, отличающийся тем, что он дополнительно содержит медь при следующем соотношении компонентов, мас. %: $0,04...0,10$ углерода; $0,2...0,8$ кремния; $0,9...1,6$ марганца; $0,1...0,6$ ванадия; $0,0012...0,002$ кальция; не более $0,25$ меди; не более $0,25$ хрома; не более $0,08$ молибдена; не более $0,025$ серы; не более $0,030$ фосфора; остальное железо. Патент РФ 2241585. А. В. Сурков, Н. В. Павлов, Д. Н. Абраменко и др. [34].

Способ изготовления паяного твердосплавного инструмента, отличающийся тем, что нагрев зоны ведут со скоростью $30...60^\circ\text{C}/\text{с}$ при одновременном дополнительном нанесении на зону флюса, обладающего большей вязкостью и кислородонепроницаемостью. Патент РФ 2242340. Ю. В. Коллойда, А. А. Бабаев (Новосибирский ГТУ) [35].



Способ пайки сотовых панелей, отличающийся тем, что поджатие обшивок создают оснасткой в заданных температурных условиях пластической деформации, но ниже температуры плавления припоя на 50...250 °С. Патент РФ 2242341. М. А. Уржунцев, В. М. Коросев, И. Ф. Костенко и др. (ОАО «НПО Поволжский авиационный технологический институт») [35].

Сварочный пост, отличающийся тем, что он имеет тележку, на которой укреплен стойка с винтом, на головке которого на оси эксцентрично установлен локтевой упор. Патент РФ 2242342. М. С. Беллавин [35].

Малогабаритная горелка для сварки неплавящимся электродом, отличающаяся тем, что горелка имеет трубки для подачи охлаждающей воды, расположенные в одной горизонтальной плоскости с трубкой для подачи защитного газа, а зажимная цапга выполнена с наружной конусной резьбой. Патент РФ 2242343. Л. Б. Кокарев, В. С. Бичнов, В. Ф. Букреев, А. Е. Соколов (ОАО НПО «Искра») [35].

Соединитель для присоединения сварочной горелки, отличающийся тем, что корпус соединителя и вставляемый кожух выполнены в виде единого узла или одной детали, части которой соединены с помощью задней стенки, при этом корпус соединителя выполнен из изоляционного материала; вставка изготовлена из электропроводного материала и имеет резьбовую поверхность и контактную поверхность, при этом вставка установлена в гнезде. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2242344. Л. Керекеш, Л. Мессарош, А. Натта и др. (Венгрия) [35].

Устройство для электронно-лучевой сварки, отличающееся тем, что фокусирующие линзы его изготовлены из статических магнитов, выполненных в виде полых торцов. Патент РФ 2242345. В. Т. Доронин (Алтайский ГТУ) [35].

Способ контактной точечной сварки оцинкованных стальных листов, отличающийся тем, что сначала экспериментальным путем на опытной партии деталей определяют оптимальные показатели сварочного тока и длительность импульса для полного удаления толщины покрытия, используя средства индикации, свидетельствующие о наличии или отсутствии в зоне сварки цинкового покрытия, и установленные режимы используют для сварки рабочей партии деталей с эквивалентной толщиной покрытия. Патент РФ 2243071. А. В. Вакатов, Ю. С. Данилов (ОАО «Автоваз») [36].

Твердотельный лазер, отличающийся тем, что расстояния между излучателем и оптической стабилизирующей системой и оптической стабилизирующей системой и выходом из зоны обработки выбираются от соотношения (0,8...1,2):(10...30). Патент РФ 2243072. С. С. Усов, И. В. Минаев, Ю. Б. Зверев и др. (ОАО АК «Туламашзавод») [36].

Флюс для аргодуговой сварки изделий из алюминиевых бронз при их изготовлении и ремонте, отличающийся тем, что он дополнительно содержит фторид кальция и хлорид аммония при следующем соотношении компонентов, мас. %: 37...51 хлорида калия; 25...29 хлорида лития; 4...8 хлорида цинка; 4...6 хлорида аммония; 8...10 фторида натрия; 8...10 фторида кальция. Патент РФ 2243073. В. В. Рыбин, А. В. Баранов, А. Е. Войнерман и др. (ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей») [36].

Флюс для низкотемпературной пайки, отличающийся тем, что он дополнительно содержит гидразин солянокислый при следующем соотношении компонентов, мас. %: 10...40 хлорида цинка; 1,0...4,5 хлорида аммония; 0,05...1,0 гидроксилamina гидрохлорида; 0,2...1,0 гидразина солянокислого; 1,1...3,0 карбамида; остальное вода. Патент РФ 2243074. А. М. Никитинский, С. А. Пигалов (ОАО «РУМО») [36].

Способ изготовления порошковой проволоки в металлической оболочке для сварки и наплавки металлов, а также для обработки металлических расплавов, отличающийся тем, что в первой формовочной клети формуют центральный участок оболочки на угол 80...100° с радиусом, превышающим радиус изделия на 40...60 %; во второй формовочной клети заготовку формуют по всей ширине на угол 160...200° с радиусом, превышающим радиус изделия на 80...120 %; в третьей формовочной клети центральный участок формуют на угол в 180° с радиусом, превышающим радиус готового изделия на 20...40 %, а периферийные участки при этом полностью распрямляют параллельно друг другу на одинаковую высоту, после чего производят заполнение оболочки порошковым материалом. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2243075. С. В. Самусев, В. А. Маршалкин, Д. В. Захаров (ФГУ ВПО «Московский государственный институт стали и сплавов») [36].

Способ восстановления роликов, включающий предварительный подогрев, многослойную наплавку стальным электродом, отличающийся тем, что предварительный подогрев ролика производят до температуры 200...300 °С, наплавку ведут со скоростью 10...40 м/ч при плотности электрического тока 20...25 А/мм. Патент РФ 2243076. В. С. Смирнов, А. М. Ламухин, О. В. Синев и др. [36].

ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ЖУРНАЛАМ*

BULETINUL INSTITUTULUI in SUDURA si INCERCARI de MATERIALE — BID ISIM (Румыния), 2004. — № 1 (рум. яз.)

Secosan I. et al. Экспериментальное исследование высокотемпературной пайки титана и его сплава Ti-1Pd для несущих конструкций, с. 2–10.

Научно-исследовательские проекты, с. 11–20.

Bunea M. et al. Исследование условий обеспечения качества покрытий, выполненных с помощью технологий термического напыления, с. 37–47.

MATERIALS SCIENCE and TECHNOLOGY (Англия), 2003. — Vol. 19, № 5 (англ. яз.)

Capdevila C. et al. Анализ влияния легирующих элементов на температуру начального превращения мартенсита в сталях, с. 581–586.

Sasikala G. et al. Ряд соотношений, определяющих разрушение вследствие теплового изотермического напряжения, для нержавеющей стали 316L(N) и их использование. Ч. 1. Разработка эталонных соотношений, с. 626–631.

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона.



Sasikala G. et al. Ряд соотношений, определяющих разрушение вследствие теплового изотермического напряжения, для нержавеющей стали 316L(N) и их использование. Ч. 2. Применение нержавеющей стали 316L(N) в атомной энергетике, с. 632–636.

MATERIALS SCIENCE and TECHNOLOGY (Англия), 2003. — Vol. 19, № 6 (англ. яз.)

Lee W. B. et al. Влияние параметров сварки трением на механические и металлургические свойства соединения алюминиевого сплава 5052 со сталью А36, с. 773–778.

Lee W.B. et al. Свойства соединений магниевого сплава AZ31В-Н24, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с. 785–790.

MATERIALS SCIENCE and TECHNOLOGY (Англия), 2003. — Vol. 19, № 8 (англ. яз.)

Zhang Y.-B., Ren D.-Y. Распределение прочных карбидообразующих элементов в металле шва при твердой наплавке, с. 1029–1032.

Abdolmaleki A. R. et al. Оценка вязкости разрушения на поверхности раздела между нахлесточным сварным швом и основным металлом в реакторах установок для гидрокрекинга, с. 1033–1036.

Qiu H. et al. Влияние термических циклов сварки и холодной обработки на вязкость разрушения стали SN490, подверженной статической и динамической нагрузке, с. 1045–1049.

PRAKTIKER (Германия), 2004. — № 5 (нем. яз.)

Уже поставлено 100 лазерных роботов, с. 133.

Vanschen W. Нанесение покрытий на внутренних поверхностях лазерной порошковой наплавкой, с. 134, 136–138, 140.

Schreiber F. Только применение термического напыления сделало возможным подъем крупного судна, с. 142–145.

Cramer H. et al. Контактная сварка сталей с высоким содержанием углерода, с. 146, 148–149.

Schuster J. О сортах стали и других особенностях, к сожалению, почти правда!, с. 150–156.

Leising S., Sanders W. И DVS будет готовить сварщиков по директивам МИС, с. 157–158.

SCIENCE and TECHNOLOGY of WELDING and JOINING (Англия), 2003. — Vol. 8, № 2 (англ. яз.)

Tsirkas S. A. et al. Оценка деформаций судостроительных компонентов, выполненных лазером, с помощью подхода с локально-глобальными конечными элементами, с. 79–88.

Merig C., Okur A. Исследование вязкости разрушения сварочных электродов SAE 1020 с рутиловым покрытием и определение коэффициента несоответствия, с. 89–94.

Moon D. V. et al. Макроструктура, твердость и температура сварного соединения на стали HSLA100, с. 95–101.

Nolan D. et al. Образование усадочных трещин в корневом проходе кольцевых сварных швов трубопровода из низкоуглеродистой стали, выполненном ручной дуговой сваркой электродом с целлюлозным покрытием, с. 102–112.

Ramini N. M. de Rissone et al. Влияние технологии сварки (положение при сварке, количество слоев, энергия дуги и тип защитного газа) на наплавленный порошковой проволокой металл ANSI/AWS A5.20-95 E71T1, с. 113–122.

Dunne D. et al. Структурные характеристики многопроходных швов, выполненных дуговой сваркой с порошковой проволокой, с. 123–132.

Chao Y. J. Вид разрушения точечных швов — отрыв сварной точки и разрушение по поверхности раздела, с. 133–137.

Feng J. et al. Моделирование с помощью метода конечных элементов термического напряжения в процессе диффузионного соединения между керамическим Al_2O_3 и алюминием, с. 138–142.

Gao J., Wu C. Неïрофази-управление проплавлением шва при сварке ТИГ, с. 143–148.

Shirzadi A. A., Saindrenan G. Новый метод диффузионной бесфлюсовой пайки твердым припоем сплавов алюминия с использованием жидкого галлия (заявка на патент 0128623.6, Великобритания), с. 149–153.

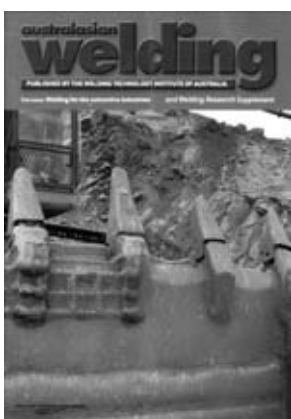
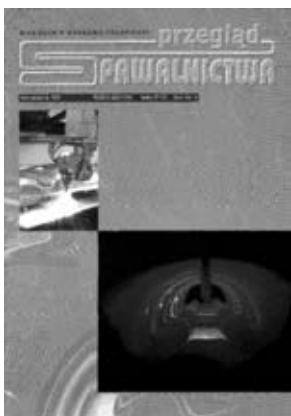
Ma X., Yoshida F. Численное моделирование распределения напряжений сдвига в паяном соединении Al- Al_2O_3 , с. 154–156.

SCIENCE and TECHNOLOGY of WELDING and JOINING (Англия), 2003. — Vol. 8, № 4 (англ. яз.)

Norman A. F., Birley S. S., Prangnell P. B. Разработка новой высокопрочной присадочной проволоки Al-Sc для сварки плавлением алюминиевых сплавов для авиационно-космической промышленности серии 7000, с. 235–245.

Deutsch M. G., Punkari A. et al. Свариваемость листового материала из сплава алюминия 5182 толщиной 1... 6 мм при сварке одно- и двухпучковым лазером Nd:YAG, с. 246–256.

Kh. A. A., Hassan P. B. et al. Влияние сварочных параметров на микроструктуру и свойства зоны ядра сварной точки в сварных соединениях из высокопрочного алюминиевого сплава, выполненного сваркой трением с перемешиванием, с. 257–268.





Punkari A., Weckman D. C. et al. Влияние содержания магния на сварку двухпучковым лазером Nd:YAG алюминий-магниевого сплава, с. 269–281.

Nelson T. W., Steel R. J. et al. Термические исследования на месте и влияние механических свойств после сварки швов, выполненных трением с перемешиванием на дисперсионно-упрочненные алюминиевые сплавы, с. 283–288.

Shinozaki K., Dejun Li et al. Наблюдение трещинообразования типа IV в сварных соединениях из высокохромистых ферритных высокопрочных сталей, с. 289–295.

Dejun Li, Shinozaki K. et al. Анализ факторов, воздействующих на трещинообразование типа IV в сварных соединениях из высокохромистых ферритных высокопрочных сталей, с. 296–302.

Johan Singh P. et al. Прогнозирование усталостной долговечности стыковых сварных соединений из стали AISI 304L с разной геометрией валков с использованием подхода местных напряжений, с. 303–308.

Mousavi M. G. et al. Измельчение зерна благодаря отделению зерна в швах из AA7020, выполненных сваркой трением с электромагнитным перемешиванием, с. 309–312.

SCHWEISS- & PRUFTECHNIK (Австрия), 2004. — № 5 (нем. яз.)

Letovsky E. Микроструктурные аспекты сварных соединений, устойчивых против ползучести, с. 70–74.

Сварочная техника фирмы «Бёлер», с. 75.

«Нежное» обращение с высококачественными сталями, с. 78.

VARILNA TEHNIKA (Словения), 2003. — Let. 52, № 3 (слов. яз.)

Rihar G. Обеспечение качества в области сварки, с. 79–83.

Golob M., Koves A. Методы искусственного интеллекта применительно к сварке, с. 84–92, 97.

VARILNA TEHNIKA (Словения), 2003. — Let. 52, № 4 (слов. яз.)

Uran M. Контроль качества контактной точечной сварки с помощью многопараметрического анализа в фазовом пространстве. Введение, с. 115–125.

Takeuchi K. Формула расчета сварных соединений, подверженных статическим нагрузкам, с. 126–130, 135.

WELDING INTERNATIONAL (Англия), 2003. — Vol. 17, № 11 (англ. яз.)



Dzuba S. Влияние параметров процесса стыковой сварки под давлением на прочность и вязкость трубчатых соединений поливинилденфторида, с. 845–851.

Sato Y. S., Kokawa H. Процесс сварки трением с перемешиванием, с. 852–854.

Takasu N. Сварка трением пластмасс, с. 856–859.

Madea K. et al. Применимость диодного лазера при сварке алюминиевых сплавов, с. 860–863.

Terasaki T., Yamakawa D. Исследование сварочных деформаций и остаточных напряжений, образующихся в соединениях из промышленно чистого титана, с. 864–869.

Sasabe S. et al. Характеристики лазерной сварки сплавов алюминия для автомобильной промышленности, с. 870–878.

Ogawa K. et al. Сварка трением магниевого сплава AZ 31, с. 879–885.

Sharapov M. G. Оптимизация газовой защиты при плазменной сварке.

Ovcharenko Yu. N. Оценка усталостной прочности сварных соединений при малоцикловом нагружении с помощью критерия J-интеграла, с. 890–894. Selected from Svarochnoe Proizvodstvo, Russia, 2003, 46 (6), 7–11.

Dubrovskii V. A. et al. Предупреждение выплеска металла при электроконтактной наплавке проволокой из стали 40Cr13, с. 895–898.

Denisov L. S., Medvedev S. V. Дифференцированный подход к компьютерному проектированию сварных конструкций, с. 899–904.

Pokhodnya I. K. Сварочные материалы — современное состояние и тенденции развития, с. 905–917.

Parshin S. G. Использование активирующих материалов при аргонодуговой сварке, с. 918–920.

WELDING INTERNATIONAL (Англия), 2003. — Vol. 17, № 12 (англ. яз.)

Aizawa T. Электромагнитная роликовая сварка алюминиевых листов под давлением, с. 929–933.

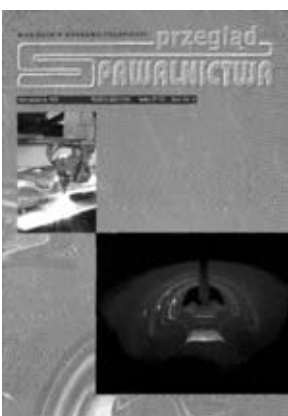
Takahashi K. et al. Прочность соединения наплавленных валков на тонких алюминиевых листах с использованием высокоскоростной сварки CO₂-лазером, с. 934–938.

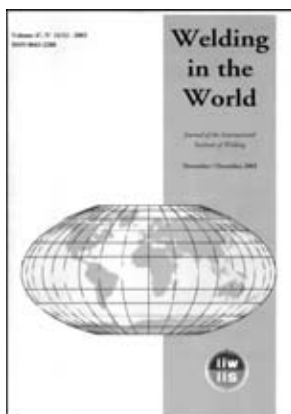
Shibata K. et al. Сварка деталей алюминиевых кузовов автомобилей с помощью высокоомощного Nd-ИАГ лазера с параллельными пучками, с. 939–946.

Penasa M., Rivela C. Применение процесса лазерной сварки для нержавеющей сталей небольшой толщины, с. 947–957.

Quintana R. et al. Исследование эффективности переноса легирующих элементов флюсов в процессе дуговой сварки под флюсом, с. 958–965.

Lasarson E. V. Методы искусственного интеллекта при сварке. Ч. 2. Сбор и формализация знаний, с. 966–970.





Karkin V. A. Решение обратной задачи теплопроводности с учетом теплоты плавления и затвердевания, с. 971–974.

Makarenko V. D. Влияние оксида углерода на перенос металла при сварке покрытыми электродами, с. 975–978.

Sorokin L. I. Оценка стойкости к образованию трещин при сварке и термообработке никелевых сплавов стойких к ползучести (Обзор), с. 979–986.

Erofeev V. A. Решение задач оптимизации технологии с помощью компьютерного моделирования процесса сварки, с. 987–994.

Lebedev V. A. et al. Оптимизация проектирования подающих роликов в оборудовании для автоматической и механизированной дуговой сварки, с. 995–998.

Volkov S. S. Ультразвуковая сварка компонентов из искусственной кожи, с. 999–1002.

WELDING JOURNAL (США), 2004. — Vol. 83, № 3 (англ. яз.)

Messier R. W. Будущие области применения гибридной сварки, с. 30–34.

Ochi H. et al. Сварка трением с использованием металлической вставки, с. 36–40.

Salzer T. E. Оптимизация рельефной сварки применительно к герметичным уплотнениям, с. 42–46.

Welding Research Supplement

Huang X., Richards N.-L. Технология диффузионной высокотемпературной пайки для изготовления титановых сотовых структур — статистическое исследование, с. 73–81.

Nguyen N. T. et al. Аналитическое приближенное решение для двойного эллипсоидного источника тепла в конечном толстолистовом материале, с. 82–93.

Gruszczak A. Кинетика поглощения азота в сварочной ванне при разных режимах плавления присадочных металлов типа Fe–C–Mn, с. 94–101.

Sekulic D. P. et al. Прогнозирование веса галтели и топологии алюминиевых паяных соединений, с. 102–110.

WELDING JOURNAL (США), 2004. — Vol. 83, № 4 (англ. яз.)

Hancock R. Новая защитная одежда для сварщиков, с. 29–32.

Stewart C. Технология использования вертикальных плит для изготовления коксовых барабанов позволяет продлить их срок эксплуатации, с. 34–36.

Hancock R. Новинки производства в США — корпуса для нефте- и газопромисловых платформ, с. 38–39.

Hancock R. Сварщики-добровольцы приваривают броневые листы в грузовиках, поставляемых для войск в Ираке, с. 83–84.

Johnsen M. R. Рабочая практика студентов Милфордского колледжа, с. 87–89.

Hancock R. Обновление учебных программ по сварке, в которых могут принимать участие разные поколения, с. 91.

Huang C., Kou S. Ликвационные трещины при полном проплавлении сварных швов из сплава Al–Mg–Si, с. 111–233.

Senkara J. et al. Прогнозирование выплеска при контактной точечной сварке, с. 123–132.

Cavalli N. et al. Моделирование зоны сцепления с точки зрения деформации и разрушения сварных соединений, сочетающих клеевую технологию с точечной сваркой, с. 133–139.

Doumanidis C., Gao Y. Аналитическое и численное моделирование точечной ультразвуковой сварки тонкой алюминиевой фольги, с. 140–146.

WELDING JOURNAL (США), 2004. — Vol. 83, № 5 (англ. яз.)

Hancock R., Johnsen M. R. Разработка в области сварочных пистолетов и горелок, с. 29–32.

Cullison A. et al. Что находится в инструментальном ящике сварщика?, с. 34–36.

Karpac C. et al. Экономия времени и денег благодаря использованию прямых шлифовальных кругов, с. 38–41.

McMaster J. A., Sutherlin R. C. Обновление — пересмотр спецификации по титану, с. 43–47. Welding Research Supplement

Rayes M. El. et al. Влияние разных параметров гибридной сварки на геометрию наплавленного валика, с. 147–153.

Fuerschbach P. W. et al. Разработка и оценка местного измерения пучка при лазерной точечной сварке, с. 154–159.

Akselsen O. M. et al. Зависимости между микроструктурой и свойствами в ЗТВ новых мартенситных нержавеющей сталей с 13% Cr, с. 160–167.

WELDING TECHNOLOGY (Япония). Journal of the Japan Welding Engineering Society, 2003. — Vol. 51, № 3 (яп. яз.)

Murakawa E. Технологическая реализация концепции использования навыков и мастерства человека, с. 53–57.

Okumoto Y. Моделирование человеческих навыков выполнения сварочных операций, с. 60–64.

Nakatani M. Повышение точности изготовления судовых конструкций при использовании моделей сварочных деформаций, с. 65–69.

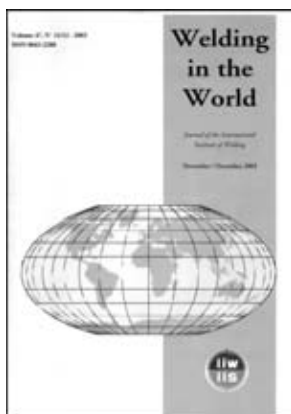


Специальный выпуск. Современное состояние применения контактной сварки
Okada S. Новейшие технологии контактной сварки в автомобилестроении, с. 72–76.
Ono M. Свариваемость высокопрочной тонколистовой стали при точечной сварке автомобильных конструкций, с. 77–82.
Furukawa K. Современный уровень применения прямошовной контактной сварки, с. 83–86.
Технические пояснения
Yasuda O. et al. Разработка способа выполнения угловых горизонтальных швов с длинным катетом с помощью дуговой сварки под флюсом в тандем, с. 87–91.
Yamamoto S. Сварка в мире. Экономичный и эффективный способ наплавки сваркой МАГ/МИГ в тандем, с. 92.
Вопросы и ответы. — Оборудование для дуговой сварки. Ч. 3. Эффективность применения оборудования для дуговой сварки, с. 93–101.
Производственные визиты. Снижение производственных затрат за счет решения экологических проблем и внедрения информационных технологий, с. 102–106.
Suzuki M., Yokota H. Патентные органы для сварочной промышленности, с. 107–112.
Nomura H., Miyata R. Принятие в члены МИС по контролю качества, с. 113–115.
Ogasawara H. Экологические проблемы сварочных заводов. Ч. 3. Охрана труда и меры безопасности, с. 116–122.
Eiichi Kouno E. Серия лекций. Способы сварки и соединения в электронной промышленности. Часть 3. Пайка бессвинцовыми припоями, с. 123–126.



WELDING TECHNOLOGY (Япония). Journal of the Japan Welding Engineering Society, 2003. — Vol. 51, № 4 (яп. яз.)

Fukaya Y. et al. Разработка топливных баков и технологии их соединения и обработки, с. 53–59.
Решение проблемы. Сварка и соединение в микроэлектронике
Shouji I. Технологии микросоединения в электронной промышленности, с. 62–66.
Nakayama S. Лазерное оборудование для микросварки в микроэлектронике, с. 67–70.
Kouyama K. Технологии мини- и микросварки в электронной промышленности, с. 71–76.
Urushizaki M. et al. Современное состояние применения высокоточных технологий микросоединения для сварки электрических узлов машин, с. 77–83.
Специальный выпуск. Обучение сварочного персонала
Yamamoto H. Обучение персонала на автомобильных заводах, с. 86–90.
Takanashi. Обучение сварочного персонала на фирме «Санкю», с. 91–96.
Matsui M. et al. Эффективность использования персональных компьютеров для обучения сварочного персонала, с. 97–102.
Производственные визиты. Обучение сварочного персонала, с. 103–106.
Использование баз данных для обучения сварочному мастерству, с. 107–110.
Yamamoto S. Сварка в мире. Система для объемных измерений деформации, с. 111.
Okazaki I. Вопросы и ответы. Оборудование для дуговой сварки. Ч. 4. Качество и техническое обслуживание оборудования для дуговой сварки, с. 112–117.
Ogasawara H. Экологические проблемы сварочных заводов. Ч. 4. Охрана труда и меры безопасности (продолжение), с. 118–120.
Серия лекций. Способы сварки и соединения в электронной промышленности. Ч. 4. Технологии микросварки и твердофазного соединения, с. 121–124.
Аттестационные тесты.
Соответствие сертификационных систем Китая и японских компаний, с. 125–148.



ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия), 2004. — Roc. 53, № 3 (слов. яз.)

Sejc P. Оптимизация выбранных параметров высокотемпературной пайки МИГ/МАГ оцинкованных плит, с. 57–63.
Orzaghova J. et al. Испытание коррозионного разрушения труб, перекачивающих газопроводов, с. 63–67.



ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия), 2004. — Roc. 53, № 4 (слов. яз.)

Применение сварки в энергетике, с. 81–85.
Pecha J. et al. Сварка стойкой к ползучести модифицированной вольфрамом стали с 9% Cr, с. 86–92.
Bernasovsky P. Примеры анализа разрушений трубопроводов высокого давления, с. 92–94.
Tranczos P., Holesa M. Применение современных источников плазменно-дуговой резки на оборудовании PLASMACUTTER VUZ — PI SR, с. 95–98.

ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия), 2004. — Roc. 53, № 5 (слов. яз.)

Kalna K. Определеие требуемых свойств сталей и сварных соединений моста «Koscka» в Братиславе, с. 111–116.



- Kalna K., Vitasek M.** Спецификация метода сварки и испытаний свойств сварных соединений моста «Koscka», с. 111–116.
Schanz K.-P. Роботизированная сварка под маркой «ABICOR BINZEL», с. 122–124.

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО (Россия), 2004. — № 7 (836) (рус. яз.)



- Дедюх Р. И., Кисилев А. С.** Повышение стабильности параметров процесса дуговой сварки покрытыми электродами на малых токах, с. 3–6.
Бушма В. О., Калашников Д. В. Магнитное поле дугового столба при дуговой сварке неподвижным плавящимся электродом (ДС НПЭ), с. 6–16.
Сидякин В. А., Печенкин Д. К., Арбузов В. М., Хаустов В. С. Стыковая сварка трубных переходников сталь–титан, с. 17–21.
Ерофеев В. А. Расчет допусков на ширину сборочных зазоров, ориентация стыка при лучевых способах сварки, с. 22–27.
Трыков Ю. П., Шморгун В. Г., Слаутин О. В. Влияние холодной прокатки на диффузионные процессы на границе слоев биметалла медь–алюминий, полученного сваркой взрывом, с. 27–29.
Матвеев Н. В. Получение в вакууме конденсационно-диффузионных сплошных и несплошных нитридитановых покрытий, с. 30–35.
Сорокин Л. И. Аргодуговая наплавка бандажных полок рабочих лопаток и высокожаропрочных никелевых сплавов, с. 36–39.
Еремин Е. Н. Электрошлаковая сварка комбинированным электродом соединений малых толщин, с. 39–41.
Трух С. Ф., Юшин Д. А., Долиненко А. В. и др. Сравнительные характеристики ряда полуавтоматов для сварки в защитных газах, с. 41–45.
Власов С. Н., Лапин И. Е., Савинов А. В., Лысак В. И. Стойкость неплавящихся электродов различных конструкций при сварке малоамперной дугой в гелии, с. 46–49.
3-я Международная специализированная выставка «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности — 2004», с. 58–60.

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

Редакция журнала намерена периодически размещать в рубрике «По зарубежным журналам» информацию об имеющихся в ИЭС им. Е. О. Патона переводах научных статей из ведущих профильных зарубежных журналов. По всем вопросам заказа переводов следует обращаться в редакцию.

- Новое в сварочной технике, 1998 г. // *Neues in der Schweisstechnik*. — 1999. — № 5. — S. 266–289. /1757 П/
 Разработка способов прогнозирования механических свойств металла шва / Ю. Сэки и др. // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — 72, № 6. — P. 18–21. /1760 П/
 Источники питания и оборудование для повышения производительности сварочных технологий / Ц. Мита // *Ibid.* — 2003. — 72, № 2. — P. 20–25. /1761 П/
 Влияние добавки скандия и циркония на механические свойства и структуру сплава на основе алюминия с переходными металлами при использовании быстрого затвердевания / Х. Фудзэки и др. // *J. of Japan Institute of Light Metals*. — 2002. — 52, № 12. — P. 598–604. /1762 П/
 Сварка в космосе / Х. Нисикава и др. // *Welding Technique*. — 2001. — № 1. — P. 69–75. /1763 П/
 Обеспечение качества сварочных работ. Сварные соединения шпилек со строительной сталью. Приварка шпилек растягиваемой дугой и с наложением керамического кольца: Стандарт DVS // DVS DIN 8563. /1764 П/
 SEM-исследование in situ влияния включений на механизм разрушения сплавов на Al–Li основе / А. Такахаси и др. // *J. Jap. Institute of Light Metals*. — 1999. — 49, № 4. — P. 166–171. /1765 П/
 Принцип перемещения горелки по высоте при сварке алюминия / Г. Вилмс // *ISFDirekt*. — 2003. — № 27. — P. 1–4. /1766 П/
 Основной принцип приварки шпилек и области ее применения / В. Нисикава // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2002. — 71, № 8. — P. 27–32. /1767 П/
 Эксперименты по дуговой сварке полым вольфрамовым электродом в защитном газе в условиях низкого давления орбитальной космической станции / Е. Суита и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — 24, № 1. — P. 33–38. /1768 П/
 Износостойкие титановые сплавы / В. Такахаси и др. // *Netsushori*. — 1993. — 33, № 10. — P. 283–288. /1769 П/
 Применение микросварки трением с перемешиванием / К. Аота // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — 72, № 3. — P. 25–29. /1770 П/
 Развитие коррозионных трещин под напряжением в алюминиевых сплавах системы 7075 под смешанной нагрузкой I–II вида / С. Осаки и др. // *J. Jap. Institute of Light Metals*. — 1997. — 47, № 7. — P. 370–377. /1771 П/
 Изучение производства вакуумных сосудов из нержавеющей стали 304 с использованием лазерной сварки / А. Китагава и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2002. — 20, № 2. — P. 301–308. /1772 П/
 Изучение деформации при лазерной сварке нержавеющей стали 304 / А. Китагава и др. // *Ibid.* — 2002. — 20, № 2. — P. 295–300. /1773 П/
 Система для соединения самопробивающимися заклепками / И. Эндо // *J. Light Metal Weld. & Construction*. — 2001. — 39, № 10. — P. 16–23. /1774 П/



- Изучение поведения и температуры брызг, образующихся при дуговой сварке в CO_2 / К. Танака и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2002. — **20**, № 3. — P. 363–388. /1775 П/
- Приварка шпилек / М. Грайтманн // *Praktiker.* — 2002. — № 12. — S. 450–453. /1776 П/
- Неразрушающий контроль и ремонтная сварка / М. Юки и др. // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2001. — **70**, № 8. — P. 4–7. /1777 П/
- Экспертная система WELDSIM для компьютерной сварки различных типов соединений / Т. Окамото // *Quarterly J. of J. Weld. Soc.* — 2002. — **20**, № 1. — P. 179–184. /1778 П/
- Механизм подавления порообразования при сварке двумя лазерными пучками в танде нержавеющей стали / Т. Хаяси // *Ibid.* — 2002. — **20**, № 2. — P. 228–236. /1779 П/
- Разработка вспомогательной системы моделирования дуговой сварки (Модель сварки МАГ) / Т. Ямамото // *Ibid.* — 2002. — **20**, № 1. — P. 191–196. /1780 П/
- Современное состояние и перспективы исследований и разработок способов соединения по поверхности раздела / К. Сайда и др. // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — **72**, № 1. — P. 31–32. /1781 П/
- Сварка и газотермическое напыление: Перечень стандартов // *DIN/CEN.* — 2002. — 40 p. /1782 П/
- Сварка и окружающая среда / К. Хосои // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2002. — **71**, № 2. — P. 74–78. /1783 П/
- Применение сварки ТИГ с активаторами / Т. Окадзаки и др. // *Ibid.* — 2002. — **71**, № 2. — P. 30–33. /1784 П/
- Влияние активаторов на проплавление при сварке ТИГ / М. Танака // *Ibid.* — 2002. — **71**, № 2. — P. 25–33. /1785 П/
- Механические свойства и микроструктура зоны шва, полученной сваркой трением с перемешиванием алюминиевых сплавов / Ю. Сато // *Ibid.* — 2002. — **71**, № 8. — P. 33–35. /1786 П/
- Теория и практика термитной сварки рельсов / Я. Фукада // *Welding Technique.* — 2001. — № 11. — P. 93–98. /1787 П/
- Применение компьютерных сетей для сварочных систем с информационным обеспечением / С. Яманэ // *Ibid.* — 2001. — № 6. — P. 63–67. /1788 П/
- Повышение стабильности и качества импульсной сварки МАГ при применении источников питания с цифровым управлением / Т. Накамата и др. // *Ibid.* — 1996. — № 10. — P. 112–118. /1789 П/
- Алюминиевый строительный материал SHANEJI с теплоизоляционными свойствами / С. Охаси // *J. Jap. Institute of Light Metals.* — 2002. — **52**, № 3. — P. 151–152. /1790 П/
- Экспериментальная оценка влияния разрушения грубых частиц вторичных фаз на механические свойства алюминиевых сплавов / Х. Тода и др. // *Ibid.* — 2002. — **51**, № 7. — P. 361–367. /1791 П/
- Износостойкость сплава плазменного науглероживания / Д. Окамото и др. // *Netsushori.* — 2000. — **40**, № 4. — P. 174–179. /1792 П/
- Численный анализ нестационарной теплопроводности в зоне вылета проволоки при сварке МИГ/МАГ: Ч. 2. Разработка процесса сварки МИГ/МАГ в узкий зазор / Т. Накамура и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2002. — **20**, № 1. — P. 53–62. /1793 П/
- Влияние изменения количества твердого раствора магния на ударную вязкость алюминиевого сплава A5083 при сварке с высокой плотностью энергии / Т. Ямагути и др. // *Ibid.* — 2001. — **19**, № 4. — P. 656–663. /1794 П/
- Синергетическая настройка установок для сварки вольфрамовым электродом в инертном газе (сварка ВИГ) / Г. Лоренц и др. // *Praktiker.* — 2003. — № 7. — S. 25–27. /1795 П/
- Исследования контактной точечной сварки новых тонких листов из высокопрочных сталей и сталей повышенной прочности / Ф. Веслинг и др. // *Schweissen und Schneiden.* — 2004. — № 1. — S. 23–28. /1796 П/
- Приварка шпилек трением — аппарат для новых областей применения / В. Вельц // *Praktiker.* — 1989. — № 8. — S. 413–417. /1797 П/
- Высокотемпературная пайка сплава с памятью формы на Ni-Ti основе / Т. Ватанабэ и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 1992. — **10**, № 10. — P. 95–101. /1798 П/
- Влияние геометрии детали и элементов легирования на свариваемость сталей лазерным лучом / Х. Киамер и др. // *Schweissen und Schneiden.* — 2003. — № 6. — S. 1–7. /1799 П/
- Следующее издание EN 287-1 не станет стандартом EN-ISO // *Praktiker.* — 2003. — № 9. — S. 274. /1800 П/
- В центре внимания ручная дуговая сварка: РОФИН — разработка и техническое применение / П. Лимлей и др. // *Laser.* — 2003. — № 1. — P. 34–37. /1801 П/
- Новое в сварочной технике в 2002 г. // *Schweissen und Schneiden.* — 2003. — № 5. — S. 235–254. /1802 П/
- Данное краткое руководство должно послужить введением в промышленную лазерную обработку // *Пер. материалов фирмы Rofin-Sinar.* — 2003. — 34 p. /1803 П/
- О пайке титана / Г. Вендель // *Schweisstechnik.* — 1980. — № 5. — S. 200–201. /1804 П/
- Использование источника питания постоянного напряжения для импульсной сварки МИГ алюминия / Ц. Мита // *J. Light Metal Weld. & Construction.* — 2001. — **39**, № 8. — P. 1–11. /1805 П/
- Лазер на выставке ЕВРОЛИСТ // *Laser.* — 2002. — № 6. — P. 1–3. /1806 П/
- Источники питания на искусственном интеллекте для импульсной сварки МАГ «New Shot Pulse» / Ц. Мита и др. // *Welding Technique.* — 1996. — № 10. — P. 101–106. /1807 П/
- Изучение сварки трением с контролируемым позиционированием деталей из углеродистой стали / Х. Такэгама и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — **21**, № 1. — P. 126–132. /1808 П/
- О причине разрыва капель при сварке нелегированных и низколегированных сталей плавящимся электродом в активных газах / Р. Киллинг // *Schweissen und Schneiden.* — 2000. — № 8. — S. 445–447. /1809 П/
- Нейросетевая модель жидкой ванны при сварке МИГ / А. Хирани и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — **21**, № 2. — P. 227–233. /1810 П/
- Твердотельные лазеры с диодной накачкой и их применение / Т. Кадоя // *J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — **72**, № 8. — P. 10–12. /1811 П/
- Изучение деформации и прочностных характеристик сварных соединений мелкозернистой стали. Ч. 3. Изучение деформации и зарождения вязких трещин в сварных соединениях с разупрочненной ЗТВ / Т. Синтоми и др. // *Quarterly J. Jap. Weld. Soc.* — 2003. — **21**, № 3. — P. 411–418. /1812 П/
- Изучение деформации и прочностных характеристик сварных соединений мелкозернистой стали. Ч. 2. Прогнозирование статической прочности сварных соединений мелкозернистой стали с разупрочненной ЗТВ / Т. Синтоми и др. // *Ibid.* — 2003. — **21**, № 3. — P. 404–410. /1813 П/
- Изучение деформации и прочностных характеристик сварных соединений мелкозернистой стали. Ч. 1. Изучение влияния разупрочнения ЗТВ на прочность сварного соединения / Т. Синтоми и др. // *Ibid.* — 2003. — **21**, № 3. — P. 397–403. /1814 П/
- Расширение применения сварки трением с перемешиванием / А. Окамура и др. // *Welding Technology.* — 2003. — № 5. — P. 60–69. /1815 П/
- Система контроля и регулирования на базе нейрофаззи-архитектуры для наблюдения за процессами сварки в защитных газах в масштабе реального времени / У. Дилтай // *Schweissen und Schneiden.* — 2003. — № 7. /1816 П/
- Меры по преодолению долговечности газовых турбин / У. Вреде, Г. Боренкэмпер // *Allianz Report.* — 1999. — № 2. — S. 97–103. /1834 П/

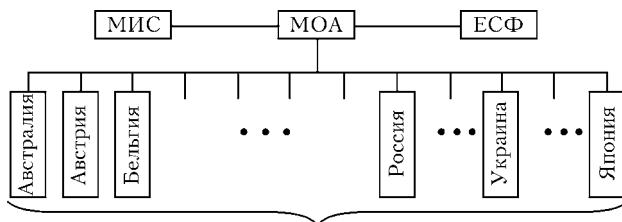


В МЕЖДУНАРОДНОМ ИНСТИТУТЕ СВАРКИ

С 17 по 18 января 2005 г. в штаб-квартире Международного института сварки (МИС), которая находится в Институте сварки Франции под Парижем в г. Виллепент, состоялось рабочее заседание Международного органа по аккредитации (МОА) подразделения МИС, созданного в 1998 г. Основной задачей МОА является обеспечение внедрения в странах-членах МИС гармонизированной системы подготовки и аттестации специалистов сварочного производства. МОА разрабатывает руководящие документы для учебных программ и экзаменов, а также внедряет систему обеспечения качества, которая контролирует эту систему.

Следует напомнить, что в основу системы МИС по гармонизированной подготовке специалистов сварочного производства положена разработанная в 1991 г. система Европейской сварочной федерации (ЕСФ). В 1998 г. ЕСФ и МИС подписали соглашение, согласно которому МИС получил право, после необходимой переработки руководящих документов и правил внедрения системы, использовать ее применительно ко всем странам-членам МИС.

В каждой стране за внедрение и контроль функционирования этой системы отвечает Уполномоченный национальный орган (УНО).



В настоящее время в систему входит 30 стран: Австралия, Австрия, Англия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Дания, Германия, Голландия, Иран, Испания, Италия, Канада, Китай, Норвегия, Польша, Португалия, Россия, Румыния, Словакия, Словения, Украина, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция, Южная Африка и Япония. Еще несколько стран получили предварительную аккредитацию или подали заявку на присоединение к данной международной системе обучения персонала сварочного производства.

Украина представлена Институтом электросварки им. Е.О. Патона, а функции УНО поручено исполнять Межотраслевому учебно-аттестационному центру ИЭС им. Е. О. Патона (МУАЦ).

К настоящему времени МОА разработал шесть руководящих документов по обучению и аттестации: международного инженера (IWE), технолога (IWT), специалиста (IWS), практика (IWP) и инспектора по сварке (IWP), а также международного сварщика (IW). В разработке находятся руководящие документы по международному инструктору по сварке, международному конструктору сварных конструкций и международному сварщику пластмасс.



В состав МОА входят две группы: группа А — «Обучение, подготовка и аттестация» и группа В — «Внедрение и аккредитация».

Работой группы А руководит Х. Аренс (Christian Ahrens), один из руководителей SLV, Дуйсбург, Германия.

Работой группы В руководит Дж. Гилд (Jim Guild), исполнительный директор УНО Южной Африки.

В работе январского заседания МОА приняло участие более 45 делегатов, представляющих страны-члены МИС, присоединившиеся к данной международной гармонизированной системе обучения персонала сварочного производства.

Разработка руководящих документов для новых категорий персонала сварочного производства, а также об-





новление существующих руководящих документов и правил внедрения системы осуществляется рабочими группами, которые создаются из делегатов МОА, на добровольной основе (в количестве 6...10 чел.). Общение членов таких групп между собой обычно осуществляется через Интернет. Однако во время заседаний МОА имеется возможность проведения рабочих встреч членов групп.

Основными вопросами повестки дня заседаний групп А и В были:

- предложения по внесению изменений в существующие руководящие документы для международного инженера, технолога, специалиста и практика по сварке, а также международного сварщика;
- проекты руководящих документов по дистанционному обучению для первых четырех категорий специалистов сварочного производства, а также проект руководящего документа по международному конструктору сварных конструкций;
- рассмотрение предложений по внесению изменений в правила приема слушателей по некоторым УНО, включая УНО Украины;
- отчеты ведущих аудиторов МОА о проведенных в 2004 г. аудитах УНО, включая УНО Украины.

УДК 621.791.061.2/4

Результаты обсуждения предложений по внесению изменений в правила приема слушателей были благоприятными для УНО Украины. Предложения были приняты и теперь для того, чтобы быть допущенным до прохождения полного курса МИС по международному инженеру по сварке достаточно иметь квалификацию бакалавра по одной из технических дисциплин. В то же время для бакалавра по сварке предлагается сокращенная программа. Ранее до прохождения этих двух программ допускались только соответственно инженеры технического профиля и инженеры по сварке.

На заседании было сделано напоминание о том, что 21 января 2006 г. для УНО Украины заканчивается трехлетний «переходный период», в течение которого, в соответствии с правилами МОА предусматривается упрощенная процедура получения международных квалификаций. Так, инженеры по сварке, имеющие национальные дипломы и проработавшие в сварочном производстве не менее трех лет, имеют право на получение диплома международного инженера по сварке после прохождения коротких 72-часовых курсов.

Национальный комитет по сварке Украины

МГУ им. М. В. ЛОМОНОСОВА — 250 лет

25 января 2005 г. исполнилось 250 лет Московскому государственному университету им. М. В. Ломоносова. Московский университет, основанный указом императрицы Елизаветы Петровны от 12 января 1755 г. (25 января

по новому стилю), по праву считается старейшим российским университетом.

МГУ является крупнейшим классическим университетом Российской Федерации, особо ценным объектом культурного наследия народов России. Он осуществляет подготовку студентов по 27 направлениям и 57 специальностям, аспирантов и докторантов по 168 научным специальностям, которые охватывают практически весь спектр современного университетского образования. В настоящее время в МГУ обучается более 40 тысяч студентов, аспирантов, докторантов, а также специалистов в системе повышения квалификации. Кроме того, около 10 тыс. школьников занимаются при МГУ.

МГУ — ведущий научный центр России, в составе которого сформировались крупные научные школы, работали и работают Нобелевские лауреаты, лауреаты Ленинской премии, государственных премий СССР и России. 12% всех открытых, зарегистрированных в СССР, принадлежат ученым МГУ. Их труд отмечен 60 ленинскими премиями, 120 государственными премиями СССР. За последние десять лет более 40 ра-



бот ученых МГУ удостоены государственных премий Российской Федерации. Только в подписанном недавно Президентом РФ указе из 29 работ, отмеченных Государственной премией за последний год, 6 работ выполнены учеными Московского университета.

В структуре МГУ 29 факультетов, 15 научно-исследовательских институтов, 4 музея, более 350 кафедр, Научный парк, Ботанический сад, научная библиотека, имеющая фонд в 9 млн томов, издательство, типография, культурный центр, школа-интернат, в которой обучается около 300 талантливых ребят со всей России.

В последние годы университет осуществил целый ряд новых программ. Открыто 9 новых факультетов; за последние пять лет создано 47 кафедр и 22 научные лаборатории; введено более 200 новых учебных планов и учебных программ, начаты научные исследования по новым 30 междисциплинарным программам. В числе новых факультетов — факультет наук о материалах (ФНМ), созданный в 1991 г. согласно совместному постановлению Государственного комитета СССР по народному образованию и Президиума АН СССР в качестве самостоятельного подразделения МГУ.

Необходимость создания специального материаловедческого факультета в классическом университете была продиктована насущными потребностями быстро развивающейся науки и техники на рубеже XXI в., особенно в областях, находящихся «на стыке» различных наук. ФНМ является междисциплинарным факультетом, предназначенным для формирования специалистов, подготовленных для проведения исследований в смежных областях химии, физики и механики материалов, для воспитания элитарных материаловедов-исследователей, приобретших за годы обучения как хорошие навыки экспери-

ментальной работы, так и усиленную общенаучную подготовку. Бессменным деканом ФНМ является академик РАН Ю. Д. Третьяков.

Юбилей МГУ был отмечен с большим размахом. Поздравить университет приехало много гостей: более 100 делегаций из разных университетов мира, свыше 300 зарубежных участников конференции, почти 400 ректоров университетов России. Юбилейные мероприятия включали расширенное заседание ученого совета МГУ 20 декабря 2004 г., запуск спутника «Татьяна» 20 января 2005 г., юбилейные торжества в Государственном Кремлевском дворце 25 января и многое другое. 24 января в МГУ прошла международная конференция «250 лет Московскому государственному университету им. М. В. Ломоносова», на которую прибыли ректоры из зарубежных стран, нобелевские лауреаты, ректоры российских вузов и президент Республики Киргизии А. А. Акаев. 25 января, в Татьянин день, состоялось вручение главного подарка университету на юбилей — открытие Фундаментальной библиотеки Московского государственного университета. На открытие библиотеки, которую ректор МГУ В. А. Садовничий называет интеллектуальным центром, приезжал президент РФ В. Путин.

На торжества Московского университета прибыл президент Национальной академии наук Украины и президент Международной ассоциации академий наук — Б. Е. Патон. Он пожелал МГУ дальнейшего процветания и вручил В. А. Садовничему медаль от Международной ассоциации академий наук. В свою очередь В. А. Садовничий объявил о том, что по решению ученого совета университета Б. Е. Патон награждается званием Почетного доктора МГУ им. М. В. Ломоносова.

Так держать!

УДК 621.791.061.2/4

ПРИЗЕРЫ КОНКУРСА «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ — ГОРОДУ КИЕВУ»

IV конкурс научно-технических проектов молодых ученых под девизом «Интеллектуальный потенциал молодых ученых — городу Киеву» проводился Национальной академией наук Украины и Киевской городской государственной администрацией.

Молодые ученые, которые занимаются научно-технической деятельностью в Киеве, представили множество интересных и перспективных работ.

Торжественная церемония награждения победителей состоялась 14 декабря 2004 г. в зале Киевской городской государственной администрации (ул. Крещатик, 36). Значимость исследований, которые проводят молодые ученые, была отмечена представителями НАН Украины, городской и районных государственных администраций. Среди награжденных мэром Киева А. А. Омельченко были и предста-





вители Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, чьи работы получили высокую оценку:

Гнздыло Александр Николаевич и Якуша Владимир Викторович за проект «Экономная технология получения монокристаллов тугоплавких металлов (вольфрама и молибдена) в виде крупногабаритных пластин под прокат». Научный руководитель — заведующий отделом № 20, д-р техн. наук В. А. Шаповалов;

Ярцев Андрей Викторович за проект «Экспертно-аналитическая система для построения, мониторинга и оценки элементов систем управления качеством и систем экологического менеджмента в производстве сварных конструкций». Научный руководитель — заместитель директора ИЭС им. Е. О. Патона, академик НАН Украины Л. М. Лобанов.

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ



В феврале исполнилось 70 лет Алим Абдулу-Амидовичу Эннану — известному ученому, директору Физико-химического института защиты окружающей среды и человека Министерства образования и науки Украины и Национальной академии наук Украины (ФХИЗОС и Ч), доктору химических наук, кандидату технических наук, заслуженному деятелю науки и техники Украины.

Алим Абдул-Амидович родился в Одессе. В 1958 г. после окончания с отличием Одесского политехнического института работал лекционным ассистентом кафедры технологии и автоматизации химических производств, где выполнил и защитил (1964) кандидатскую диссертацию, посвященную исследованию акустической коагуляции тумана кремнефтористоводородной кислоты. В 1961–1962 гг. работал мастером цеха контрольно-измерительных приборов, начальником смены цехов гранулированного суперфосфата и медного купороса Одесского суперфосфатного завода.

Последующие 39 лет деятельности А. А.-А. Эннана связаны с Одесским государственным университетом им. И. И. Мечникова (1962–2001). Здесь он начал работать старшим преподавателем, сформулировал концептуальные принципы априорного выбора органических сорбентов газообразных фторидов (1972) и защитил докторскую диссертацию (1975). В 1973 г. по инициативе А. А.-А. Эннана впервые в СССР была открыта кафедра химических методов защиты окружающей среды, которую он возглавлял до 1986 г. С 1986 по 1993 г. руководил объединенной кафедрой неорганической химии и химической экологии.

В 1985 г. А. А.-А. Эннан был назначен директором Межведомственного центра «Защита окружающей среды в сварочном производстве» Академии наук УССР и Министерства высшего образования УССР, в 1988 г. — директором Инженерного центра «Экология в сварочном производстве» Министерства высшего образования УССР. Оба названных центра координировали выполняемые в СССР научно-исследовательские и опытно-конструкторские разра-

ботки в области экологии, гигиены труда и техники безопасности в сварочном производстве. С 1992 г. А. А.-А. Эннан — директор-организатор ФХИЗОС и Ч.

Широко известны труды А. А.-А. Эннана в области химии неорганических соединений, разработки теоретических основ и аппаратурного оформления процессов улавливания и нейтрализации токсичных газов с целью комплексной утилизации содержащихся в них ценных компонентов, защиты окружающей среды и человека.

Наиболее полно качества А. А.-А. Эннана как прагматически мыслящего ученого проявились при выполнении заданий, связанных с разработкой эффективных методов и средств защиты окружающей среды и производственного персонала от воздействия сварочных аэрозолей.

Научную деятельность А. А.-А. Эннан совмещает с активной общественной работой: в 1985–1991 гг. — член секции «Средства индивидуальной защиты» ГКНТ СССР и ВЦСПС; 1987–1991 гг. — председатель секции «Техника безопасности и гигиена сварочного производства» Координационного совета по сварке ГКНТ СССР, с 1994 г. по настоящее время — председатель секции «Техника безопасности и гигиена труда в сварочном производстве» Межгосударственного научно-технического совета по сварке и родственным технологиям стран СНГ; с 2000 г. по настоящее время — заместитель председателя секции «Охрана окружающей среды» Экспертного совета по энергосбережению и природным ресурсам при Министерстве образования и науки Украины.

Результаты исследований А. А.-А. Эннана отражены в трех монографиях и более чем 400 статьях, оригинальность идей защищена 106 авторскими свидетельствами СССР, 33 патентами Украины и 8 патентами других стран. Под его руководством подготовлены и защищены 3 докторские и 19 кандидатских диссертаций.

Научно-педагогическая, организаторская и общественная деятельность А. А.-А. Эннана отмечена медалью «За доблестный труд (1979), присвоением звания «Заслуженный деятель науки и техники УССР» (1990), нагрудным знаком «За научные достижения» (2005), орденом князя Ярослава Мудрого V степени (2005).

Свое 70-летие Алим Амидович Эннан встречает полный жизненных сил, энергии и творческих планов.



Известному ученому в области автоматизации процессов сварки и спецэлектротехнологии, заведующему отделом, доктору технических наук Юрию Николаевичу Ланкину исполнилось 70 лет. Уже первые публикации Ю. Н. Ланкина были посвящены исследованиям в области автоматического регулирования процессов точечной и шовной сварки, выполнен-

ным под руководством академика Б. Е. Патона. Они были обобщены Ю. Н. Ланкиным в кандидатской диссертации (1963).

С 1964 г. он возглавил электротехнический отдел работ и исследований процессов сварки в условиях космического пространства. В эти годы было создано оборудование для исследования различных процессов сварки при воздействии вакуума и невесомости. Как инженер-исследователь Ю. Н. Ланкин принимал участие в полетах на борту летающей лаборатории и одновременно проходил отбор на роль космонавта-исследователя. Результаты этих работ были использованы при создании аппарата «Вулкан», испытанного в октябре 1969 г. на космическом корабле «Союз-6».

Этапной работой Ю. Н. Ланкина были исследования процесса электронно-лучевой сварки как объекта автоматического управления и регулирования. Им были полу-

чены результаты при экспериментальном исследовании эмиссии заряженных частиц из сварочной ванны как косвенных параметров качества электронно-лучевой сварки, при разработке трехмерной модели квазистационарной полости проплавления и выявления закономерностей массо- и теплопереноса, рассеяния электронов на парах, при получении основных зависимостей, связывающих входные и выходные переменные электронно-лучевых установок. С использованием ЭВМ им разработана модель сварного соединения и синтезирована система автоматического регулирования электронно-лучевой сваркой и родственных технологических процессов. Выполненные исследования и разработки легли в основу докторской диссертации (1983).

В настоящее время отдел Ю. Н. Ланкина работает над созданием систем синергетического управления для различных видов сварки и процессов спецэлектротехнологии. Успешно внедряет электрошлаковую сварку в возрождающуюся промышленность Украины, а также возглавляет исследования управления переноса расплавленной капли в процесс сварки в среде углекислого газа.

Результаты работы Ю. Н. Ланкина изложены более чем в 160 публикациях, в учебниках и пособиях для вузов, написанных при его участии. Талантливый изобретатель Ю. Н. Ланкин имеет около 50 авторских свидетельств и патентов, большинство из которых внедрено в отечественной и зарубежной промышленности.



В феврале исполнилось 70 лет Валентину Александровичу Богдановскому — известному специалисту в области дуговой сварки, директору Научно-инженерного центра сварки и контроля в атомной энергетике.

Трудовой творческий путь В. А. Богдановского связан с Институтом электросварки им. Е. О. Патона, где он на протяжении более 45 лет плодотворно занимался разработкой принципиально новых технологий дуговой сварки плавлением, созданием новой сварочной аппаратуры и оборудования для автоматизации сварочных процессов во многих отраслях промышленности.

В своей деятельности В. А. Богдановский много энергии, труда и внимания уделял созданию типовых тех-

нологических процессов, механизации и автоматизации сварочного производства на многих предприятиях Украины и стран СНГ, разработке тренажерных комплексов для подготовки и повышения квалификации электросварщиков.

Результаты научной и инженерной деятельности Валентина Александровича отмечены орденом «Знак почета», государственной премией в области науки и техники, а также отражены во многих изобретениях, патентах и печатных трудах.

В настоящее время В. А. Богдановский координирует направления работ центра по оказанию научно-технической помощи атомным электростанциям Украины по вопросам сварочного производства применительно к ремонту теплоэнергетического оборудования блоков АЭС.



ПАМЯТИ П. П. ШЕЙКО



27 января 2005 г. на 68-м году жизни скоропостижно скончался ветеран Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины кандидат технических наук Павел Петрович Шейко. Он начал работать в институте с 1962 г. и прошел путь от аспиранта до ведущего научного сотрудника. Защитив в 1965 г. кандидатскую диссертацию на тему «Автоматическое управление и регулирование», Павел Петрович посвятил свою научную деятельность разработке прогрессивного способа импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. В частности, он предложил и реализовал научную гипотезу совмещения процессов плавления и переноса электродного металла во время действия импульса тока. Эта идея получила воплощение в специализированных источниках питания и устройствах, нашедших широкое промышленное применение.

П. П. Шейко является автором более 120 научных статей и изобретений. За разработку и внедрение высокоэффективной технологии сварки в производстве летательных аппаратов П. П. Шейко был удостоен звания лауреата Государственной премии СССР в области науки и техники 1991 г.

Высокий уровень квалификации, умение ставить и решать сложные научные задачи и затем активно внедрять результаты исследований, высокие деловые и человеческие качества являлись характерными чертами П. П. Шейко.

Павел Петрович пользовался заслуженным авторитетом у коллег по работе. Всегда принимал активное участие в жизни отдела источников питания, в котором проработал около 40 лет.

Светлая память о Павле Петровиче навсегда сохранится в сердцах тех, кто его знал и с кем он работал вместе.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия и редакция журнала «Автоматическая сварка»

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ПОСЛЕ ОТЖИГА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ

Традиционно при восстановлении вагонных колес, не имеющих дефектов на поверхности катания, применяется технология автоматической дуговой наплавки под флюсом изношенных гребней и затем поверхностей катания. При этом на наплавку гребней допускаются колеса после устранения износов и дефектов на поверхности катания (рис. 1).

ЗАО «Вилтранс» разработал технологию и оборудование для наплавки гребней железнодорожных колес (рис. 2) после ТВЧ отжига поверхности катания (рис. 3), который позволяет выявлять колеса с дефектами на поверхности катания.

Применение отжига позволяет сократить объем механической обработки колесных пар, уменьшить затраты электроэнергии, режущего инструмента, сократить время обточки, затраты на ремонт колесотокарных станков, уменьшить толщину стружки при каждой обточке в среднем на 1,4 мм и, что весьма важно, вскрыть дефект на поверхности катания, подлежащий удалению или исправлению. Все это позволяет примерно на 30 % снизить затраты на сварочные материалы, используемые при наплавке гребней.

Ниже представлены технические характеристики разработанного оборудования для восстановления колес и режимы наплавки (обработки).

Для восстановления износов ободьев колес разрабатывается новая технология многоэлектродной дуговой наплавки под флюсом (рис. 4), которая в соче-



Установка для наплавки гребней УНГ-2М

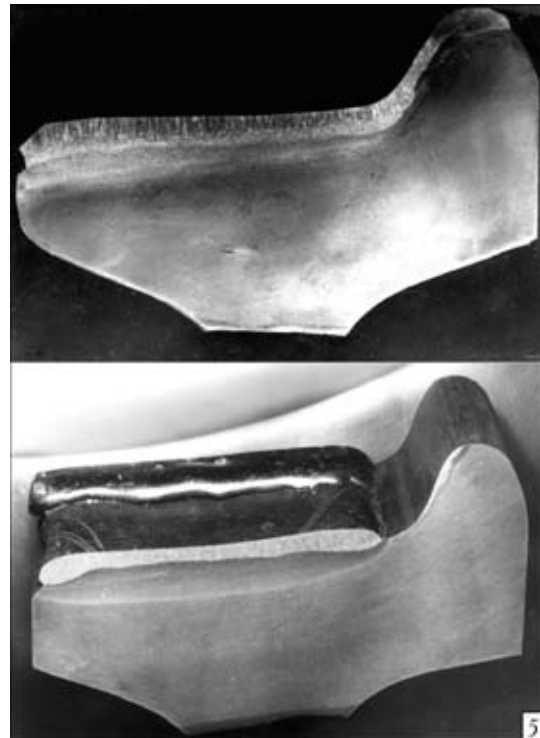
Качество электродов/тип проволоки, флюс	Напряжение, В	Сварочный ток, А	Род тока/полярность	Скорость наплавки, м/ч	Время наплавки одного валика (проволока 3 мм), мм	Время наплавки одного гребня (6-13 валиков), мин
Один/Св-08ХМ, АН-348А	30...32	300...350	Постоянный/обратная	25...30	6...9,5	45...60

Установка для наплавки ободьев УНО-2

Количество электродов/тип проволоки, флюс	Напряжение, В	Сварочный ток при наплавке одного/двух слоев (проволока 3 мм)	Род тока/полярность	Скорость наплавки одного/двух слоев, м/ч	Время наплавки одного/двух слоев, мин	Толщина наплавки одного/двух слоев, мм
Десять/Св-08ХМ, АН-348А	34...28	500...600 (1200...1300)/ 500...600 (1200...1300)	Постоянный/обратная	7...14/7...14	17...13/34...26	3...4/5...11

Установка для индукционного отжига ТИ2-100/10М

Напряжение, В	Частота, Гц	Время нагрева, мин	Температура нагрева, °С	Потребляемая мощность, кВт	Расход воды, м ³ /ч	Давление воды, Па	Удельное сопротивление, кОм/см	Давление воздуха, Па
400	10	9	820	100 (рабочая 70)	3,5	2,5	≥20 (дистиллят, конденсат)	≥3,5



тании с отжигом и автоматической наплавкой под флюсом изношенных гребней позволяет полностью восстановить профиль колеса при однослойной и двухслойной наплавке (рис. 5). При этом срок службы колеса можно увеличить в два раза.

По вопросам сотрудничества просьба обращаться:
 ЗАО «Вилтранс» г. Киев-34, ул. Рейтерская, 35а, тел./факс: 246-48-27, тел. 406-12-72

НОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРИВАРКИ ГОРЛОВИНЫ И ВОЗДУШНЫХ ПАТРУБКОВ К АВТОМОБИЛЬНОМУ БАКУ С ГОРЯЧЕАЛЮМИНИРОВАННЫМ ПОКРЫТИЕМ

Фирменный знак ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины хорошо знаком Волжскому автомобильному заводу еще с 1970-х годов. Ведь специалисты института успешно выполнили для «АВТОВАЗа» ряд ответственных работ, в том числе, по созданию оборудования для массового производства наплавленных клапанов двигателей внутреннего сгорания малолитражных автомобилей с уровнем автоматизации, превышающим показатели лучших зарубежных аналогов. В настоящее время десятки тольяттинских фирм являются партнерами Волжского автомобильного завода. Среди них — динамично развивающаяся производственная фирма «Детальстройконструкция» (ПФ «ДСК»), которой сегодня освоено более 100 наименований комплектующих изделий, в том числе, топливных баков. Сегодня ПФ «ДСК» наращивает темпы развития производства, увеличивает объемы выпуска продукции и со временем полностью планирует взять на себя выпуск топливных баков для Волжского автозавода.

Необходимость создания представленной ниже установки лежала в плоскости решения экологической задачи: перехода от пайки с припоями, содержащими свинец, на сварку сталей со специальным горячеалюминированным покрытием.

ИЭС разработал и изготовил установку АД 380.46.УЗ, предназначенную для одновременной автоматической сварки МАГ нахлесточными кольцевыми швами в среде защитного газа двух воздушных трубок и горловины наливной в верхнем полукорпусе топливного бака 21103-



1101015-20 в составе поточной линии. Толщина свариваемых деталей может быть в пределах 0,8...1,5 мм.

Основной частью четырехпозиционной установки является автомат сварочный карусельного типа с ручной загрузкой-выгрузкой свариваемых изделий, который имеет три сварочные головки, каждая из которых настроена на свой типоразмер соединения, и поворотный стол.

Для уменьшения занимаемой площади установка имеет двухуровневую компоновку. На верхнем уровне смонтирован съемный пост питания АД 380.46.04.000, содержащий три источника сварочного тока.

Все механизмы установки смонтированы на станине, выполненной в виде замкнутой прямоугольной рамы из труб квадратного сечения. На лицевой грани станины оборудована позиция загрузки-выгрузки, со стороны трех остальных граней располагаются сварочные головки, закрытые непрозрачными шторками.

В центре станины установлен защищенный ограждениями поворотный стол с четырьмя кондукторами, пневмоцилиндры которых обеспечивают ориентирование и зажатие свариваемых изделий.

К органам управления установки относятся:

- пульты наладочные для каждой головки сварочной, используемые для заправки, проверки и наладки механизмов каждой головки, которые расположены рядом с соответствующей головкой;
- пульт оператора, используемый для проверки и наладки механизмов поворотного стола, находящийся на станине автомата, справа от загрузочного проема;
- две кнопочные станции ПУСК-СТОП и ПУСК, непосредственно используемые оператором в работе, расположенные на противоположных стенках в пределах загрузочного проема;
- панель информационная, находящаяся в глубине проема, где на дисплее задаются режимы сварки и отражается текущее состояние установки, сведения о возникших откатах, а также дополнительная информация.

Сварка выполняется при расположении соединения в горизонтальном положении. Патрубки диаметром 8 и 16 мм поступают на сварку механически закрепленными в нужном положении; горловина диаметром 43 мм вставляется оператором в отбортовку полукорпуса бака и не закрепляется.

Допустимая погрешность расположения центра сварного соединения в горизонтальном положении может достигать в пределах от +2,0 до -2,0 мм. Базой для центрирования изделия и головки является верхнее свободное отверстие горловины или патрубка.

Погрешность расположения сварного соединения по вертикали — в пределах от +1,0 до -1,0 мм. Базой для головки является верхний свободный торец горловины или патрубка.

В автоматическом режиме на каждой из трех рабочих позиций при неподвижных изделиях одновременно происходит сварка каждого соединения (патрубка) в период рабочего цикла до 40 с, а на загрузочной позиции в это же время оператор осуществляет выгрузку-загрузку изделий. Перемещение свариваемого изделия с позиции на позицию осуществляется поворотом стола с кондукторами на 90°. Производительность установки составляет до 450 изделий в смену.



Всех заинтересованных в приобретении разработанного оборудования
просьба обращаться по тел. (044) 227-24-55, 220-95-78, 227-07-44;
E-mail: olga.m@paton.kiev.ua