



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

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

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001.

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

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<i>Кучук-Яценко С. И., Швец Ю. В., Кавуненко А. В., Шыец В. И., Тараненко С. Д., Проценко В. А.</i> Влияние ширины вставки из нержавеющей стали на эксплуатационные свойства соединений железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями	3
<i>Чувичилов В. А., Кузьмин С. В., Лысак В. И.</i> Энергетические условия сварки взрывом слоистых композиционных материалов	8
<i>Борисов Ю. С., Борисова А. Л., Туник А. Ю., Карпец М. В., Бобрик В. Г., Войнарович С. Г., Кузьмич-Янчук Е. К.</i> Структура и свойства порошков для получения биокерамических покрытий способом плазменного напыления	12

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<i>Мозжухин А. А.</i> Конструировать изобретая	17
<i>Рябцев И. А., Кусков Ю. М., Кондратьев И. А., Черняк Я. П., Рябцев И. И.</i> Материалы и энергосберегающие технологии наплавки для восстановления и изготовления деталей машин и механизмов	21
<i>Самотугин С. С., Мазур В. А.</i> Причины образования дефектов при поверхностном упрочнении сталей и сплавов высококонцентрированными источниками нагрева	27
<i>Касаткин О. Г., Царюк А. К., Скульский В. Ю., Гаврик А. Р., Моравецкий С. И., Клещевников И. Д., Копылов Ю. М., Медведев А. Г.</i> Способ повышения сопротивляемости локальным повреждениям сварных соединений трубопроводов АЭС	32
<i>Покляцкий А. Г., Ищенко А. Я., Гринюк А. А., Яворская М. Р.</i> Механические свойства соединений алюминиевого сплава 1441, полученных при различных способах сварки	36

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

<i>Троицкий В. А., Посыпайко Ю. Н., Шевченко И. Я., Кармазин В. И., Костенко Г. Е.</i> Дефектоскопия сварных соединений резервуара для хранения жидкого аммиака	40
---	----

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Ковальчук В. С., Кныш В. В., Позняков В. Д., Касаткин С. Б.</i> Способ повышения циклической долговечности и ресурса сварных стальных конструкций	44
<i>Ланкин Ю. Н.</i> Регулятор уровня металлической ванны при ЭШС	47
Новости	49
Диссертация на соискание ученой степени	53
Патенты в области сварочного производства	54
По зарубежным журналам	58
Новые книги	61

ХРОНИКА

9-я Европейская конференция по неразрушающему контролю	62
Конференция «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин»	63
К 100-летию со дня рождения С. П. Королева	66
И. В. Пентегову — 75	67
К 90-летию со дня рождения С. М. Гуревича	68

ИНФОРМАЦИЯ	69
------------------	----

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:

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

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

Address of Editorial Board:

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

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushtina
Electron galley:
I. S. Batasheva, L. N. Gerasimenko,
A.I.Sulima, I. R. Naumova,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

<i>Kuchuk-Yatsenko S. I., Shvets Yu. V., Kavunichenko A. V., Shvets V. I., Taranenko S. D., Proshchenko V. A.</i> Effect of stainless steel insert width on service properties of joints of railway frogs with rail ends	3
<i>Chuvichilov V. A., Kuzmin S. V., Lysak V. I.</i> Energy conditions of explosion welding of lamellar composite materials	8
<i>Borisov Yu. S., Borisova A. L., Tunik A. Yu., Karpets M. V., Bobrik V. G., Voinarovich S. G., Kuzmich-Yanchuk E. K.</i> Structure and properties of powders for producing bioceramic coatings by plasma spraying method	12

INDUSTRIAL

<i>Mozzhukhin A. A.</i> To design with inventing	17
<i>Ryabtsev I. A., Kuskov Yu. M., Kondratiev I. A., Chernyak Ya. P., Ryabtsev I. I.</i> Materials and energy-saving technologies of hardfacing for restoration and manufacture of machine parts and mechanisms	21
<i>Samotugin S. S., Mazur V. A.</i> Causes of defects formation in surface hardening of steels and alloys by highly-concentrated heat sources	27
<i>Kasatkin O. G., Tsaryuk A. K., Skulsky V. Yu., Gavrik A. R., Moravetsky S. I., Kleshchevnikov I. D., Kopylov Yu. M., Medvedev A. G.</i> Method for improvement of resistance of NPS pipeline welded joints against local damages	32
<i>Poklyatsky A. G., Ishchenko A. Ya., Grinyuk A. A., Yavorskaya M. R.</i> Mechanical properties of aluminium alloy 1441 joints produced by different methods of welding	36

NDT OF WELDED JOINTS

<i>Troitsky V. A., Posypaiko Yu. N., Shevchenko I. Ya., Karmazin V. I., Kostenko G. E.</i> Flaw detection of welded joints of tanks for liquid ammonia storage	40
--	----

BRIEF INFORMATION

<i>Kovalchuk V. S., Knysh V. V., Poznyakov V. D., Kasatkin S. B.</i> Method of improvement of cyclic and service life of welded steel structures	44
<i>Lankin Yu. N.</i> Controller of metal pool level in ESW	47
News	49
Thesis for scientific degree	53
Patents in the field of welding	54
Review of foreign journals	58
New books	61

NEWS

9th European Conference on NDT	62
Conference «Problems of life and service safety of structures, constructions and machines»	63
Towards the 100- birthday anniversary of Korolyov S. P.	66
Pentegov I. V. is 75	67
Towards the 90-birthday anniversary of Gurevich S. M.	68
INFORMATION	69



УДК 621.791.762.5

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ВСТАВКИ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРЕСТОВИН С РЕЛЬСОВЫМИ ОКОНЧАНИЯМИ

Академик НАН Украины **С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО**, **Ю. В. ШВЕЦ**, **А. В. КАВУНИЧЕНКО**, инженеры,
В. И. ШВЕЦ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
С. Д. ТАРАНЕНКО, канд. техн. наук, **В. А. ПРОЩЕНКО**, инж. (ОАО «Днепропетровский стрелочный завод»)

Определено влияние ширины вставки из нержавеющей стали 08X18H10T при контактной стыковой сварке пульсирующим оплавлением стали 110Г13Л с М76 на конструктивную прочность и износостойкость соединений. Показано, что изменение ширины вставки в пределах 10...40 мм не оказывает существенного влияния на эксплуатационные свойства железнодорожных крестовин.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, пульсирующее оплавление, высокомарганцевая сталь, рельсовая сталь, аустенитная сталь, ширина вставки

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология и оборудование для контактной стыковой сварки оплавлением железнодорожных крестовин. В работе [1] изложены основные положения этой технологии и определены параметры режима сварки. В основу технологии положен способ сварки пульсирующим оплавлением [2], позволяющий получать соединения высокомарганцевой стали 110Г13Л (ГОСТ 7432–87) с рельсовой сталью М76 (ГОСТ 8161–75) через вставку из хромоникелевой аустенитной стали (ГОСТ 5632–72).

Разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона технология контактной стыковой сварки пульсирующим оплавлением и сварочная машина К924, изготовленная на ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования», успешно внедрены на предприятии ОАО «Днепропетровский стрелочный завод».

Опыт эксплуатации сварных крестовин на железных дорогах Украины показал, что для снижения расхода металла необходимо оптимизировать ширину аустенитной вставки. Целью настоящей работы явилось определение влияния ширины вставки на конструкционную прочность (в частности, износостойкость) стыковых соединений и эксплуатационные показатели крестовин.

При выборе оптимальной ширины вставки следует учитывать ее повышенный износ как наиболее мягкого элемента крестовины, влияние повторного нагрева на структурные изменения в металле ЗТВ первого шва при сварке второго и влияние пластичности вставки на свойства соединений.

Для определения влияния ширины вставки на износ исследовали сварные крестовины разных типов, которые отличались количеством пропущенного тоннажа. Крестовины изготовлены на ОАО «Днепропетровский стрелочный завод» и находились под авторским надзором завода.

Уровень износа оценивали по отклонению от линейности на поверхности катания в зоне вставки (впадина), а степень наклепа металла — по значению его твердости. Измерение твердости осуществляли твердомером ТДМ-2 с верхним пределом измерения *НВ* 450. Отпечатки делались на вставке по ее центру, на рельсовом окончании на расстоянии 8, 50 и 550 мм от сварного шва рельс–вставка и на сердечнике — на расстоянии 50 мм от сварного шва сердечник–вставка.

Места отпечатков и усредненные результаты пяти замеров твердости показаны на рис. 1. Из рисунка видно, что твердость зоны А сердечника превышает *НВ* 450.

В таблице представлены результаты замеров износа крестовин в зоне вставки, проведенные на трех крестовинах, заложенных на разных участках Приднепровской железной дороги, а также средние значения твердости по центру вставки. Как видно из таблицы, максимальное отклонение профиля поверхности катания от исходного состояния (износ) составило 0,5...0,8 мм при ширине впадины не более 100 мм. Локальный износ в зоне вставки не наблюдался.

Сравнительный анализ распределения твердости в крестовине показал (рис. 2), что в процессе эксплуатации повышается твердость как марганцевой и рельсовой стали, так и хромоникелевой стали, из которой изготовлена вставка. При этом

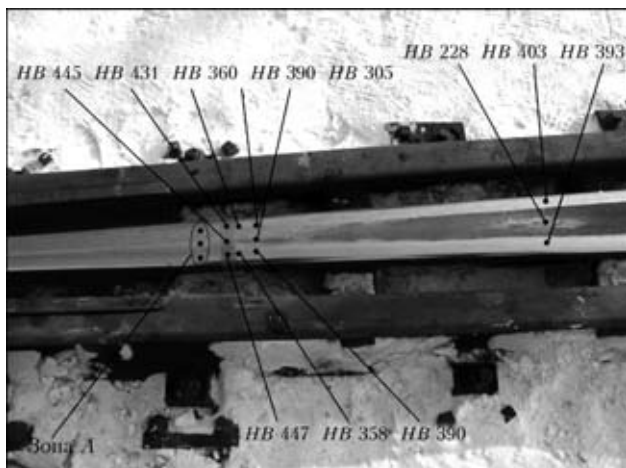


Рис. 1. Внешний вид сварной крестовины, уложенной на ст. Верховцево Приднепровской железной дороги, и результаты замеров твердости на поверхности катания после пропуска 65,2 млн т тоннажа

твердость вставки превышает твердость рельсовой стали.

Полученные результаты согласуются с литературными данными [3]. Хромоникелевая аустенитная сталь склонна к деформационному упрочнению так же, как и марганцевые аустенитные стали, хотя упрочнение последних при одинаковой степени деформации происходит интенсивнее.

Износ крестовины в зоне вставки объясняется различной степенью первоначальной деформации, необходимой для образования наклепа в начале эксплуатации в рельсовой стали М76, хромоникелевой аустенитной стали 08Х18Н10Т и высокомарганцевой стали 110Г13Л.

Исходя из изложенного можно сделать вывод, что с позиции повышенного износа сварной крестовины ширина вставки 10...40 мм не является критичной. Ширина вставки может оказывать влияние на структуру металла ЗТВ первого шва при повторном нагреве, имеющем место при выполнении второго шва.

Для сварки сердечников крестовин с рельсовыми окончаниями с использованием вставки очень важно выбрать наиболее благоприятный порядок сварки швов.

Возможны два варианта: первый — к высокомарганцевому сердечнику приваривается вставка (первый стык), которую обрезают до необходимой длины и приваривают к ней рельсовое

Износ крестовин в зоне вставки

Участок пути Приднепровской железной дороги	Пропущенный тоннаж, млн т	Ширина вставки, мм	Износ крестовины (впадина), мм	Твердость HB по центру вставки
Ст. Верховцево	65,20	18...22	0,75	441
Ст. Варваровка	48,37	40...42	0,80	420
Ст. Самойловка	48,57	18...20	0,50	410

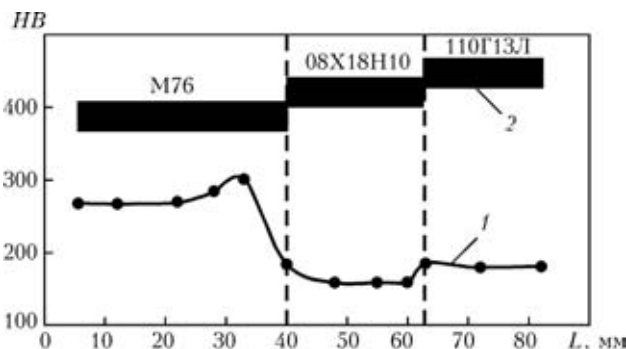


Рис. 2. Распределение твердости в сварной крестовине после сварки (1) и в процессе эксплуатации (2)

окончание (второй стык); второй — к рельсовому окончанию приваривают вставку (первый стык), которую обрезают до необходимой длины и приваривают к ней сердечник (второй стык).

В первом варианте при ширине вставки 10...25 мм металл ЗТВ стыкового соединения стали 110Г13Л подвергается повторному нагреву до 500...700 °С, что приводит к дополнительному карбидообразованию и, как следствие, снижению пластических свойств соединения [4].

Выполнение сварки швов по второму варианту является более благоприятным, поскольку известно, что повторный нагрев рельсовой стали до 700...900 °С не оказывает отрицательного влияния на ее сорбитную структуру.

При механических испытаниях сварных изделий на статический изгиб их разрушение происходит по рельсовой стали на расстоянии 2...3 мм от линии соединения при значениях прочности, превышающих требования нормативных документов [5].

Исследования микроструктуры соединений показали, что в приконтактном слое рельсовой стали, имеющем сорбитную структуру, между блоками зерен формируется структурная составляющая светлого цвета — межблочная структурная составляющая (МСС). Она представляет собой аустенит, в некоторых случаях с включениями мартенсита [6]. Разрушение соединения происходит по МСС.

Содержание углерода в МСС составляет 0,978...1,193, марганца — 1,125...1,389, никеля — 1,774...2,047, хрома — 2,631...5,277 мас. %. Как известно, стали подобного состава закаляются в масле и даже на воздухе, оставаясь аустенитными [7]. В случае отпуска при температуре 400...600 °С в метастабильном аустените могут выделяться карбиды.

Согласно расчетам по эмпирической формуле, приведенной в работе [7], скорость охлаждения данного изделия на воздухе составляет 0,3, а в масле — 3,0 °С/с.

В соответствии с полученной нами экспериментальной кривой (рис. 3) скорость охлаждения в зоне с МСС в интервале температур

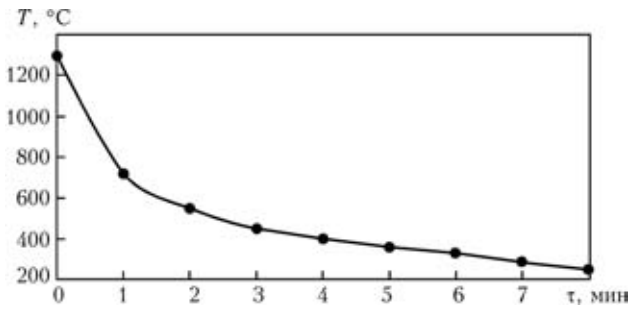


Рис. 3. Экспериментальная температурная кривая охлаждения зоны МСС, полученная после сварки первого шва

1250...550 °С равна приблизительно 6 °С/с. При такой скорости охлаждения должна происходить закалка МСС с образованием метастабильного аустенита [8].

Время пребывания МСС в интервале выделения карбидов составило 2...3 мин. Этого недостаточно для последующего развития процесса образования карбидов, что подтверждено результатами анализа микроструктуры.

Для исследования возможных структурных превращений в МСС при повторном нагреве в ИЭС им. Е. О. Патона методом математического моделирования выполнены расчеты температурных полей, имеющих место при охлаждении сварного соединения после сварки второго стыка (рис. 4) [9]. Установлено, что время пребывания зоны МСС в интервале температур образования карбидов при вставке шириной 10 и 20 мм практически одина-

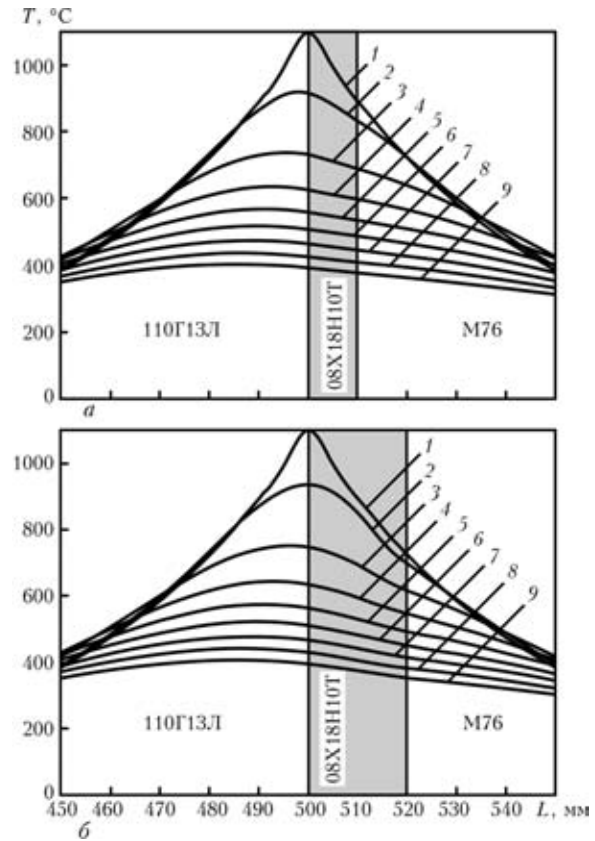


Рис. 4. Расчетные температурные поля, полученные при охлаждении сварного соединения после сварки второго стыка при ширине вставки 10 (а) и 20 мм (б): 1 — $\tau = 0$; 2 — 10; 3 — 50; 4 — 100; 5 — 150; 6 — 200; 7 — 250; 8 — 300; 9 — 350 с

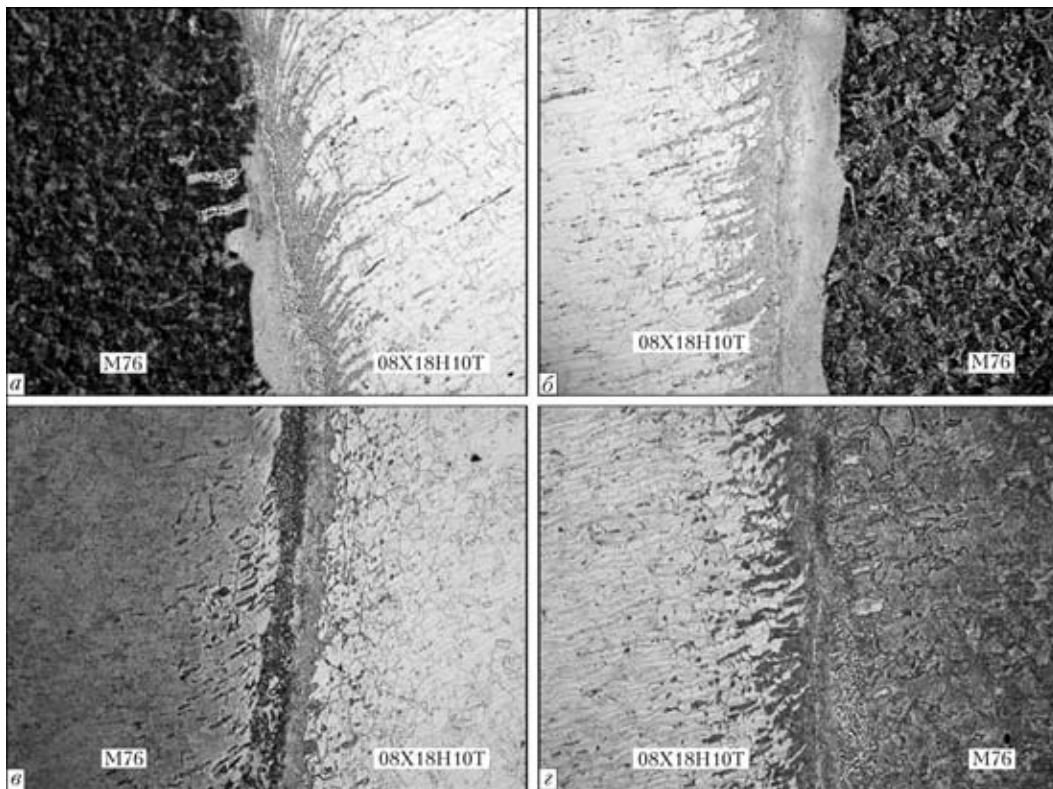


Рис. 5. Микроструктура ($\times 50$) металла переходной зоны первого (а, в) и второго (б, г) стыка соединения М76+08X18H10Т+М76, полученного при ширине вставки 10...12 (а, б) и 20...22 (в, г) мм

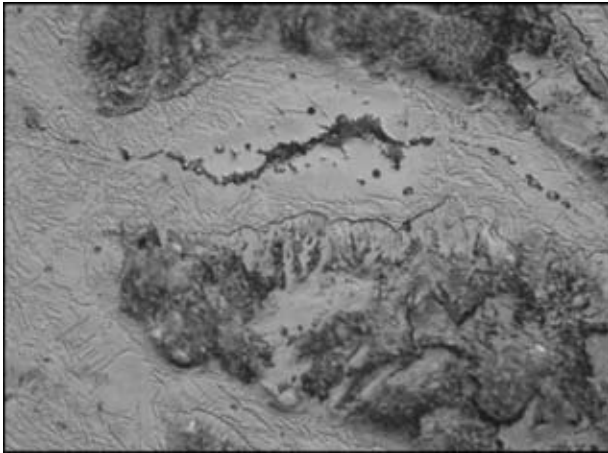


Рис. 6. Карбидные выделения ($\times 1000$) в МСС первого стыка соединений стали М76 после повторного нагрева

ково и составляет $\tau \approx 200$ с. Это дает основания предположить, что повторный нагрев при ширине вставки 10...20 мм не оказывает влияния на структуру металла МСС.

Были проведены также экспериментальные исследования влияния ширины вставок на структурные превращения при повторном нагреве. Для этого готовили сварные образцы типа М76+08Х18Н10Т+М76 с шириной вставки 10...12 и 20...22 мм. Установлено, что микроструктура металла переходных зон первого и второго стыков соединений сталей М76 и 08Х18Н10Т подобна и не зависит от ширины вставки в установленных пределах (рис. 5). В микроструктуре металла зоны МСС первого стыка, который подвергали повторному нагреву, наблюдалось незначительное выпадение карбидов (рис. 6).

Распределение твердости по Виккерсу в сварном соединении при ширине вставки 10...12 мм показано на рис. 7. Отмечается незначительное

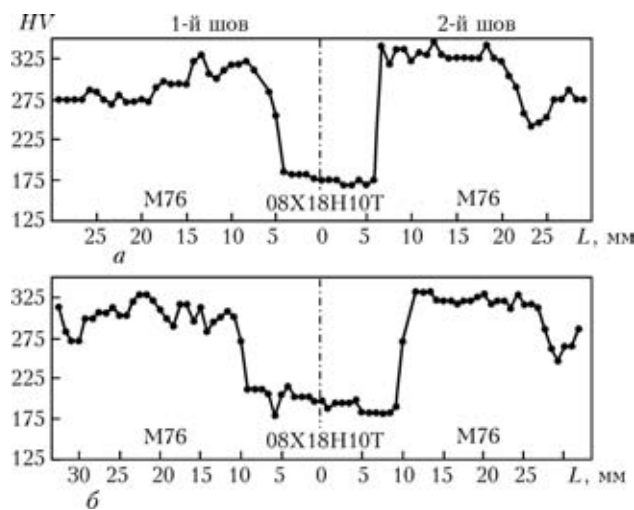


Рис. 7. Распределение твердости в сварном соединении М76+08Х18Н10Т+М76, полученном при ширине вставки 10...12 (а) и 20...22 (б) мм

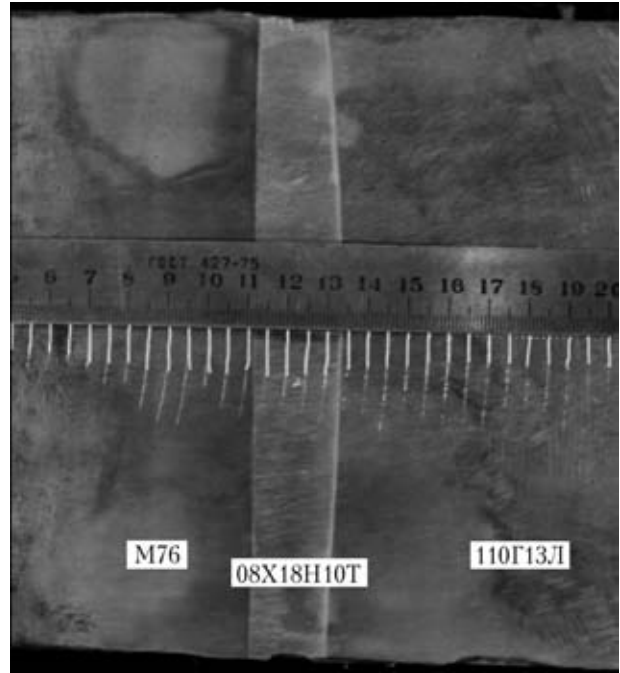


Рис. 8. Вид сварного образца перед испытанием на статический изгиб

повышение твердости вставки (от HV 175 до 185 в первом случае и от HV 185 до 210 — во втором) и некоторая неоднородность распределения твердости в стали М76, имеющая тенденцию к снижению после повторного нагрева.

Таким образом, повторный нагрев соединения М76 + 08Х18Н10Т при сварке второго стыка через вставку шириной 10...22 мм не оказывает существенного влияния на структуру металла соединений.

Для исследования распределения степени пластической деформации в зоне соединения при испытаниях на статический изгиб сварен образец со вставкой шириной 10...13 мм. На его подошву (профиль Р65) перед испытаниями приблизительно через каждые 5 мм нанесены метки (рис. 8).

Испытания проводили в соответствии с требованиями, изложенными в [5], при нагружении на головку образца. Образец доводили до разрушения и по снимкам, сделанным с помощью ин-

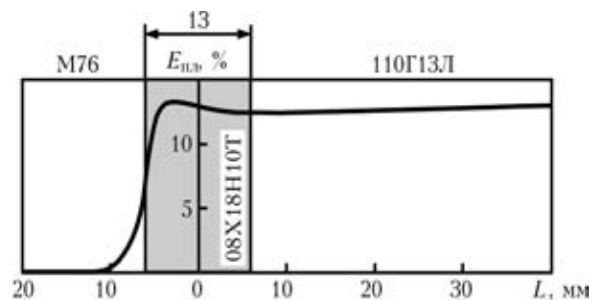


Рис. 9. Распределение относительной пластической деформации $E_{пл}$ по длине образца после его разрушения при нагружении по центру вставки шириной 10...13 мм



струментального измерительного микроскопа, измеряли расстояние между метками до и после разрушения. Степень пластической деформации определяли как отношение разницы к исходному расстоянию между метками.

На рис. 9 показано распределение пластической деформации по длине образца после его разрушения при нагружении по центру вставки при усилии разрушения 1180 кН и стреле прогиба 26 мм.

При испытаниях образцов на статический изгиб установлено, что стрела прогиба за счет упругих деформаций составляет не менее 11 мм при усилии разрушения 900 кН (профиль Р65), более высокие значения стрелы прогиба реализуются за счет пластической деформации, протекающей в основном в высокомарганцевой стали, ширина вставки не оказывает существенного влияния на пластичность сварных соединений.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что в процессе эксплуатации сварных железнодорожных крестовин происходит наклеп на вставку стали 08X18N10T, сердечник из стали 110Г13Л и рельсовое окончание из стали М76, причем металл сердечника и вставки имеет более высокую твердость, чем металл рельсового окончания.

2. При статических испытаниях на изгиб изменение ширины вставки в пределах 10...40 мм существенного влияния на эксплуатационные свойства изделия и пластичность сварных соединений не оказывает.

3. Износ изделия в зоне вставки возникает на первоначальном этапе эксплуатации, в дальнейшем он практически не увеличивается.

Determined is the effect of width of an insert of stainless steel 08Kh18N10T in pulsed flash butt welding of steel 110G13L to M76 on structural strength and wear resistance of joints. It is shown that variations in width of the insert over 10-40 mm hardly have any effect on performance of railway frogs.

4. Уменьшение ширины вставки до 10 мм позволит сократить расход проката стали 08X18N10T на 30 % и тем самым снизить себестоимость изделия.

5. Применение вставки шириной менее 10 мм не допустимо. Это связано с тем, что при сварке ширина вставки по периметру рельса изменяется из-за неравномерного оплавления на различных участках и ее реальная ширина колеблется в пределах ± 3 мм от расчетной.

1. *Контактная стыковая сварка железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями через промежуточную вставку* / С. И. Кучук-Яценко, Ю. В. Швец, Е. А. Думчев и др. // Автомат. сварка. — 2005. — № 1. — С. 6–9.
2. *Пат. 46820 Украина. Спосіб контактного стикового зварювання* / С. І. Кучук-Яценко, О. В. Дідковський, М. В. Богорський та ін. — Опубл. 17.06.2002.
3. *Богачев И. Н., Рожкова С. Б.* Упрочнение аустенитных сталей при холодной пластической деформации // Изв. вузов. Черн. металлургия. — 1963. — № 7. — С. 162–168.
4. *Давыдов Н. Г.* Высокомарганцевая сталь. — М.: Металлургия, 1979. — 176 с.
5. *ТУ У 27.3-26524137-1342:2006.* Хрестовини та сердечники з привареними рейковими закінченнями типів Р65, Р50 УІС60/УкрДНТЦ «Енергосталь». — Чинний з 12.05.2006.
6. *Особенности формирования структуры соединений рельсовой стали М76 со сталью 110Г13Л, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением* / С. И. Кучук-Яценко, В. И. Швец, Г. Н. Гордань и др. // Автомат. сварка. — 2006. — № 1. — С. 3–9.
7. *Блантер М. Е.* Теория термической обработки. — М.: Металлургия, 1984. — 327 с.
8. *Гудремон Э.* Специальные стали. — М.: Гос. науч.-техн. изд-во по черной и цветной металлургии, 1969. — 1638 с.
9. *Махненко В. И.* Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с.

Поступила в редакцию 13.07.2006



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СВАРКИ ВЗРЫВОМ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. ЧУВИЧИЛОВ, С. В. КУЗЬМИН, кандидаты техн. наук, В. И. ЛЫСАК, д-р техн. наук
(Волгоград. гос. техн. ун-т, РФ)

Рассмотрены энергетические условия формирования соединения слоистых композиционных материалов при сварке взрывом по батарейной и плоскопараллельной схемам соударения. Установлено, что, начиная с определенной толщины неподвижной пластины, экономически и технологически целесообразно применять батарейную схему плакирования.

Ключевые слова: сварка взрывом, композиционные материалы, плоскопараллельная и батарейная схемы сварки, энергетические условия, формирование соединения

При всем многообразии технологических схем сварки взрывом [1–3] наибольшее распространение при изготовлении трехслойных композиционных материалов плоской конфигурации получили батарейная (с одновременным двусторонним симметричным плакированием) (рис. 1) и плоскопараллельная (рис. 2) сварки взрывом.

Несмотря на определенные преимущества батарейной схемы сварки ее применение ограничено рядом факторов, связанных прежде всего с тем, что до настоящего времени не изученным является вопрос об энергетических условиях формирования соединения.

Целью настоящей работы явилось исследование энергетических условий формирования соединения при сварке металлов взрывом по батарейной и плоскопараллельной схемам соударения.

Формальный анализ энергетических условий образования соединения при различных схемах сварки взрывом (рис. 1, 2), но при одинаковых кинематических параметрах соударения показал, что в общем случае удельная кинетическая энергия W метаемой пластины при ее соударении с неподвижной пластиной расходуется по следующим статьям [4]:

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad (1)$$

где W_1 — удельная остаточная кинетическая энергия системы сваренных пластин; W_2, W_3 — удельная энергия, затрачиваемая соответственно на пластическую деформацию металла и кумуляцию.

При этом W как для плоскопараллельной (индекс «п»), так и для батарейной (индекс «б») (в расчете на одну границу соединения) схем сварки взрывом сварки определяется массой и скоростью метаемой пластины:

$$W^п = W^б = \frac{m_1 v_c^2}{2}. \quad (2)$$

Энергозатраты на пластическую деформацию металла $W_2^п$, определяющие в конечном счете свойства сварного соединения [5], рассчитываются согласно [4]:

$$W_2^п = \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} \frac{v_c^2}{2} [1 - (v_k/c_0)^2], \quad (3)$$

$$W_3^п = W_3^б = \tilde{m} \frac{v_c^2}{2} \left(\frac{v_k}{c_0} \right)^2, \quad (4)$$

где $m_1 = \rho_1 \delta_1$ и $m_2 = \rho_2 \delta_2$ — соответственно удельная масса метаемой и неподвижной пластин; ρ_1

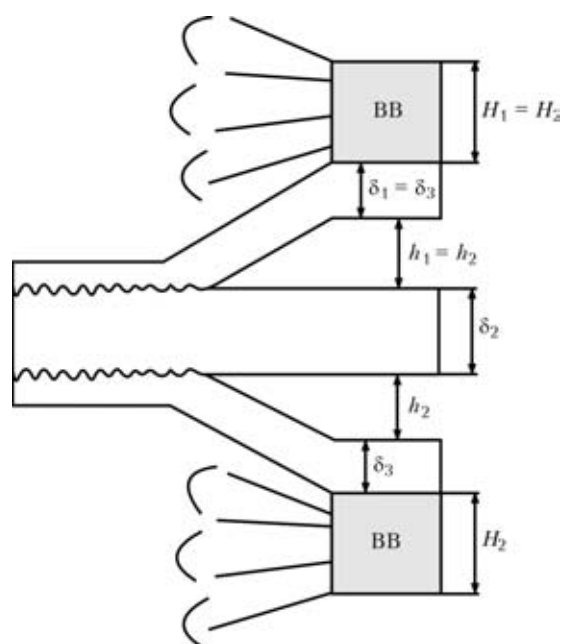


Рис. 1. Батарейная схема сварки взрывом плоских слоистых композиционных материалов [2]: BB — взрывчатое вещество; H_1, H_2 — высота заряда BB на первой и второй границах композита; δ_1, δ_3 — толщина метаемых пластин; δ_2 — толщина неподвижной пластины; h_1, h_2 — сварочный зазор соответственно на первой и второй границах композита

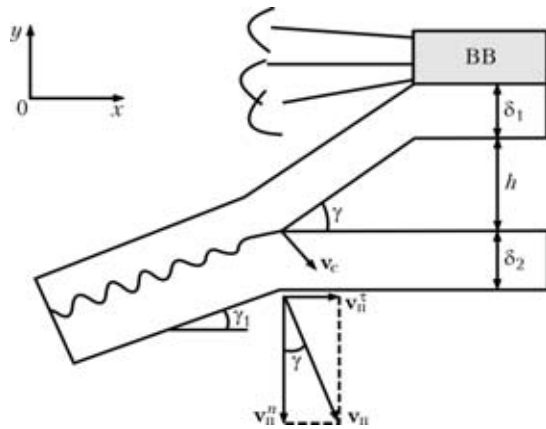


Рис. 2. Типичная картина соударения по плоскопараллельной схеме сварки взрывом [1]: v_n — результирующий вектор скорости движения двухслойного пакета; v_n^{τ} , v_n^n — нормальная и тангенциальная составляющие вектора скорости движения v_n ; v_c — вектор скорости соударения; γ — угол соударения; γ_1 — угол поворота пакета пластин

и ρ_2 — плотность свариваемых металлов; v_c — скорость соударения; v_k — скорость точки контакта; $\tilde{m} = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ — усредненная масса двух соударяющихся пластин; c_0 — скорость распространения звука в металле.

Из выражения (1) следует

$$W_2^n = W^n - W_1^n - W_3^n; \quad W_2^b = W^b - W_1^b - W_3^b. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что в процессе сварки взрывом по плоскопараллельной схеме после соударения метаемой пластины с неподвижной двухслойный пакет может продолжать движение со скоростью пакета v_n , определяемой по закону сохранения количества движения $v_n = m_1 v_c / (m_1 + m_2)$ [6]. При разложении результирующего вектора v_n на нормальную и тангенциальную составляющие v_n^n и v_n^{τ} (рис. 2) получаем

$$v_n^n = v_n \cos \gamma_1; \quad v_n^{\tau} = v_n \sin \gamma_1.$$

Учитывая, что в большинстве случаев при сварке металла взрывом угол соударения γ не превышает 10...12°, становится очевидным, что тангенциальная составляющая v_n^{τ} будет много меньше v_n^n . Таким образом, пренебрегая v_n^{τ} ввиду ее малого значения (тем более, что $\gamma_1 \ll \gamma$), для случая плоскопараллельной схемы сварки взрывом можно записать [4]:

$$W_1^n \approx \frac{m_1^2 v_n^2}{2(m_1 + m_2)}. \quad (6)$$

При сварке взрывом по батарейной схеме соударение метаемых пластин с неподвижной происходит одновременно и симметрично с двух сторон. В этом случае нормальные составляющие v_{ci}^n векторов v_{ci} с противоположных сторон нап-

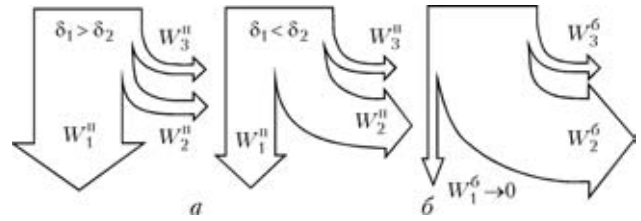


Рис. 3. Структура энергетических балансов при сварке взрывом по плоскопараллельной (а) и батарейной (б) схемам

равлены строго навстречу друг другу, тем самым они удерживают трехслойный пакет от перемещения вдоль оси y , что неизбежно приведет к реализации $W_1^b \approx 0$.

Различия энергетических условий формирования соединения по плоскопараллельной и батарейной схемам сварки взрывом иллюстрирует рис. 3. Из рисунка видно, что в последнем случае (батарейная схема) вне зависимости от соотношения δ_1 и δ_2 энергия, затрачиваемая на пластическую деформацию (при одинаковых параметрах соударения), превышает W_2 для плоскопараллельной схемы (в большей мере при $\delta_1 > \delta_2$), что в свою очередь неизбежно должно привести к увеличению параметров волнового профиля и массы оплавленного металла в зоне соединения, полученного сваркой взрывом по батарейной схеме.

Для экспериментальной оценки энергии W_2 , затрачиваемой на пластическое деформирование металла околошовной зоны (ОШЗ), при сварке взрывом по обеим рассматриваемым схемам применяли метод калориметрирования [8], поскольку, как следует из [7], до 90...95 % всей энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию металла, выделяется в сварных образцах в виде тепла. Чтобы определить, сколько тепла Q введено в образец в процессе сварки взрывом, воспользуемся выражением [4]:

$$Q = A(T_k - T_n) + m_{об} c_{об} (T_k - T_b), \quad (7)$$

где A — водяной эквивалент калориметра, определяемый экспериментально (в наших опытах он составил 1,358 Дж/град); T_b , T_n , T_k — температура соответственно образца до опыта, равная температуре окружающего воздуха, воды в начале и конце опыта; $m_{об}$ — масса сваренного образца; $c_{об}$ — удельная теплоемкость образца.

В опытах, проводимых на одноименных алюминиевых пластинах АД0, постоянными оставались параметры соударения — $v_c = 630$ м/с, $v_k = 2700$ м/с. От опыта к опыту толщину неподвижной пластины δ_2 изменяли от 2 до 16 мм при обеих схемах соударения. В экспериментах взрывную и калориметрическую системы размещали отдельно друг от друга, при этом время переноса образца в калориметр не превышало 20 с, а тем-

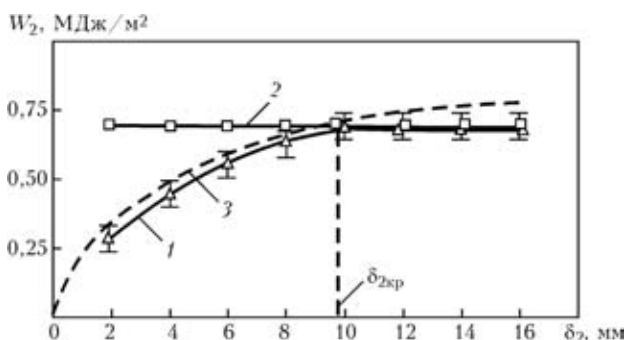


Рис. 4. Зависимость W_2 от толщины неподвижной пластины δ_2 при сварке взрывом алюминиевых пластин ($\delta_1 = 2$ мм, $v_c = 670$ м/с, $v_k = 2700$ м/с) по плоскопараллельной (Δ) и батарейной (\square) схемам сварки взрывом: 1, 2 — экспериментальные кривые соответственно $W_2^{\delta}/2 = f(\delta_2)$ и $W_2^{\Pi}/2 = f(\delta_2)$; 3 — расчетная кривая $W_2^{\delta} = f(\delta_2)$

пература воды, измеряемая ртутным термометром с точностью 0,1 °С, составляла не более 50 °С.

На рис. 4 представлены экспериментальные зависимости $W_2 = f(\delta_2)$, полученные для батарейной и плоскопараллельной схем сварки, причем для удобства их анализа значения W_2 для батарейной схемы взяты из расчета на одну границу.

Анализ полученных зависимостей $W_2 = f(\delta_2)$ (рис. 4) свидетельствует о том, что при относительно небольшой толщине δ_2 имеет место существенное различие в численных значениях энергий $W_2^{\delta}/2$ и W_2^{Π} , реализуемых соответственно при батарейной и плоскопараллельной схемах сварки. Так, например, при $\delta_2 = 2$ мм значение $W_2^{\delta}/2$ превышает W_2^{Π} более чем в 2 раза (кривые 1 и 2 на рис. 4). С увеличением δ_2 разница в значениях энергий $W_2^{\delta}/2$ и W_2^{Π} уменьшается за счет перераспределения W по статьям энергозатрат (см. рис. 3, а) (при плоскопараллельной схеме согласно зависимости (б) составляющая W_1 уменьшается), а при $\delta_2 \geq 10$ мм значения W_2 становятся примерно одинаковыми, т. е., начиная с определенной толщины $\delta_2 \geq \delta_{2кр}$ ($\delta_{2кр}$ — критическая толщина неподвижной пластины), значение которой, как отмечалось в [9], зависит от скорости соударения v_c , энергетические условия формирования соединения в рассматриваемых схемах сварки становятся одинаковыми.

Очевидно, что при $\delta_2 < \delta_{2кр}$ большие значения энергии W_2^{δ} , затрачиваемой на пластическое деформирование металла ОШЗ в случае батарейной схемы сварки, обусловлены согласно [9] увеличением деформирующего импульса давления I_d , интегрального параметра, учитывающего значения давления в зоне соударения и время его действия. Эта величина, будучи пропорциональной W_2 , дополнительно активизирует процессы пластического деформирования металла ОШЗ. При этом, чем меньше δ_2 , тем больше значение деформи-

рующего импульса давления I_d и тем интенсивнее развиваются процессы пластического деформирования металла ОШЗ.

Итак, можно считать доказанным, что при $\delta_2 \geq \delta_{2кр}$ энергетические и деформационно-временные условия формирования соединения на обеих границах трехслойного соединения при сварке взрывом по батарейной схеме идентичны условиям, реализуемым при плоскопараллельной схеме. Иначе дело обстоит при $\delta_2 \leq \delta_{2кр}$. В этом случае, как показали экспериментальные данные (рис. 4), энергия W_2^{δ} , затрачиваемая на пластическое деформирование металла ОШЗ при батарейной схеме, будет превышать W_2^{Π} , обуславливая тем самым рост параметров волн и количества оплавленного металла (снижается прочность получаемого соединения, увеличивается переходное электросопротивление), т. е. свойства соединения, полученного сваркой взрывом по батарейной схеме, будут отличаться от свойств соединения, полученного по традиционной схеме.

Чтобы обеспечить идентичные условия формирования соединения, полученного сваркой взрывом по обеим схемам, необходимо при использовании батарейной схемы снизить энерговыделение на каждой границе композита или уменьшить деформирующий импульс на них, что может быть достигнуто, по крайней мере, двумя путями. Первый — предусматривает возможность формирования соединения на каждой межслойной границе композита, полученного по батарейной схеме, не зависимо друг от друга. Это требует увеличения толщины неподвижной пластины $\delta_2 > \delta_{2кр}$, что далеко не всегда является приемлемым, поскольку значения δ_2 обычно строго лимитированы. Второй путь предполагает соответствующее изменение условий соударения металлических элементов с неподвижной пластиной (например, уменьшение скорости соударения v_c).

Рассмотрим этот вариант на конкретном примере. При плакировании стального листа толщиной 2 мм слоем меди толщиной 1 мм оптимальное значение W_2 , обеспечивающее равнопрочность и бездефектность сварного шва, составляет около 0,45...0,50 МДж/м². При заданном сочетании толщин свариваемых материалов такой уровень энергозатрат на пластическую деформацию достигается при $v_c \approx 470$ м/с (для аммонита БЖВ $H = 11$ мм; $h = 1,5$ мм). Если на этих же режимах попытаться получить трехслойную композицию по батарейной схеме, то энерговыделение W_2 на каждой из ее границ составит около 0,9 МДж/м², что подтверждается результатами калориметрирования. Соответственно возрастут и параметры волнового профиля. Учитывая, что W_2 связана квадратичной зависимостью с v_c , значения пос-



ледней необходимо уменьшить как минимум приблизительно 1,4 раза, т. е. до 330...340 м/с.

Снижение значений v_c возможно также двумя способами — уменьшением высоты заряда ВВ H при сохранении зазора h или уменьшением h при сохранении H .

Расчеты показали, что в первом варианте значения H необходимо снизить приблизительно до 7 мм, что для аммонита БЖВ является критическим [10]; во втором — уменьшить h до 0,5...0,7 мм, что также неприемлемо, поскольку при таких значениях h (фаза интенсивного разгона метаемой пластины) незначительное случайное его отклонение от расчетного в ту или иную сторону приводит к существенному изменению v_c (отклонение $h \pm 0,3$ мм влечет соответствующее изменение расчетной скорости соударения $v_c^{\text{расч}}$ приблизительно ± 70 м/с), а также к нарушению геометрии соударения, что является причиной фокусирования кумулятивной струи [11].

Все вместе взятое может вызвать появление дефектов как внутреннего (локальные непровары, чрезмерное количество оплавов и пр.), так и внешнего (прожоги, свищи) характера.

Таким образом, экспериментально доказано, что при сварке взрывом по батарейной и плоскопараллельной схемам энергетические условия формирования соединения металла существенно различаются, если толщина неподвижной пластины $\delta_2 < \delta_{2\text{кр}}$. Так, при сварке взрывом одноименных алюминиевых пластин ($v_c = 630$ м/с, $v_k = 2700$ м/с) при толщине неподвижной пластины $\delta_2 = 2$ мм энергия $W_2^{\text{б}}$, затрачиваемая на пластическое деформирование металла ОШЗ, в случае использования батарейной схемы сварки взрывом более чем в 2 раза превышает соответствующие значение $W_2^{\text{п}}$ при плоскопараллельной схеме. В этом случае для получения трехслойного композита с симметричной плакировкой предпочтительней схема последовательного плакирования ос-

новного металла по традиционной плоскопараллельной схеме. Начиная с определенной толщины неподвижной пластины ($\delta_2 \geq \delta_{2\text{кр}}$), энергетические условия формирования соединения в рассматриваемых схемах сварки становятся одинаковыми. Следовательно, для изготовления трехслойных композиционных материалов экономически и технологически целесообразно применять батарейную схему плакирования. В случае, если существует возможность увеличить толщину неподвижной пластины до $\delta_2 \geq \delta_{2\text{кр}}$, предусмотрев последующую прокатку композита до требуемой толщины, то при выборе технологической схемы изготовления трехслойных композиционных материалов предпочтение следует отдавать батарейной схеме сварки взрывом.

1. Седых В. С., Казак Н. Н. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. — М.: Машиностроение, 1971. — 70 с.
2. Лысак В. И., Кузьмин С. В. Классификация технологических схем сварки металлов взрывом // Свароч. пр-во. — 2002. — № 9. — С. 33–39.
3. Производство слоистых композиционных материалов / А. Г. Кобелев, В. И. Лысак, В. Н. Чернышов и др. — М.: Интермет Инжиниринг, 2002. — 426 с.
4. Седых В. С., Соннов А. П. Расчет энергетического баланса процесса сварки взрывом // Физ. и химия обработки материалов. — 1970. — № 2. — С. 6–13.
5. Седых В. С. Классификация, оценка и связь основных параметров сварки взрывом // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Межвуз. сб. науч. тр. — Волгоград: Волг. политехн. ин-т, 1985. — С. 3–30.
6. Александров Е. В., Соколинский В. Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. — М.: Наука, 1969. — 201 с.
7. Мак Лин Д. Механические свойства металлов. — М.: Металлургия, 1965. — 431 с.
8. Лабораторные работы по сварке / Под ред. Г. А. Николаева. — М.: Высш. шк., 1971. — 320 с.
9. Кузьмин С. В., Чувичлов В. А., Лысак В. И. Временные условия формирования соединения при сварке взрывом // Перспектив. материалы. — 2005. — № 1. — С. 85–91.
10. Лысак В. И., Трыков Ю. П. Детонационные характеристики ВВ для обработки металлов. — Волгоград: Волг. политехн. ин-т, 1984. — 37 с.
11. Особенности процесса сварки взрывом в зонах технологического перегиба свариваемых элементов / А. Н. Кривенцов, В. С. Седых, А. В. Балуев, В. И. Кузьмин // Свароч. пр-во. — 1998. — № 2. — С. 6–10.

The paper analyzes the energy conditions of formation of a joint of lamellar composite materials in explosion welding by the stack and plane-parallel collision schematics. It is established that starting with a certain thickness of a stationary plate, application of the stack cladding schematic is rational in terms of cost and technology.

Поступила в редакцию 17.05.2006,
в окончательном варианте 13.07.2006



СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Ю. С. БОРИСОВ, А. Л. БОРИСОВА, доктора техн. наук, **А. Ю. ТУНИК**, канд. техн. наук,
М. В. КАРПЕЦ, канд. физ.-мат. наук, **В. Г. БОБРИК, С. Г. ВОЙНАРОВИЧ, Е. К. КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы структура и свойства порошков гидроксиапатита отечественного и зарубежного производства методом дифференциального термического анализа, изучены фазовые превращения, происходящие в них при нагреве в нейтральной среде. Определена пригодность этих порошков для нанесения покрытий способом микроплазменного напыления на изделия медицинского назначения.

Ключевые слова: биокерамические материалы, порошки гидроксиапатита, плазменное напыление, покрытие

В последние годы широкое применение в медицинской практике нашли биокерамические материалы в виде покрытий на имплантатах из титана и нержавеющей стали. В качестве материалов для нанесения таких покрытий наиболее часто используют гидроксиапатит (ГАП) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, поскольку он по химическому составу совпадает с минеральной основой живой кости. Прослойка из биокерамического материала позволяет обеспечить прочную связь между костной тканью и материалом имплантата и предотвратить образование мягкой фиброзной прослойки, снижающей качество фиксации имплантата в живом организме.

Одним из способов нанесения покрытий из ГАП или аналогичных биокерамических материалов является плазменное напыление [1–6]. Известно, что параметры исходных порошков — определяющий фактор в технологии плазменного нанесения покрытий, в том числе и биокерамических. Условия формирования покрытий связаны в основном с кинетической и тепловой энергией напыляемых частиц, т. е. с тем запасом энергии, который они приобретают при взаимодействии с плазменной струей. Время пребывания частиц в зоне плазменной струи определяется скоростью их движения, которая в свою очередь является функцией таких свойств частиц, как размер, форма и плотность.

В процессе плазменного напыления в материале, формирующем покрытие, под воздействием нагрева высокотемпературным газовым потоком могут происходить фазовые и структурные превращения, изменяющие его состав и свойства. Степень такого воздействия зависит от условий напыления и характеристик порошка (размера и формы частиц, теплопроводности и пр.) [1].

В ИЭС им. Е. О. Патона работы по нанесению биокерамических покрытий проводятся с применением микроплазменного напыления. Использование в этом случае в качестве плазмообразующего газа аргона вместо смеси $\text{Ar} + \text{H}_2$ позволяет снизить градиент температуры по сечению частиц и избежать опасности их перегрева и разложения ГАП. Кроме того, способ микроплазменного напыления за счет незначительного (1...5 мм) размера пятна напыления позволяет наносить покрытия на изделия малых размеров и экономить расходуемый материал [7, 8].

В условиях микроплазменного напыления важное значение приобретает такое свойство порошка, как текучесть, от которой зависит возможность и стабильность его подачи в плазменную струю за счет собственной массы без применения транспортирующего газа.

В настоящей работе с целью сравнительной оценки порошков ГАП различных производителей выполнено исследование их свойств, которые могут иметь значение в условиях микроплазменного напыления покрытий (пикнометрическая и насыпная плотность, текучесть), а также изучены морфология и микроструктура частиц порошка, его фазовый состав и поведение при нагреве.

Исследованы четыре типа порошков, изготовленных фирмами «Текнимед» (Франция), КАМ (Нидерланды), «Кергап» (Украина) и «Томита» (Япония). При этом использовали методы сканирующей электронной микроскопии, металлографии, рентгеноструктурного фазового анализа (РСФА), рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), дифференциального термического анализа (ДТА), а также стандартные методики определения технологических свойств порошков (пикнометрической и насыпной плотности, текучести).



Свойства и структура порошков ГАП во многом определяются способами их получения. Основными из них являются жидкофазные способы, а также твердофазный и гидротермальный синтезы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Требования, предъявляемые к порошкам ГАП медицинского назначения, лучше всего удовлетворяются при использовании жидкофазного химического синтеза, осуществляемого путем взаимодействия растворимых солей в щелочной среде. Порошки, полученные химическим осаждением, имеют большую площадь поверхности и состоят из однородных по химическому и фазовому составу частичек с регулируемыми размерами (начиная с единиц микрометра). Химическая чистота синтезированного ГАП значительно превосходит чистоту используемых реактивов. При этом исключаются многочисленные механические операции, способствующие загрязнению синтезированного материала [9–11].

Исследованный в настоящей работе отечественный порошок ГАП получен на фирме «Кергап» по технологии, защищенной патентом Украины с учетом целевого применения порошка — микроплазменное напыление покрытий на изделия медицинского назначения (металлические имплантаты). Способ получения этого порошка включает синтез ГАП путем химического осаждения из водных растворов нитрата кальция и гидрофосфата аммония, старение, промывание, отделение и сушку образовавшегося осадка с последующим его измельчением, обкаткой, отсевом частиц мелкой фракции и обжигом [12].

Порошки зарубежного производства (за исключением фирмы «Текнимед») после синтеза химическим осаждением подвергаются дополнительной обработке — агломерированию осадка с помощью распылительной сушки либо плазменной сфероидизации.

Все исследованные порошки, согласно сертификатам, удовлетворяют требованиям стандарта ASTM F1185–88 по содержанию примесей тяжелых металлов (табл. 1). Внешний вид и микроструктура частиц порошков ГАП представлены на

Таблица 1. Сравнительное содержание примесей тяжелых металлов в порошках ГАП

Металл	Требования ASTM F1185–88, млн ⁻¹	Синтезированные порошки ГАП, млн ⁻¹
Мышьяк	3	2,00
Кадмий	5	<0,02
Ртуть	5	<0,15
Свинец	30	<0,45
Сумма тяжелых металлов	50	<4,00

рис. 1, результаты ДТА — на рис. 2, технологические свойства и фазовый состав — в табл. 2, 3.

У порошка ГАП фирмы «Текнимед» частицы имеют осколочную форму и их размеры значительно различаются по осям (рис. 1, а, б). Частицы представлены двумя фракциями — $d_{\text{ч}} = 30...50$ и $50...80$ мкм. Порошки с $d_{\text{ч}} = 50...80$ мкм характеризуются текучестью 120...124 с/50 г, имеют насыпную $1,07 \text{ г/см}^3$ и пикнометрическую плотность частиц $2,99 \text{ г/см}^3$ (табл. 2). Порошки с частицами более мелких фракций ($30...50$ мкм) текучестью не отличаются и склонны к комкованию. Их микротвердость составляет $HV 0,02 (5,20 \pm 0,10)$ ГПа.

Порошок ГАП фирмы «Томига» состоит из частиц сферической формы, представляющих собой конгломераты более мелких частиц (рис. 1, в, г). Его частицы в основном имеют размер $10...40$ мкм, содержание частиц с $d_{\text{ч}} \leq 5$ мкм составляет не более 10 %, их пикнометрическая плотность — $3,08 \text{ г/см}^3$. Структура таких частиц рыхлая, непрочная, они разрушаются при попытке измерить микротвердость.

Порошок ГАП фирмы «Кергап», как и фирмы «Томига», состоит в основном из частиц осколочной формы (рис. 1, д, е). Однако благодаря операции обкатки углы многих частиц сглаживаются, что обеспечивает более высокие текучесть ($68...75$ с/50 г) и насыпную плотность ($1,30 \text{ г/см}^3$) (табл. 2). Пикнометрическая плотность частиц составляет $3,10 \text{ г/см}^3$, а микротвердость — $HV 0,02 (5,40 \pm 0,16)$ ГПа.

Таблица 2. Характеристика порошков ГАП, полученных различными способами

Фирма-производитель	$d_{\text{ч}}$, мкм	Текучесть, с/50 г (ГОСТ 20899–75)	Насыпная плотность, г/см^3 (ГОСТ 19440–74)	Пикнометрическая плотность, г/см^3	$HV 0,02$, ГПа	Ca/P, ат. %
«Текнимед»	30...50	Не течет	$0,95 \pm 0,001$	2,98	$5,20 \pm 0,10$	1,67
	50...80	120...124	$1,07 \pm 0,001$	2,99		1,67
«Томига»	≤ 40	—	—	3,08	—	1,68
«Кергап»	63...80	70...80	—	—	$5,40 \pm 0,16$	1,67
	≤ 63	68...75	$1,30 \pm 0,001$	3,10		1,66
КАМ	≤ 50	Не течет	$1,25 \pm 0,001$	3,20	$5,00 \pm 0,12$	1,67

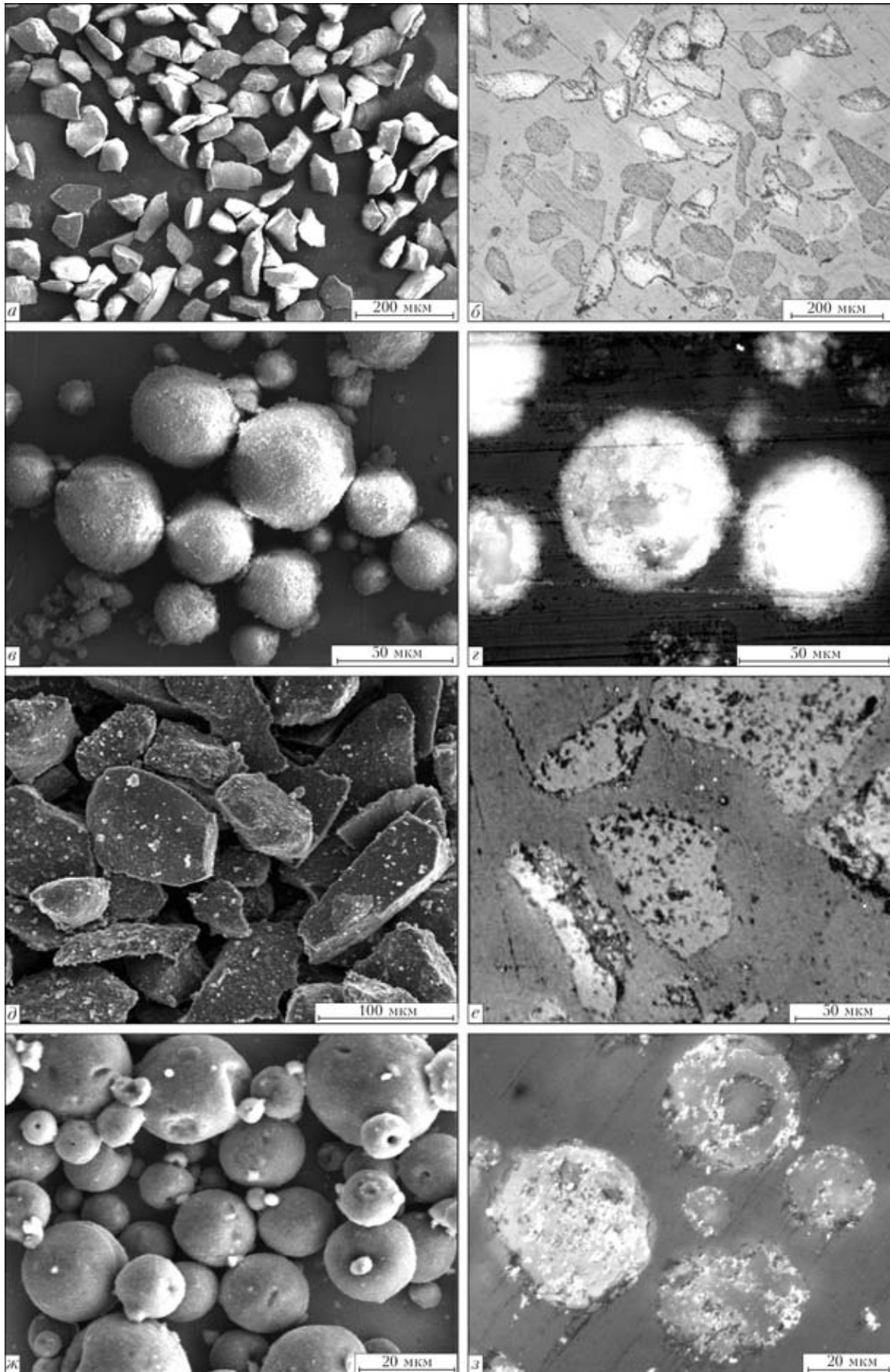


Рис. 1. Внешний вид (а, в, д, ж) и микроструктура (б, г, е, з) частиц порошка ГАП фирмы «Текнимед» ($d_q = 50 \dots 80 \text{ мкм}$) (а, б), «Томита» ($d_q \leq 40 \text{ мкм}$) (в, г), «Кергап» ($d_q = 63 \dots 80 \text{ мкм}$) (д, е), КАМ ($d_q \leq 50 \text{ мкм}$) (ж, з)

Таблица 3. Параметры структуры и содержание кристаллической фазы порошков ГАП

Фирма-производитель	Параметры решетки		Объем ячейки V , нм ³	Содержание кристаллической фазы $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, мас. %
	a , нм	c , нм		
«Текнимед»	0,9420	0,6880	0,5287	100
«Томига»	0,9412	0,6875	0,5275	99
«Кергап»	0,9418	0,6881	0,5286	100
КАМ	0,9409	0,6881	0,5251	100

Примечание. Коэффициент текстуры вдоль кристаллографического направления [001] $t = 1$.

Порошок ГАП фирмы КАМ (рис. 1, ж, з) состоит из сферических частиц с $d_{\text{ч}} < 50$ мкм, текучести он не имеет, хотя, согласно сертификату, содержание в нем частиц с $d_{\text{ч}} < 15$ мкм (что, как правило, влияет на текучесть), невелико (≤ 10 %). В то же время частицы этого порошка характеризуются самой высокой пикнометрической плотностью ($3,20 \text{ г/см}^3$), близкой к теоретической

плотности ГАП ($3,219 \text{ г/см}^3$). Насыпная плотность порошка фирмы КАМ составляет $1,25 \text{ г/см}^3$, а микротвердость его частиц — $(5,00 \pm 0,12) \text{ ГПа}$.

РСФА порошков проводили в монокроматическом $\text{CuK}\alpha$ -излучении на дифрактометре «ДРОН-УМ1». В качестве монокроматора использовали монокристалл графита, установленный на дифрагированном пучке. Дифрактограммы снимали путем шагового сканирования в интервале углов $2\theta = 10 \dots 120^\circ$. Шаг сканирования составлял $0,05^\circ$, время экспозиции — $3 \dots 9$ с. При анализе полученных дифрактограмм, помимо фазового состава (содержания кристаллической фазы $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ и параметров ее решетки, а также примесей других кристаллических или аморфной фаз), определяли также наличие текстуры вдоль различных кристаллографических направлений*, что может оказывать влияние на процессы ресорбции ГАП в условиях живого организма [10].

Анализ данных табл. 3 свидетельствует о том, что все образцы, приготовленные из исходных порошков методом компактирования, не текстурированы ($t = 1$) и представляют собой однофазный кристаллический продукт $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. Только в порошке фирмы «Томига» обнаружены следы CaO ($\leq 0,1$ мас. %). Параметры решетки a , c и объем V элементарной ячейки порошков ГАП отличаются незначительно. Вместе с тем параметры решетки порошка фирмы «Кергап» наиболее точно соответствуют стехиометрическому составу ($a = 0,9418$ нм, $c = 0,6878$ нм) при содержании 39,90 мас. % Ca , 18,5 мас. % P и 3,38 мас. % OH [13].

Согласно сертификатам, все исследованные порошки по содержанию вредных примесей (менее 50 млн^{-1}) удовлетворяют требованиям стандартов ASTM F1185–88. По данным РСМА, отношение Ca/P составило 1,68 (порошки фирмы «Томига»), 1,67 («Текнимед»), 1,66...1,67 («Кергап») и 1,67 ат. % (КАМ).

Проверка текучести порошков ГАП в условиях подачи порошковым дозатором, которым комплектуется микроплазменная установка МПН-004, показала, что при применении вибратора все порошки ГАП, кроме представленного фирмой КАМ, отличаются достаточно стабильной подачей из дозатора.

Для оценки поведения порошков ГАП при нагреве проведен ДТА. Нагрев осуществляли в атмосфере гелия при давлении 5 МПа и температуре от 20 до 1750°C со скоростью 80°C/мин . Результаты анализа представлены на рис. 5. Характер дифференциальных термических кривых для всех видов исследуемых порошков, за исключением порошка фирмы «Томига», практически иденти-

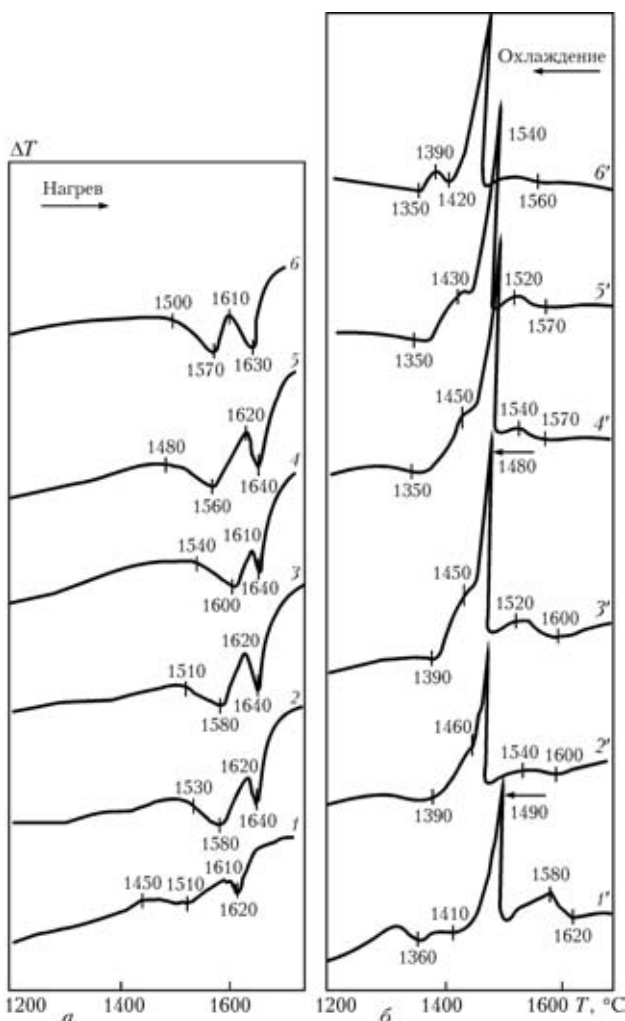


Рис. 2. Дифференциальные термические кривые нагрева (а) и охлаждения (б) порошков ГАП фирм «Томига» $d_{\text{ч}} \leq 40$ мкм (1, 1'), «Кергап» $d_{\text{ч}} = 63 \dots 80$ мкм (2) и $d_{\text{ч}} \leq 63$ мкм (3, 3'), «Текнимед» $d_{\text{ч}} = 50 \dots 80$ мкм (4, 4') и $d_{\text{ч}} = 30 \dots 50$ мкм (5, 5'), КАМ $d_{\text{ч}} \leq 50$ мкм (6, 6')

*Установлено, что в живой кости формируется текстура вдоль направления [001].



чен. На кривых нагрева 2–6 (рис. 2) наблюдается два эндотермических эффекта в близких температурных интервалах их протекания, а на кривых охлаждения 2'–6' — экзотермические эффекты кристаллизации с пиками: при 1520...1540 °С происходит выделение СаО, при 1480 °С образуется α -Са₃(РО₄)₂, а при температуре ниже 1460 °С — β -Са₃(РО₄)₂. Данные ДТА о порошках фирмы «Томита» (кривые 1, 1' на рис. 2) несколько отличаются от указанных выше как при нагреве, так и при охлаждении, что позволяет предполагать наличие некоторых особенностей в структурно-фазовом составе этого материала. Так, при нагреве первый эндотермический эффект сильно сглажен, второй выражен менее значительно и сдвинут на 20 °С в сторону более низких (1620 °С) температур. На кривой охлаждения экзотермический эффект при 1460 °С отсутствует. Состав продуктов ДТА порошков ГАП также отличается. В первом случае — α -Са₃(РО₄)₂ и β -Са₃(РО₄)₂, а во втором — α -Са₃(РО₄)₂ только для порошка «Томита». Отличия в этих характеристиках могут влиять на структуру и фазовый состав напыленных покрытий.

Выводы

1. Разработанная фирмой «Кергап» технология получения порошка ГАП, предназначенного для условий микроплазменного напыления, обеспечивает повышенную текучесть 70...80 с/50 г, что способствует стабильности подачи порошка дозатором установки МПН-004.

2. Порошки, изготовленные фирмами «Текнимед», «Томита», «Кергап» и КАМ, имеют содержание ГАП не менее 99 % при Са/Р = 1,66...1,68 ат. % и низкое содержание вредных примесей, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к составу порошков ГАП, предназначенных для получения биокерамических покрытий.

3. Текучесть порошков фирмы «Текнимед» ($d_{\text{ч}} = 50...80$ мкм) и «Кергап» ($d_{\text{ч}} = 63...80$ и ≤ 63 мкм) составляет 70...124 с/50 г. Остальные порошки текучести в указанных условиях не имеют. Испытания ГАП в условиях подачи порошковым дозатором установки МПН-004 с применением вибрации подтвердили возможность их использования при микроплазменном напылении.

1. Khor K. A., Cheang P. Effect of powder Feedstock on thermal sprayed hydroxyapatite coatings // Proc. 7th Nat. thermal spray conf., June 20–24, 1994, Boston, Massachusetts. — Boston, 1994. — P. 147–152.
2. Gross K. A., Berndt C. C. Thermal processing of hydroxyapatite for coating production // J. Biomed. Mater. Res. — 1998. — 39, № 4. — P. 580–587.
3. Gross K. A., Berndt C. C., Herman H. A. Amorphous phase formation in plasma-sprayed hydroxyapatite coating // Ibid. — 39, № 3. — P. 407–411.
4. Oh K. T., Park Y. S. Plasma-sprayed coating of hydroxyapatite on super austenitic stainless steel // Surface and Coatings Technology. — 1998. — 110. — P. 4–12.
5. Калита В. И. Физика и химия формирования биоинертных и биоактивных поверхностей на имплантатах // Физ. и химия обработка металлов. — 2000. — № 5. — С. 28–45.
6. In vivo evaluation of plasma sprayed hydroxyapatite coating having different crystallinity / W. Xue, S. Tao, X. Liu et al. // Biomaterials. — 2004. — 25. — P. 415–421.
7. Микроплазменное напыление биокерамических покрытий / Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, В. Г. Бобрик и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 12. — С. 63–67.
8. Исследование биокерамических покрытий, полученных микроплазменным напылением / Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, Н. В. Ульянович и др. // Там же. — 2002. — № 9. — С. 6–8.
9. Cheang P., Khor K. A. Bioceramic powders and coatings by thermal spray techniques // Proc. of ITSC'95, Kobe, August, 1995. — Vol. 2. — P. 181–186.
10. Каназава Т. Неорганические фосфатные материалы. — Киев: Наук. думка, 1998. — 297 с.
11. LeGeros R. Z., LeGeros J. P. Calcium phosphate biomaterials: preparation, properties, and biodegradation // Encyclopedic handbook of biomaterials and bioengineering. — 1995. — Vol. 2. — P. 1429–1463.
12. Пат. 19491 UA, A, COI F 11/02; A 61 K 6/033. Спосіб одержання порошку гідроксилапатиту для плазмового напылення / В. А. Дубок, Н. В. Ульянович, Ю. М. Крючков та ін. — Опубл. 23.12.93.
13. Шнак А. П., Карбовский В. Л., Трачевский В. В. Апатиты. — Киев: Академперіодика, 2002. — 414 с.

Structure and properties of domestic and foreign hydroxyapatite powders were studied by the method of differential thermal analysis. Phase transformations occurring in the powders during heating in neutral environment were investigated. Suitability of the powders for deposition of coatings on medical-application parts by microplasma spraying was proved.

Поступила в редакцию 27.06.2006

КОНСТРУИРОВАТЬ ИЗОБРЕТАЯ

А. А. МОЗЖУХИН, главный конструктор проекта (ОКТБ Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)



В марте 2007 г. исполняется 90 лет со дня рождения крупнейшего конструктора сварочного оборудования, заслуженного изобретателя Украины Владимира Евгеньевича Патона. Память об этом замечательном человеке хранит удивительное разнообразие черт его характера, которые гармонично объединяют его профессиональный талант с личным обаянием и ярким

проявлением круга непрофессиональных интересов. Такая гармония характерна для неординарных личностей, к которым, безусловно, относился В. Е. Патон.

Можно многое написать о его заслугах в области создания сварочной техники, полученных им правительственных наградах, государственных премиях, почетных званиях и международной известности. Но об этом уже написано немало. Но главное наследство учителя — его ученики. Не всегда они способны принять эстафету и достойно продолжить его дело. Владимиру Евгеньевичу повезло, и сегодня мы публикуем воспоминания одного из его преемников.

Владимир Евгеньевич Патон для большинства коллег, а особенно для конструкторов, непосредственно контактировавших с ним по работе, был безусловным образцом для подражания. В нем удивительно сочетались профессиональная культура истинного творца с незаурядным человеческим обаянием. Тем же, кому повезло общаться с ним за пределами профессиональных отношений, он виделся большим другом и кумиром. Наиболее яркие, незабываемые впечатления, конечно, оставляла охота с его участием. Вот где вы могли ощутить всю его непосредственность, почувствовать истинное дружелюбие вперемешку с колючим юмором. Этот юмор заражал всех весельем и оставался навсегда в сердцах его соратников.

Но сотрудничество в профессиональной области было основой нашей жизни. Его смелые технические решения, начиная от одномоторного трактора ТС-17, всегда были ориентиром в поиске оптимальных конструкторских

решений. Для меня лично этот пример был исходным во многих моих разработках. Так, я поставил себе дерзкую задачу создать машины на порядок меньшей массы и трудоемкости изготовления, чем известные прототипы. Одной из таких машин стал манипулятор ОБ1020. В начале 1960-х годов мне пришлось конструировать стенд для ТС-17 (подвесной вариант), который все любили называть перевернутым. Стенд (рис. 1) понравился Владимиру Евгеньевичу, он позволял благодаря поворотной средней части варить «на подъем-спуск» и «в лодочку», однако для сварки тел вращения приспособлений не имел. Затем мне в голову пришла мысль попробовать сделать к этому стенду манипулятор грузоподъемностью 60 кг (наиболее востребованной) и массой тоже 60 кг, чтобы можно было его использовать как настольный и убирать при ненадобности. Серийные манипуляторы, выпускавшиеся в то время с грузоподъемностью 60 кг, весили 600 кг. Тщательный расчет до предельных напряжений, оптимальная конструкция и компоновка позволили сделать такой манипулятор, который быстро завоевал поклонников и в институте, и за его пределами. Его особенностью (рис. 2) явилось создание четырехскоростной коробки передач (без сменных шестерен), которая обеспечила возможность сварки кольцевых швов в широком диапазоне скоростей на диаметрах от 20 до 500 мм. Компактный механизм удалось создать благодаря изобретению оригинального устройства переключения скоростей и способа его изготовления. Отличался манипулятор оригинальностью и своим внешним видом.

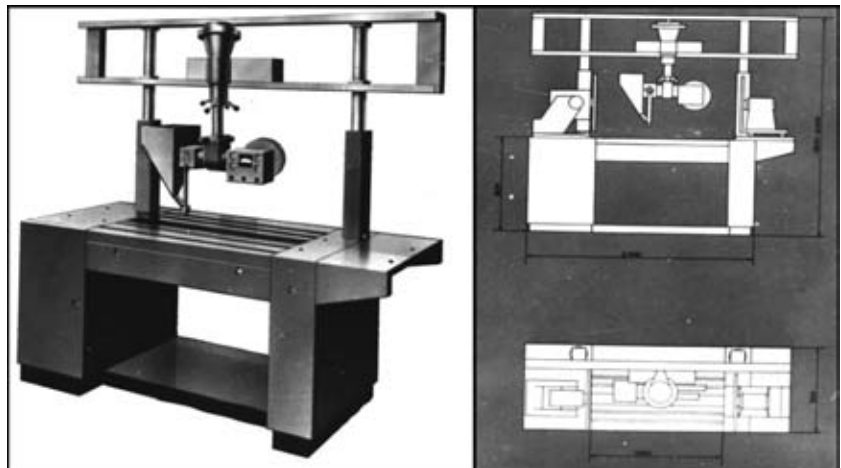


Рис. 1. Стенд ОБ1003 для трактора ТС-17П

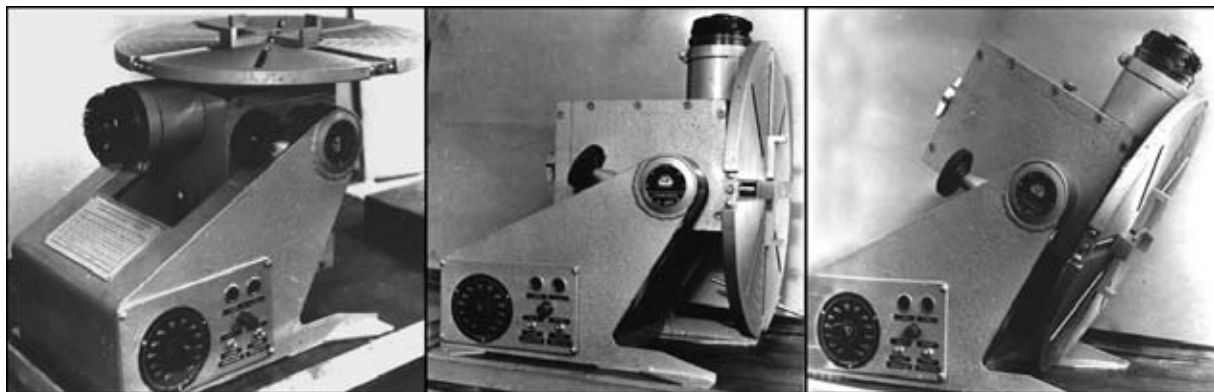


Рис. 2. Настольный манипулятор ОБ1020

В. Е. Патон был одним из первых, кто активно пропагандировал среди коллег необходимость создания эстетичных конструкций, заставляющих думать не только о функциональной работоспособности оборудования, но и о его форме. Это дало толчок к поиску новых решений «без болтов и фланцев, как в прошлом веке». И машины изменились, в их облике появилась машиностроительная архитектура.

Красота стала потребностью, которая инициировала появление нового подразделения в структуре ОКТБ — отдела технической эстетики. В нем, как и во многих появившихся тогда подобных учреждениях, в основном работали художники. Но среди них попадались и профессиональные конструкторы, которые в душе были художниками, что, по сути, говорит о связи этих видов творчества. Таким был В. Т. Мишель — конструктор, переквалифицировавшийся в дизайнера. Работая над архитектурным образом машин других авторов, он не раз делал их не только красивыми, но и попутно улучшал их конструктивные и функциональные достоинства. И разработ-

чики всегда с благодарностью принимали предложенные им интересные решения.

В отделе получил воплощение еще один тезис В. Е. Патона — не только создать новую продукцию, но и уделять внимание ее рекламе для широкого распространения. Это подтолкнуло нас к публикациям о наших разработках и выпуску красочных стендов для промышленных выставок. Помню, как сбегались сотрудники со всего института посмотреть на стенд, сделанный по моему заказу Надеждой Малиночкой, рекламирующих станки для наплавки клапанов. Это был впечатляющий образец показа достоинств машин художественными средствами, воздействующими на зрителя как настоящее произведение искусства. Стенд успел побывать только на двух демонстрациях и, к сожалению, был похищен. Он мог бы занять достойное место в институтском музее.

Новое оборудование, реализующее технологические достижения института в сочетании с техническим совершенством разработанных на базе изобретений механизмов и устройств, вызвало настоящую лавину заказов на нашу продукцию.

В конце 1960 — начале 1970-х годов были созданы первые в мире станки-автоматы и автоматические линии для производства клапанов карбюраторных и дизельных двигателей, наплавленных жаростойким сплавом (рис. 3). Здесь также был реализован принцип: на порядок снизить трудоемкость изготовления и металлоемкость нового оборудования по сравнению с ближайшими аналогами. Первыми были созданы станки-автоматы ОБ1099 с механическими автооператорами, где одним движением «руки» манипулятора осуществлялась сборка заготовки клапана с кольцом из жаростойкого сплава, ориентация их и подача на наплавку в индуктор. Они обеспечивали производительность наплавки на АвтоВАЗе (рис. 4) 240 клапанов в час, в то время как на итальянском оборудовании сварщики высшего разряда вручную едва наплавляли 90 шт. в час.



Рис. 3. В. Е. Патон, М. Г. Бельфор, В. Ф. Мошкин и А. И. Чвертко возле установки ОБ1038 для наплавки клапанов ДВС на международной промышленной выставке

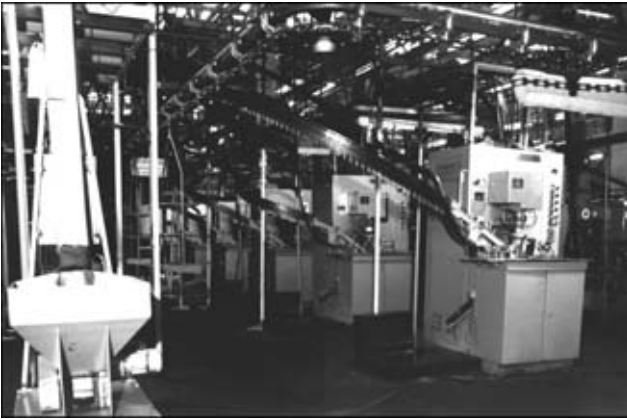


Рис. 4. Станки-автоматы ОБ1099 в линии наплавки клапанов на АвтоВАЗе

Наши шесть автоматов с одним элеватором подачи колец в линии (вместо предусмотренных по проекту фирмой «Фиат» 29-ти итальянских станков фирмы «Джустина») обеспечили годовую производительность 5 млн клапанов «Жигулей».

Генеральный проектант КамАЗа французская фирма «Рено» включила в проект завода двигателей КамАЗ только одну советскую позицию: автоматическую линию ОБ1082 (рис. 5) по производству наплавленных клапанов дизелей. В составе линии работали 8 станков-автоматов ОБ1100, элеватор ОБ1081 ориентации и раздачи наплавочных колец по станкам, конвейер подачи колец и другие устройства. За 10 лет работы этого оборудования не было случая, чтобы из-за него останавливался бы главный конвейер (по причине задержки выпуска деталей), в то время как не было ни одной иностранной фирмы-поставщика оборудования на этот завод, из-за которого не останавливался главный конвейер. И, тем не менее, мы все время работали над поиском новых решений. На смену станкам-автоматам с механическими манипуляторами пришли станки с гравитационными автооператорами. Перемещение клапанов и колец в накопители до отсекателей поштучной выдачи их, дальнейшая подача их на сборку и сама сборка выполнялись за счет силы тяжести. Десятки изобретений легли в основу этой качественно новой техники.

В этом оборудовании впервые в практике ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона электроблоки были полностью выполнены на бесконтактных элементах. В условиях запыленности строящихся заводов зарубежное оборудование часто выходило из строя из-за отказов контактов реле. Наша линия, к большому удивлению иностранных специалистов, работала безотказно. Автором электрической части был В. Л. Найда. Много труда и изобретательности вложили в эту работу Л. С. Язвинский, А. Д. Сучек, О. Р. Кожема, А. Ф. Марченко и др.

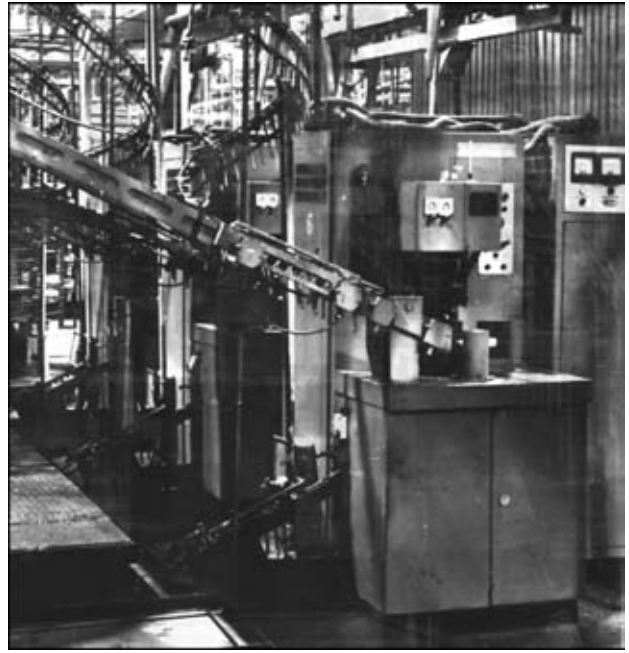


Рис. 5. Автоматическая линия ОБ1082 по производству наплавленных дизельных клапанов на КамАЗе

Стоит отметить, что когда у нас на многих заводах автомобильной, тракторной, тепловозной, судостроительной, военной отраслей уже работали станки-автоматы и автоматические линии по производству наплавленных клапанов, за границей еще 15 лет «бились» над созданием своих автоматов.

В то же время возрос интерес к нашей продукции и за рубежом. При строительстве автозавода в г. Бельско-Бяла в Польше генеральный проектант итальянская фирма «Фиат» включила в проект завода наши установки для наплавки клапанов. Они предназначались не только для выпуска клапанов польских автомобилей, но и для многих других иномарок.

Начиная с 1970-х годов, наше оборудование входило составной частью в лицензионные соглашения на передачу за рубеж. Большой интерес был проявлен к оборудованию для производства сварочных и наплавочных материалов. Хорошо зарекомендовали себя станы для производства порошковых проволок и лент типа ОБ1252, ОБ1367, ОБ2141. В эти разработки большой вклад внесли конструкторы И. П. Каплиенко, К. Н. Минаев, И. Э. Павловская и др. Много оригинальных технических решений было создано на основе изобретений. Интересно отметить, что конструкторы нередко были не только изобретателями машин для производства материалов, но и сами участвовали в изобретении новых конструкций порошковых проволок и лент, а также осуществляли их патентную защиту.

К лицензионной тематике относилось и оборудование для сварки и обработки изделий взрывом. Установки типа ОБ1087 и 2200 (рис. 6) ус-

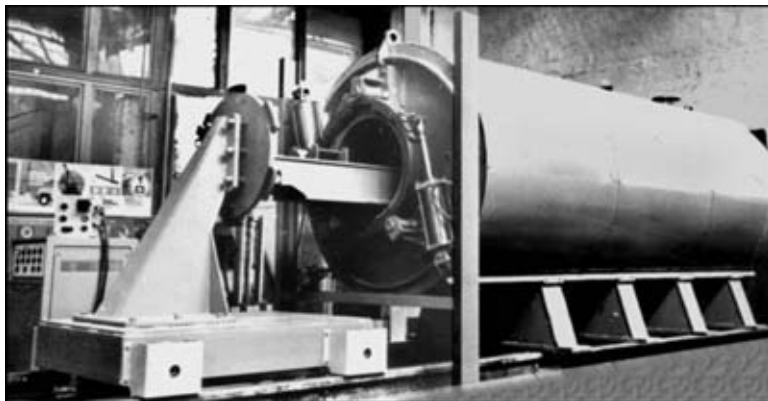


Рис. 6. Установка ОБ2200 для сварки взрывом

пешно выпускали сваренные взрывом сталеалюминиевые катодные штыри электролизеров алюминия, которые сегодня работают в Сибири и Африке. Большой комплекс оборудования был разработан и поставлен для сварки корпусов ракет, обработки взрывом изделий и для производства специализированных взрывчатых материалов. Как заместитель начальника ОКТБ В. Е. Патон часто проводил совещания, на которых рассматривались наши проекты, и нередко его замечания и советы определяли их дальнейшую судьбу.

Кстати, у Владимира Евгеньевича мы учились не только работать, но и отдыхать. Чем только не увлекались наши сотрудники. Ревущие картины создавались в ИЭС и обкатывались прямо во дворе между корпусами института. Туристы прошли Урал, Сибирь и добрались до Дальнего Востока. Аквалангисты побеждали на первенстве г. Киева по подводному спорту и плавали в Тихом океане, Беринговом и Японском морях, отлавливали и переселяли каланов на Командорских островах. При этом сочиняли стихи и песни, выступали на популярных тогда состязаниях бардов. И конечно же, снимали кинофильмы и показывали их не только в Доме ученых, но и на конкурсах,

где получали дипломы лауреатов. Один из первых любительских кинофильмов был посвящен 10-летию ОКТБ и назывался «10-я весна». Снятый на 16-миллиметровую пленку с магнитной звуковой дорожкой он был звуковым и запечатлел наших конструкторов и их творения на заводах страны. Там показаны и сварочные тракторы на Ждановтяжмаше, «отцом» которых был В. Е. Патон, и трубосварочные станы на Челябинском трубопрокатном, над которыми немало потрудились А. И. Четвертко и В. Ф. Мошкин, и наш вклад в спецэлектрометаллургию, где немало труда А. И. Некрасова, В. А. Пратковского, Н. В. Рейды, и многое еще... Но главное, там показаны люди, многих из которых уже нет среди нас.

В короткой статье невозможно описать все разнообразие технического воплощения творческих находок наследников Владимира Евгеньевича Патона и их последующее развитие. А созданы были сотни замечательных машин, которые тысячами производились нашими и зарубежными заводами и отправлялись на все континенты мира. Я коснулся только того, к чему имел непосредственное отношение при В. Е. Патоне, но все равно не смог охватить очень многого. В эту статью не попали камерные установки для сварки и наплавки в вакууме и защитных средах (среди которых первая установка для исследования сварки в «глубоком» вакууме). Не попали приборы и вспомогательное сварочное оборудование, оборудование для нанесения упрочняющих и защитных покрытий, оборудование для неразрушающего контроля, которым я занимался последние 10 лет. Но все 45 лет работы в ИЭС им. Е. О. Патона я прожил по завету Владимира Евгеньевича: конструировать изобретая!

МАТЕРИАЛЫ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

И. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук, **Ю. М. КУСКОВ**, д-р техн. наук, **И. А. КОНДРАТЬЕВ**, **Я. П. ЧЕРНЯК**,
И. И. РЯБЦЕВ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изложен накопленный в ИЭС им. Е. О. Патона опыт по разработке материалов, технологий и техники восстановительной и изготовительной дуговой наплавки деталей различных машин и механизмов. Основное внимание уделено энергосберегающим материалам и технологиям, позволяющим выполнять наплавку деталей из углеродистых сталей без или с минимальным подогревом.

Ключевые слова: дуговая наплавка, энергосберегающие технологии, наплавочные материалы, порошковые проволоки

Наплавка является одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов восстановления изношенных деталей или придания особых свойств новым деталям. Нанесение на их повреждаемые поверхности слоев металла специального легирования обеспечивает высокую стойкость к различным видам изнашивания. При наплавке нередко соединяют разнородные материалы, один из которых, как правило, удовлетворительно или плохо сваривается и имеет пониженную трещиностойкость. Для борьбы с трещинами применяют наплавку подслоя из пластичных сталей, а также предварительный и сопутствующий подогрев, при этом после наплавки необходимо обеспечить замедленное охлаждение детали. Указанные меры требуют дополнительных материальных и энергетических затрат, кроме того, рост цен на энергоносители снижает эффективность применения наплавки.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны наплавочные материалы с хорошими сварочно-технологическими свойствами, в частности, не требующие предварительного подогрева при наплавке деталей из углеродистых сталей. Металл, наплавленный этими материалами, отличается высокими эксплуатационными свойствами в части абразивной, термической, коррозионной стойкости и др. В числе новых наплавочных материалов широко применяют порошковую проволоку ПП-АН202 для наплавки деталей из средне- и высокоуглеродистых сталей без подогрева. Наплавленный металл, полученный с применением этой проволоки, соответствует низкоуглеродистой высоколегированной хромомарганцевой стали, для которой характерна высокая износостойкость в условиях трения металла по металлу с прослойкой абразива.

Наплавленный металл упрочняется в результате воздействия высоких контактных нагрузок, что еще больше увеличивает его износостойкость.

Новые порошковые проволоки ПП-АН193 и ПП-АН204 обеспечивают получение наплавленного металла типа мартенситностареющих сталей, отличающихся высокой твердостью, термической стойкостью и износостойкостью при трении металла по металлу при повышенных температурах. Этими проволоками можно наплавлять без подогрева штампы и штамповую оснастку из инструментальных сталей типа 50ХНМ, 25Х5ФМС для горячего и холодного деформирования металлов.

Для наплавки крупногабаритных корпусных деталей из среднеуглеродистых сталей без подогрева разработана порошковая проволока ПП-АН198. Полученный при ее использовании наплавленный металл отличается удовлетворительной трещиностойкостью и имеет показатели прочности на уровне конструкционных сталей типа стали 35 и др.

Разрабатываются экономнолегированные наплавочные материалы (суммарное содержание легирующих элементов составляет не более 5 мас. %) с триботехническими характеристиками на уровне высоколегированных наплавочных материалов. Так, металл, наплавленный экономнолегированной порошковой проволокой ПП-АН194, имеет износостойкость в 2...3 раза выше, чем у ранее разработанных наплавочных материалов с аналогичным уровнем легирования. Такие показатели износостойкости достигаются за счет формирования в наплавленном металле микроструктур, отвечающих принципу Шарпи: отдельные твердые включения с низким коэффициентом трения и малой склонностью к задирам располагаются в пластичной матрице.

С применением упомянутых материалов разработаны технологии наплавки ответственных де-

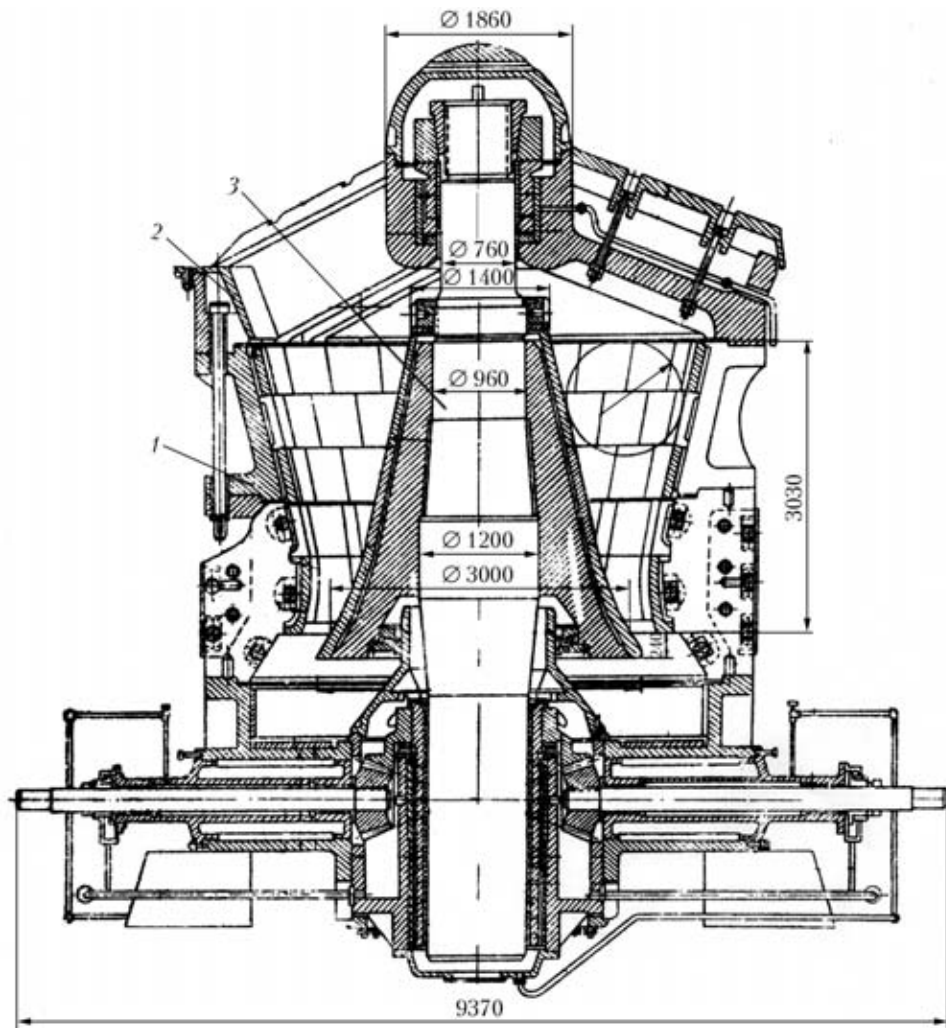


Рис. 1. Схема конусной дробилки: 1 — станина; 2 — корпус кольца; 3 — вал

талей оборудования горно-обогатительных комбинатов Украины. Работы проводили совместно с ПКФ «Укркомплект», ООО «Альянс ГРУП», ДП «Кривбасстехмаш» и другими предприятиями, на которых восстанавливали корпусные детали (станина и корпус кольца) конусных дробилок (рис. 1, 2), валы дробящих конусов конусных дробилок (рис. 3), зубчатые венцы шаровых мельниц размола руды (рис. 4), корпуса тележек обжиговых машин для производства окатышей и пр. [1, 2].

Для восстановления станины и корпуса кольца из стали 35 использовали полуавтоматическую наплавку порошковой проволокой ПП-АН198. Наплавку изношенных поверхностей станины выполняли по отдельным секторам в несколько слоев. При необходимости для установки наплавляемой поверхности в удобное для наплавки положение осуществляли кантовку станины. Общее время наплавки одной станины составляло 17 сут, при этом израсходовали более 600 кг порошковой проволоки. Механическая обработка наплавленных поверхностей станины трудностей не вызвала, что особенно важно при обработке деталей больших размеров. После механической обработ-

ки на наплавленных поверхностях дефектов обнаружено не было.

Аналогично выполняли наплавку корпуса кольца: сначала его торцевой поверхности по секторам в два слоя, а затем — конических и вертикальных поверхностей кольца, контактирующих с соответствующими поверхностями станины. Наплавку изношенных или разрушенных витков упорной резьбы начинали выполнять с горизонтального участка витка по секторам. При необходимости на некоторых участках резьбы с помощью медных пластин выполняли подформовку наплавленного металла. Общая масса порошковой проволоки, израсходованной при наплавке корпуса кольца, превысила 500 кг. Качество и обработка наплавленного металла были аналогичны полученным при наплавке станины.

Большие сложности возникли при разработке технологии наплавки вала дробящего конуса, изготовленного из стали 40 либо низколегированной стали типа 34ХНМ (рис. 3). Износ (до 10...12 мм на сторону) происходил в зоне контакта верхней цилиндрической части вала с бронзовой втулкой в результате попадания в зазор между ними пыли

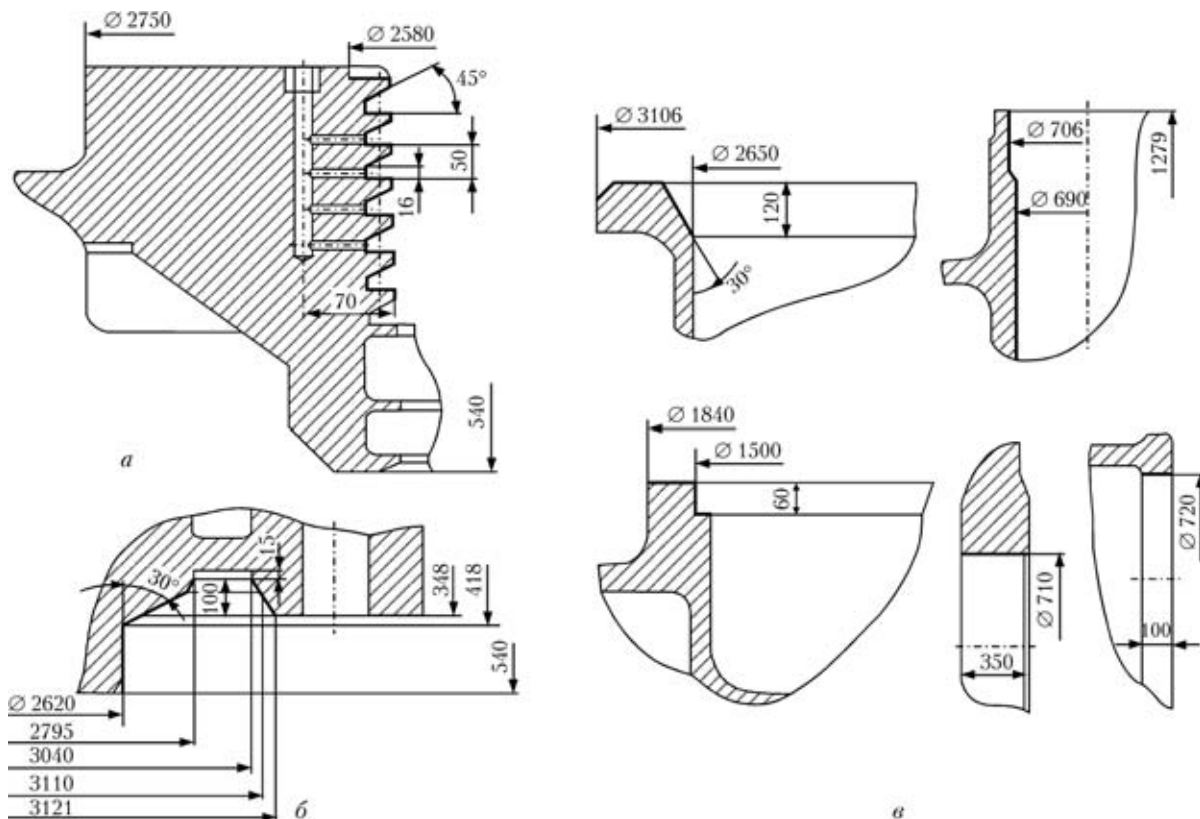


Рис. 2. Наплавляемые поверхности (жирные линии) корпуса кольца (а, б) и станины конусной дробилки (в)

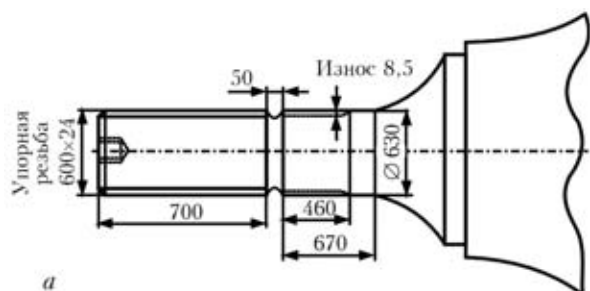


Рис. 3. Восстановление вала конусной дробилки дуговой наплавкой: а — схема восстанавливаемых поверхностей конуса; б — полуавтоматическая наплавка изношенной поверхности конуса

с повышенными абразивными свойствами. При эксплуатации выходила из строя и часть вала с упорной резьбой, на которой подвешен конус. При этом в результате усталостных процессов проис-

ходили сколы отдельных витков резьбы (модули резьбы в диапазоне 40...50) или локальное разрушение нескольких ее витков.

Перед наплавкой восстанавливаемые участки подвергали ультразвуковому контролю. При наличии трещин усталостного происхождения их обязательно удаляли путем механической обработки абразивными кругами. Для наплавки использовали самозащитные порошковые проволоки марок ПП-АН198 и ПП-АН202. Изношенную цилиндрическую часть конуса наплавляли порошковой проволокой ПП-АН198, а более нагруженную резьбовую — высоколегированной проволокой ПП-АН202. Твердость наплавленного металла составляла не более *HRC* 30, что не вызывает затруднений при механической обработке с помощью специального оборудования. Качество обработанной поверхности наплавленного металла оценивали с помощью ультразвукового контроля. Затраты на восстановление валов конусов не превышали 30 % стоимости новых изделий при одинаковом сроке эксплуатации.

Совместно с ПКФ «Укркомплент» разработана технология наплавки изношенных зубьев венца привода вращения шаровой мельницы: модуль зубьев — 20; число зубьев — 268; длина зубьев — 800 мм; угол наклона зуба — 5°15'; наружный диаметр венца — 5410 мм; количество секторов — 2; общая масса двух секторов венца 16,5 т (рис. 4). Полуавтоматическую наплавку зубьев выполняли порошковой проволокой ПП-АН198 в

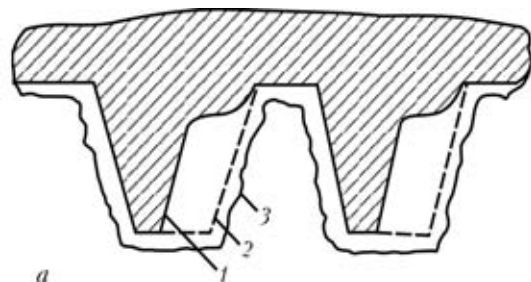


Рис. 4. Схема восстановления двух секторов зубчатого венца шаровой мельницы (а) и внешний вид восстановленных секторов (б): 1 — профиль изношенного зуба; 2, 3 — профиль наплавленного зуба соответственно после механической обработки и наплавки

непрерывном режиме. С учетом условий работы зубьев венца наплавку осуществляли с предварительным местным подогревом до 150...200 °С. Сначала наплавляли торцы зубьев, а последующую наплавку осуществляли вдоль образующей зуба обратноступенчатым способом. Общее время наплавки двух секторов зубчатого венца составило 27 сут, расход порошковой проволоки — 2350 кг. Всего было наплавлено и обработано три зубчатых венца.

Масса корпуса тележек обжиговых машин из стали 14ХМТЛ приблизительно равна 5 т, длина — около 4 м. Тележки собирают в замкнутую агломерационную ленту, на которой находятся обжигаемые доменные окатыши. Основной причиной выхода тележек из строя является деформация их боковых балок вследствие неравномерного нагрева. Внешний осмотр вышедших из строя корпусов 70 тележек показал, что окалина на них практически отсутствует, не обнаружены также усталостные трещины.

С учетом причин выхода тележек из строя для их наплавки использовали самозащитную порош-



Рис. 5. Полуавтоматическая наплавка зубчатого кольца опорно-поворотного устройства крана МКТ-250

ковую проволоку ПП-АН198. В зависимости от прогиба выбирали количество наплавляемых слоев. После наплавки каждого слоя выполняли механическую зачистку наплавленной поверхности абразивными кругами. После завершения наплавки механическим способом зачищали наплавленную поверхность по всей длине балки, обеспечивая при этом зазор между наплавленной поверхностью и специальным шаблоном не более 1...2 мм. Общее количество металла, наплавленного на один корпус тележки, составляло 110...120 кг. По предложенной технологии было наплавлено более 70 шт. тележек.

Совместно с ООО «Центрстальконструкция» и ГП СУ-39 выполнена наплавка опорно-поворотного устройства (ОПУ) уникального крана МКТ-250 (рис. 5), который позволяет производить монтаж конструкций массой до 250 т на высоте 57 м [3]. По своей конструкции ОПУ представляет собой крупногабаритный радиально-упорный роликовый подшипник большой массы (масса зубчатого кольца ОПУ достигает 1,5 т, средний диаметр — 3 м). Детали ОПУ изготовлены из высокоуглеродистых низколегированных сталей марок 50Х и 50ХГМ.

С помощью внешнего осмотра и метода цветной и ультразвуковой дефектоскопии установлено, что поверхности катания зубчатого и соединительного колец ОПУ подвержены механическому и усталостному износу беговых дорожек вследствие многократного передеформирования одних и тех же объемов металла. Для наплавки обоих колец использовали самозащитную порошковую проволоку ПП-АН202 диаметром 2 мм.

Все поверхности катания, подлежащие наплавке, оценивали с помощью ультразвуковой и цветной дефектоскопии; обнаруженные дефекты удаляли путем механической обработки. В связи с высоким содержанием углерода в основном металле перед наплавкой наплавляемые участки ко-



Рис. 6. Наплавленный вал привода эскалатора метрополитена

лец подогревали газовыми горелками до температуры 120...150 °С. Восстанавливаемые поверхности наплавляли по секторам, длина дуги при этом (по наружному диаметру) составляла примерно 200...250 мм. Наплавку колец выполняли одновременно два сварщика (наплавщика) на диаметрально противоположных участках при горизонтальном (или близком к нему) расположении наплавляемых поверхностей в удобном для наплавки положении. Наплавку осуществляли в две смены на протяжении семи дней, после чего наплавленные кольца подвергали замедленному охлаждению. Затем выполняли механическую обработку наплавленных колец ОПУ. При ультразвуковом и капиллярном контроле дефектов в наплавленном слое обнаружено не было. Наплавленные детали ОПУ установлены на кране МКТ-250, который в настоящее время успешно эксплуатируется.

Для наплавки изношенных валов приводов эскалаторов Киевского метрополитена без подъема их на поверхность разработана установка, позволяющая выполнять автоматическую наплавку и механическую обработку валов до и после наплавки (рис. 6). Валы изготовлены из углеродистых конструкционных сталей. Для их наплавки без подогрева используют порошковую проволоку ПП-АН202 диаметром 2 мм. Износ вала, как правило, невелик, поэтому наплавку осуществляют в один слой.

С использованием новой экономнолегированной порошковой проволоки ПП-АН194, обеспечивающей получение наплавленного металла с повышенными триботехническими характеристиками [4], разработаны технологии автоматической наплавки деталей, работающих в условиях сухого трения металла по металлу — крановых колес (рис. 7), катушек шнеков диффузионных аппаратов сахарных заводов и др.

Для изготовительной и восстановительной наплавки штоков шахтных гидрокрепей проходческих комбайнов, плунжеров гидропрессов и других деталей разработана порошковая проволока ПП-Нп-30Х20МН. Металл, полученный при наплавке этой проволокой, имеет мартенситно-ферритную структуру и твердость $HRC\ 42...45$. Он характеризуется достаточно высокой коррозионной стойкостью в водно-солевой среде, а также стойкостью против изнашивания при трении металла по металлу. Износ штоков гидрокрепей не превышает десятых долей миллиметра. Для их восстановления разработана технология автоматической однослойной дуговой наплавки, толщина наплавленного слоя составляет 0,5...1,0 мм. Применение наплавки позволило исключить такую операцию, как хромирование штоков.

С использованием ранее созданных порошковых проволок разработаны технологии наплавки деталей, эксплуатирующихся в условиях ударно-

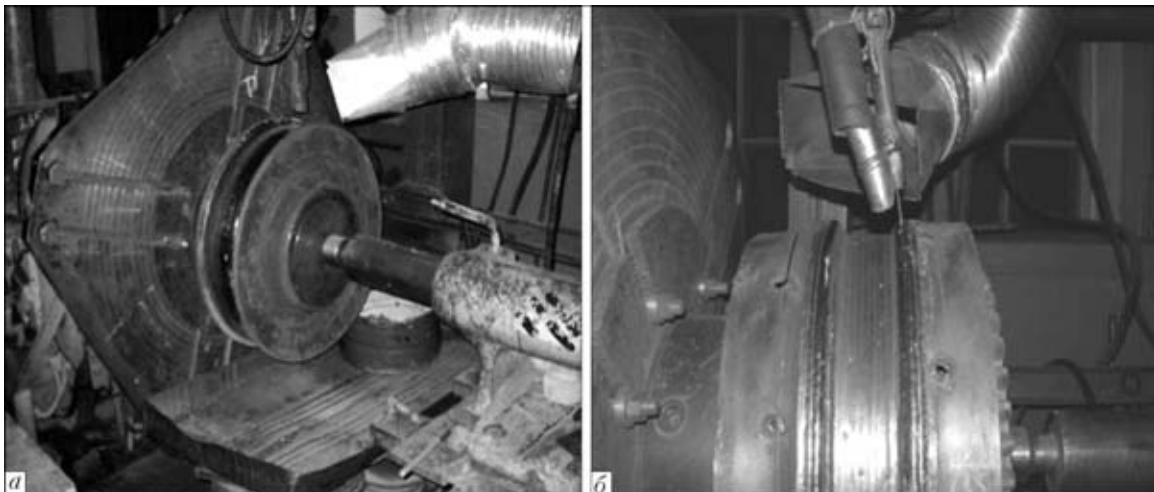


Рис. 7. Автоматическая наплавка порошковой проволокой ПП-АН194 поверхности катания (а) и реборды (б) кранового колеса

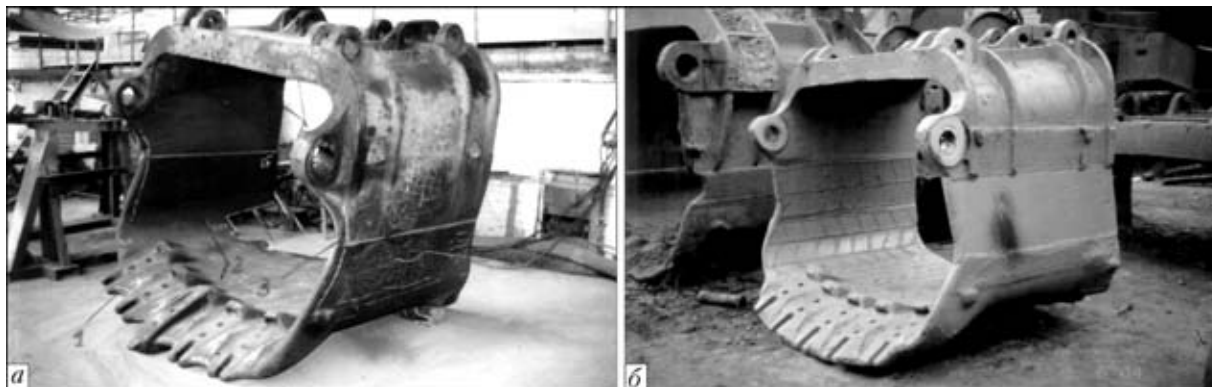


Рис. 8. Вид изношенного ковша экскаватора вместимостью 5 м³ до (а) и после наплавки (б)

абразивного изнашивания. В частности, с использованием самозащитной проволоки ПП-АН105 наплавлены лифтеры и детали футеровок из стали Г13Л мельницы самоизмельчения. Разработана технология автоматической наплавки проволокой ПП-АН105 под флюсом АН-26 цилиндрических валков дробилок. Порошковая проволока ПП-АН105 хорошо зарекомендовала себя также при восстановлении ковшей карьерных экскаваторов вместимостью 5, 8 и 10 м³ (рис. 8) [5].

Для автоматической наплавки открытой дугой деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания и умеренных ударов, например, лемехов плугов и культиваторов, ножей грейдеров и бульдозеров, а также других изделий, использовали самозащитную порошковую проволоку ПП-АН192. Одновременную наплавку двух кромок ножей грейдеров выполняют при их изготовлении. При этом наплавку осуществляют с колебаниями, что позволяет получить на двух кромках ножа износостойкие слои толщиной 2,0...2,5 мм и шириной до 30 мм.

Для наплавки новых дисковых ножей культиваторов изготовлена автоматическая установка, на которой с использованием порошковой проволоки ПП-АН192 наплавляются ножи разного диаметра. Наплавку выполняют с колебаниями, что обес-

печивает необходимые в плане самозатачивания геометрические характеристики наплавленного слоя — толщину 2,0...2,5 мм, ширину — до 20 мм.

Представленный в данной статье перечень (хотя и далеко неполный) восстановленных и упрочненных с помощью наплавки деталей (в основном крупногабаритных) убедительно демонстрирует большие возможности применения новых наплавочных материалов, а также разрабатываемых для них технологий наплавки.

1. *Восстановление крупногабаритных деталей оборудования горно-обогатительных комбинатов методами дуговой наплавки / И. А. Рябцев, Ю. М. Кусков, Ю. А. Маховский и др. // Сварщик. — 2002. — № 1. — С. 6–8.*
2. *Рябцев И. А., Кусков Ю. М., Поддубский А. И. Восстановление деталей конусной дробилки дуговой наплавкой // Там же. — 2004. — № 1. — С. 16–17, 19.*
3. *Восстановление колец опорно-поворотного устройства крана МКТ-250 / И. А. Рябцев, Ю. М. Кусков, Я. П. Черняк и др. // Там же. — 2004. — № 4. — С. 35–37.*
4. *Триботехнические характеристики наплавленного металла системы Fe–Cr–Si–Mn–P / И. И. Рябцев, Ю. М. Кусков, В. Ф. Грабин и др. // Автомат. сварка. — 2003. — № 6. — С. 20–24.*
5. *Восстановление ковшей карьерных экскаваторов наплавкой самозащитными проволоками / Ю. М. Кусков, И. А. Кондратьев, А. Г. Богаченко и др. // Сварщик. — 2004. — № 6. — С. 16–17.*

The experience gained by the E. O. Paton Electric Welding Institute in the development of consumables, technologies and equipment for rejuvenation and manufacturing arc cladding of parts of different machines and mechanisms is described. The focus is on power-saving consumables and technologies, allowing cladding of carbon steel parts to be performed without or with minimal preheating.

Поступила в редакцию 27.04.2006

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ НАГРЕВА

С. С. САМОТУГИН, д-р техн. наук, В. А. МАЗУР, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрены причины образования дефектов в поверхностных слоях инструментальных сталей в результате обработки изделий высококонцентрированными источниками нагрева. Отмечены особенности образования дефектов при лазерной и плазменной обработке. Предложены пути снижения вероятности дефектообразования.

Ключевые слова: термическое упрочнение, источники нагрева, лазерный и электронный луч, плазменная струя, фазовые и структурные превращения, дефекты

Для повышения износостойкости деталей машин и инструмента широкое распространение получили методы поверхностного термического упрочнения высококонцентрированными ($10^5 \dots 10^7$ Вт/см²) источниками нагрева — лазерным и электронным лучами, плазменной струей. Высокие значения плотности мощности данных источников позволяют получить качественно новые свойства поверхности металлов, недостижимые при традиционных методах термической обработки. Эффект обусловлен образованием в поверхностном слое нанокристаллической метастабильной структуры с повышенной дисперсностью блоков и плотностью дислокаций. В то же время в таких условиях сверхскоростного (так называемого шокового) упрочнения имеются предпосылки для образования и развития дефектов (трещин, пор, включений), появление которых обусловлено неравномерным и локальным тепловым воздействием. При этом вероятность возникновения и степень развития дефектов зависят как от состава материала и его исходного состояния, так и от способа и режима обработки.

На практике в большинстве случаев лазерное упрочнение выполняется с оплавлением поверхности изделий. Это связано с целым рядом особенностей взаимодействия лазерного излучения с металлами — относительно малой глубиной упрочненного слоя (зоны лазерного воздействия (ЗЛВ)) при обработке с нагревом до температуры, ниже температуры плавления; низким КПД лазерной обработки (до 10 %) при упрочнении без оплавления и без применения специальных поглощающих покрытий; достижением наиболее высоких значений эксплуатационных свойств (прежде всего твердости) благодаря сверхскоростной

кристаллизации и закалке переплавленного слоя. В связи с чрезвычайно высокой скоростью кристаллизации расплава, несмотря на дисперсность кристаллической структуры, при лазерном оплавлении велика вероятность образования кристаллизационных (горячих) трещин [1–4]. Особенно склонны к образованию трещин при лазерной обработке высокоуглеродистые и легированные инструментальные стали [1, 3, 4], а также чугуны [1, 5].

Одной из причин, вызывающих появление трещин при лазерном оплавлении, является высокий уровень и неблагоприятное распределение внутренних остаточных напряжений. При лазерной обработке инструментальных сталей происходит практически полное растворение карбидной фазы. Жидкий раствор насыщается углеродом и легирующими элементами. При сверхскоростном охлаждении закристаллизовавшегося металла аустенит в металле ЗЛВ становится устойчивым к $\gamma \rightarrow \alpha$ -распаду (уменьшается температурный интервал начала и конца мартенситного превращения $M_n \dots M_k$). Вследствие этого основной структурной составляющей в металле ЗЛВ является остаточный аустенит, а в оплавленном слое образуются остаточные напряжения растяжения [5], способствующие образованию трещин [4].

Высокая склонность к образованию кристаллизационных трещин при лазерном оплавлении серого чугуна также обусловлена наличием значительных внутренних напряжений. При этом наряду с трещинообразованием происходит и образование пор в оплавленном слое, связанное с неполным растворением графита в расплаве ввиду очень высокой скорости нагрева и кристаллизации. Микропузырьки газов, выделяющиеся из глубинных слоев расплава, адсорбируются на оставшихся частицах графита. Наибольшее количество пор образуется при высокой скорости обра-

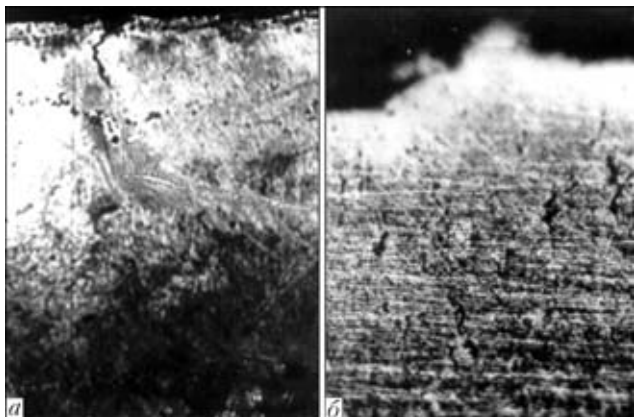


Рис. 1. Микршлифы оплавленных слоев с кристаллизационной трещиной и микропорами при обработке стали 150XHM непрерывным лазерным излучением мощностью 1,2 кВт, $\times 100$ (а) и с кристаллизационными трещинами и включениями при лазерной обработке стали 45, $\times 320$ (б)

ботки и высокой плотности мощности лазерного излучения [6].

Кроме неблагоприятных остаточных напряжений, другой важной причиной образования кристаллизационных трещин при лазерном оплавлении как сталей, так и чугунов является наличие в исходном металле значительного количества неметаллических включений. Детально влияние включений на возникновение и развитие трещин в металле ЗЛВ изучено в работе [6]. Установлено, что энергии излучения достаточно для оплавления тугоплавких включений Cr_2O_3 , Al_2O_3 , TiN , SiO_2 и для развития диффузионных процессов через межфазные границы включений с матрицей. В результате диффузии зоны матрицы окружающие включения насыщаются компонентами включений, которые при резком охлаждении фиксируются в твердом растворе. Следовательно, локальные участки матрицы вокруг включений представляют собой сильно пересыщенные твердые растворы. В таких условиях на границах раздела с матрицей образуются значительные термические напряжения и, как следствие, кристаллизационные трещины. Характер микроразрушения зависит от формы включений: вблизи компактных включений трещины имеют меньшую протяженность в отличие от распространения их вдоль пленочных включений. Очагом зарождения трещины, показанной на рис. 1, а, явилась частица пластинчатого цементита с вкрапленным шаровидным графитом. Микротрещина, окруженная цепочкой микропор и надрывов, выходит на поверхность оплавленного слоя и постепенно останавливается на границе оплавленного слоя со слоем закалки в твердом состоянии. Кристаллизационные трещины, выходящие на поверхность оплавленного слоя, легко выявляются визуально.

Значительно большую опасность представляют внутренние кристаллизационные микротрещины, не выходящие на поверхность и не выявляемые

такими неразрушающими методами контроля, как ультразвуковой, магнитный, лучевая дефектоскопия (рис. 1, б). Микротрещины, инициируемые неметаллическими включениями, развиваются практически в вертикальном направлении, соответствующем направлению теплоотода при скоростной кристаллизации. Размер трещин очень мал и на поверхность выходят только трещины у включений, расположенных непосредственно под поверхностью.

Как выходящие на поверхность, так и внутренние кристаллизационные трещины весьма опасны, поскольку могут стать очагами макро-разрушения упрочненных изделий в процессе эксплуатации. Следует отметить, что кристаллизационные (горячие) трещины при лазерной обработке обычно не распространяются вглубь изделия, а останавливаются либо на границе оплавленного слоя с закаленным (рис. 1, а), либо на границе закаленного слоя с исходным металлом.

Гораздо большую опасность представляют собой закалочные (холодные) трещины, которые уже на стадии упрочнения могут распространяться далеко вглубь исходного металла изделия вплоть до его полного разрушения.

Фазовые и структурные превращения при плазменном нагреве металлов имеют как общие закономерности с превращениями при лазерном нагреве, так и специфические. При обработке без оплавления, т. е. с закалкой в твердой фазе, механизмы превращений и структура упрочненной зоны при лазерной и плазменной обработке практически одинаковы [1, 5, 7]. Однако при обработке с оплавлением в характере скоростной кристаллизации и структуре оплавленного слоя для этих способов обработки имеются существенные различия [8].

При достаточном энерговлечении лазерный нагрев сталей и сплавов вызывает локальное расплавление поверхностных микрообъемов. Ванна жидкого металла практически полностью сохраняется за счет сил поверхностного натяжения. Некоторое ухудшение качества поверхности (повышение шероховатости) допустимо для большинства типов деталей или инструмента и легко устраняется дополнительной механической обработкой. При нагреве высококонцентрированной плазменной струей поверхностное оплавление с сохранением ванны жидкого металла возможно только в узком диапазоне режимов обработки: при нагреве поверхностного слоя до температуры $T_{\text{пл}} \dots T_{\text{пл}} + 100$ °С [8]. В этом случае глубина оплавленной зоны не превышает 100 мкм, т. е. можно говорить лишь о поверхностном микрооплавлении. При повышении энерговлечения и соответственно температуры нагрева происходит расплавление значительных объемов металла, увеличение объема жидкой ванны, газодинамического

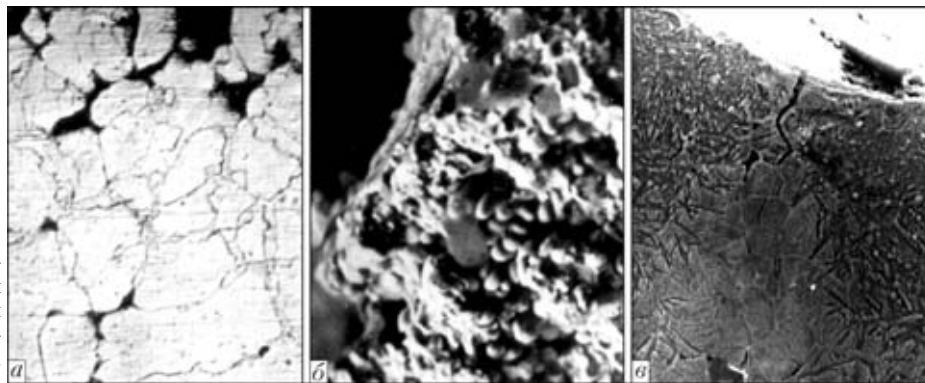


Рис. 2. Микроструктура (а, в) и характер разрушения (б) оплавленного слоя с кристаллизационными трещинами при плазменном макрооплавлении сталей Р6М5 (а, б) и 90ХФ (в); а — $\times 500$; б — $\times 340$; в — $\times 320$

воздействия плазменной струи над силами поверхностного натяжения, в результате происходит выплеск части расплавленного металла. Глубина зоны плазменного макрооплавления может достигать 1 мм, однако при этом примерно такую же глубину имеет лунка от выплеснувшегося металла, что резко ухудшает качество поверхности и требует дополнительной механической обработки. Следовательно, плазменное упрочнение с макрооплавлением поверхности можно применять лишь в ограниченных случаях, например, при необходимости увеличения глубины упрочненного слоя или создании специального поверхностного рельефа.

Влияние плазменного микро- и макрооплавления на механические свойства, в частности, динамическую трещиностойкость, неоднозначно и зависит от состава сталей и сплавов и их исходного состояния. Для высокоуглеродистых и инструментальных сталей, серого чугуна и спеченных твердых сплавов [7] при плазменном микро- и особенно макрооплавлении происходит резкое охрупчивание поверхности (снижение ударной вязкости и динамической вязкости разрушения). Разрушение металла оплавленной зоны происходит по механизму интеркристаллитного скола. Даже при отсутствии дефектов (трещин, пор) наличие такого хрупкого слоя на поверхности деталей или инструмента нежелательно, поэтому для изделий из высокоуглеродистых и инструментальных сталей, чугуна, твердых сплавов предпочтительнее плазменная закалка без оплавления поверхности. Однако в ряде случаев обработка с плазменным микрооплавлением может быть более перспективной [9]. Например, использование плазменной обработки с микро- или макрооплавлением для низкоуглеродистых сталей или наплавленного металла, когда одновременно с увеличением износостойкости ударная вязкость и динамическая вязкость разрушения также резко повышаются, а разрушение оплавленного слоя происходит по микровязкому ямочному механизму [7].

По характеру разрушения металла оплавленного слоя можно судить и о потенциальной склонности упрочняемого материала к кристаллиза-

ционным трещинам при плазменном оплавлении. В случае образования высокодисперсной структуры с характерными для нее квазисколом или микровязким ямочным механизмами разрушения кристаллизационные трещины при плазменном оплавлении обычно не образуются. Горячие трещины могут наблюдаться в случае образования крупноиглочатого мартенсита и разрушения по механизму интеркристаллитного скола. В качестве примера на рис. 2, а, б показана микроструктура и поверхность разрушения стали Р6М5 при плазменном макрооплавлении. Кристаллизационные микротрещины образуются по границам оплавленных зерен, расположены хаотически, ориентированы преимущественно в вертикальном направлении и могут быть как внутренними, так и выходящими на поверхность (рис. 2, а). В очагах образования трещин наблюдаются поры и неметаллические включения компактной и пленочной морфологии (рис. 2, б). Следует отметить, что строение поверхности горячей трещины в дисковом ноже из стали Х12М, образованной в процессе плазменного упрочнения режущей кромки по боковой поверхности (рис. 3, б), в целом аналогично строению горячих трещин, наблюдаемых при сварке [10], что свидетельствует об общих закономерностях их образования и развития. Значительно более высокая (практически на порядок) степень дисперсности металла упрочненной зоны способствует образованию дисперсного излома с большим количеством оплавленных кристаллитов, пор и включений (рис. 2, б). Аналогичный характер развития горячих трещин наблюдается и при плазменном оплавлении низколегированной инструментальной стали 90ХФ (рис. 2, в).

Как отмечалось выше, при поверхностном упрочнении высококонцентрированными источниками нагрева наряду с кристаллизационными трещинами в упрочненном слое могут возникать и закалочные (холодные) трещины. Они могут наблюдаться как при обработке с оплавлением поверхности, так и при обработке (закалке) без оплавления. Снижение технологической прочности в данном случае связано не столько с физико-металлургическим воздействием лазерного луча

или плазменной струи, сколько с напряженным состоянием упрочняемых изделий в процессе обработки.

На рис. 3, а показана закалочная трещина, образовавшаяся в подповерхностной зоне оплавленного слоя при плазменном макроплавлении валков трубосварочного стана из стали 90ХФ. Из очага разрушения закалочные трещины разветвляются, а одна из них выходит на поверхность.

Возникновение закалочных напряжений при поверхностной закалке обусловлено резким перепадом температуры по сечению изделия. Внутренние напряжения могут достигать по значению предела текучести стали и вызывать образование закалочных (холодных) макротрещин. Наиболее подвержены растрескиванию при упрочнении детали и инструмент сложной формы, особенно кольцевой с конструктивными концентраторами напряжений (прокатные валки (рис. 3, а), дисковые ножи (рис. 3, б), фрезы, пилы, матрицы, шайбы и т. п.). Радиальные сквозные и несквозные трещины могут зарождаться и распространяться как от упрочненной поверхности к осевому отверстию, так и у осевого отверстия у концентратора, например, шпоночного паза. Растрескивание может происходить непосредственно в процессе упрочнения или при естественном остывании упрочненного изделия. В большинстве случаев упрочненные изделия с закалочными трещинами (даже несквозными) бракуются. В этой связи возникает необходимость принятия специальных мер для предотвращения хрупкого разрушения деталей и инструмента при упрочнении [11].

Таким образом, суммарные закалочные напряжения на стадии охлаждения определяются составом упрочняемой стали. Наиболее опасное их сочетание для наружных слоев реализуется при упрочнении деталей и инструмента из легированных сталей, а для внутренних (у осевого отверстия) — при упрочнении деталей и инструмента из углеродистых сталей. Конструктивные концентраторы

напряжений локализуют и облегчают хрупкое разрушение инструмента при упрочнении.

В соответствии с установленными механизмами образования закалочных трещин возможно два пути их предотвращения: релаксация напряжений от объемной закалки путем повышения температуры промежуточного объемного отпуска и снижение закалочных напряжений при упрочнении путем регулирования термического цикла плазменного нагрева.

Повышение температуры отпуска после предварительной объемной закалки до 400...600 °С (в зависимости от марки стали) должно способствовать, во-первых, снятию напряжений от объемной закалки и, во-вторых, сохранению твердости сердцевины на уровне *HRC* 45...55 и соответственно высокой объемной конструктивной прочности стали.

Термический цикл плазменного нагрева должен обеспечивать быстрое охлаждение в температурном интервале наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита (650...400 °С) и медленное охлаждение в интервале температур ниже мартенситной точки M_n (для большинства сталей 200...300 °С). Это позволит снизить термические и структурные (в момент образования хрупкой фазы — мартенсита) напряжения. На практике такое регулирование термического цикла легко достигается с использованием предварительного объемного подогрева изделий непосредственно перед плазменным упрочнением до температуры, на 20...50 °С ниже M_n для данной марки стали. Естественное охлаждение подогретого изделия после плазменного упрочнения не только замедляется в температурном интервале образования закалочных трещин, но и происходит равномерно по всему объему металла, что также способствует снижению общего уровня закалочных напряжений. Рекомендуемая температура предварительного подогрева практически не оказывает влияния на значения скорости нагрева, скорости охлаждения и продолжительности выдержки в области высоких температур, которые определяют характер превращений и уровень достигаемых механических свойств после упрочнения высококонцентрированным источником нагрева.

Рекомендации по регулированию уровня закалочных напряжений реализованы при разработке технологии плазменного упрочнения дисковых ножей диаметром 203 мм толщиной 12 мм из стали Х12М для порезки трансформаторного листа (см. рис. 3, б) [11].

В заключение можно отметить, что при поверхностном упрочнении деталей высококонцентрированными источниками нагрева при обработке с оплавлением

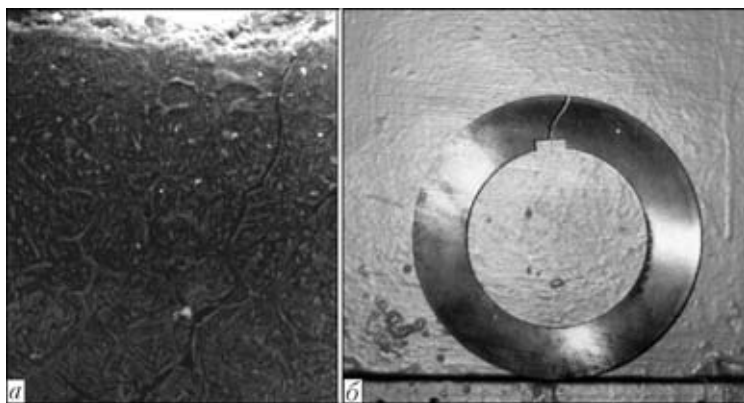


Рис. 3. Микроструктура оплавленного слоя с закалочными трещинами при плазменной обработке стали 90ХФ с макроплавлением, $\times 320$ (а); трещина в дисковом ноже из стали Х12М для порезки трансформаторного листа (б)

поверхности могут образовываться кристаллизационные (горячие) трещины и микропоры, а также закалочные (холодные) трещины как при обработке с оплавлением, так и без оплавления поверхности. Тщательный выбор режимов упрочнения и применение дополнительных технологических мероприятий позволяют практически во всех случаях предотвратить образование трещин.

При поверхностном упрочнении высококонцентрированными источниками нагрева не используется дополнительное введение в зону обработки присадочных материалов (если речь не идет о специальных технологических процессах лазерного и плазменного поверхностного легирования или нанесения покрытий). Поэтому при лазерном или плазменном упрочнении нет металлургических факторов, влияющих на образование неметаллических включений в металле упрочненной зоны. Однако очагами зарождения трещин в процессе обработки могут стать уже имеющиеся в исходном металле включения (особенно при обработке легированных сталей и сплавов, чугуна).

1. Леонтьев П. А., Чеканова Н. Т., Хан М. Г. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1986. — 142 с.

The paper deals with the causes of defect formation in the surface layers of tool steels as a result of processing by high power density heat sources and features of defect formation in laser and plasma treatment. Methods to lower the probability of defect formation are proposed.

Поступила в редакцию 21.09.2006



VI Международная специализированная выставка «СВАРКА-2007» совместно с выставкой «Машиностроение, станки, инструменты»

26–29 июня 2007 г.

г. Нижний Новгород

Тематика сварочной 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

ВЗАО «Нижегородская ярмарка»

г. Нижний Новгород, ул. Совнаркомовская, 13, оф. 220

Директор — А. А. Коропченко, тел.: (8312) 77 54 96; факс: 77 55 86; 77 54 89; E-mail: kaa@jarmarka.ru
Контакты — тел.: (8312) 77 55 89 (С. Г. Левин), E-mail: levin@jarmarka.ru, http://www.jarmarka.ru



СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ЛОКАЛЬНЫМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС*

О. Г. КАСАТКИН, д-р техн. наук, **А. К. ЦАРЮК**, **В. Ю. СКУЛЬСКИЙ**, кандидаты техн. наук,
А. Р. ГАВРИК, **С. И. МОРАВЕЦКИЙ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины),
И. Д. КЛЕЩЕВНИКОВ, **Ю. М. КОПЫЛОВ**, **А. Г. МЕДВЕДЕВ**, инженеры (Хмельницкая АЭС)

Показано, что основными факторами, вызывающими коррозионное растрескивание и разрушение композитных сварных соединений трубопроводов, являются химическая и структурная неоднородность металла сварных соединений, образование мартенситных и обезуглероженных прослоек, напряженное состояние и водородное охрупчивание металла. Предложен способ повышения сопротивляемости сварных соединений локальным коррозионным повреждениям.

Ключевые слова: трубопроводы, композитные сварные соединения, структура, диффузионный водород, хрупкие прослойки, аустенитная и углеродистая стали

Опыт эксплуатации энергоблоков атомных станций показывает, что существует ряд узлов оборудования, к которым относят различные трубопроводы и их сварные соединения, наиболее подверженных повреждениям. В частности, в трубопроводах второго контура часто коррозией повреждаются сварные соединения труб из разнородных сталей — низколегированных и аустенитных. При ремонте обычно удаляют дефектные сварные соединения и вваривают сварные вставки, изготовленные из двух отрезков труб аналогичных марок сталей в заводских условиях. Однако и они имеют ограниченный срок службы, и при эксплуатации энергоблока возникает необходимость их замены.

Согласно существующей технологии сварка труб из разнородных сталей производится аустенитным швом, причем при сварке труб с толщиной стенки более 10 мм — с предварительной наплавкой кромки низколегированной трубы аустенитным металлом. Коррозионные повреждения в разнородных соединениях развиваются как межкристаллитная коррозия и локализуются в узкой зоне на границе между аустенитным швом и ферритной сталью (рис. 1).

Характерной особенностью сварных соединений разнородных сталей является развитая химическая, структурная и механическая неоднородность [1]. В композитных сварных соединениях имеется поле собственных напряжений, которые не могут сниматься проведением термической обработки. При

сварке необходимо учитывать также разную свариваемость каждой стали.

При оценке работоспособности сварных соединений важно учитывать структуру и свойства зоны сплавления разнородных материалов. В соединениях, выполненных сваркой плавлением, вблизи границы сплавления обнаруживаются кристаллизационные прослойки промежуточного состава между основным металлом и швом.

Со стороны ферритной трубы основной металл имеет ферритно-мартенситную структуру. Соотношение фаз (доля мартенсита в структуре) может изменяться в зависимости от термического цикла сварки. Фазовые составы отдельных зон сварных соединений можно оценить по диаграмме Шеффлера, из которой следует, что во всех случаях в шве будут образовываться прослойки с мартенситной структурой. Это связано с тем, что вблизи границы сплавления даже при небольшой



Рис. 1. Микроструктура коррозионного повреждения металла ЗТВ сварного соединения стали 20 и 08X18H10T (X25)

* Статья подготовлена по результатам выполнения целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» (2004–2006 гг.).

доле наплавленного металла расплавленная углеродистая сталь легируется за счет аустенитного металла. При увеличении доли наплавленного металла твердость этой зоны резко возрастает по мере возрастания количества мартенсита и далее снижается в основном из-за уменьшения концентрации углерода. Таким образом, в сварных композитных соединениях низколегированных сталей практически всегда образуются мартенситные прослойки независимо от типа аустенитного присадочного металла.

При сварке и термической обработке в зоне сплавления могут образовываться диффузионные прослойки, главным образом обусловленные перераспределением углерода. Вместе с тем в процессе эксплуатации температура трубопроводов второго контура невысокая и диффузионные прослойки практически не развиваются.

В композитных сварных соединениях наблюдаются диффузионные прослойки, образующиеся при сварке в момент сосуществования жидкой сварочной ванны с основным металлом, а также в области существования твердых фаз во время охлаждения после сварки. Причиной перераспределения углерода является, в частности, наличие карбидобразующих элементов в аустените. Эти прослойки находятся вблизи границы сплавления, причем со стороны аустенитного шва — зона с повышенным содержанием углерода, а со стороны ферритной стали образуется обезуглероженный слой металла с крупными столбчатыми зернами феррита (рис. 2). Отметим, что из-за малого содержания углерода эта прослойка имеет низкий предел текучести, а в процессе роста зерен на границах концентрация примесей повышается.

Остаточные напряжения в композитных сварных соединениях значительно зависят от тепловых и механических характеристик сварива-

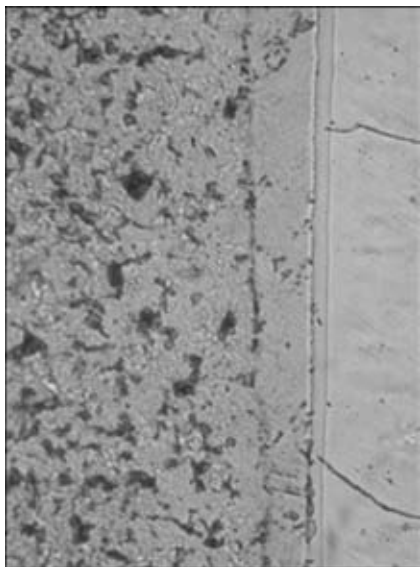


Рис. 2. Микроструктура зоны сплавления стали 20 и 08X18N10T (X1000)

емых материалов, в частности, коэффициентов линейного расширения и теплопроводности, а также модуля упругости и предела текучести. Наибольшая разница в коэффициентах линейного расширения (25...35 %) наблюдается между сталями перлитного и аустенитного классов. Она особенно заметна, если в композитном соединении используется аустенитная сталь 08X18N10T.

Остаточные напряжения в композитных сварных соединениях существенно изменяются после проведения термической обработки (отпуска), которая приводит к увеличению этих напряжений.

Важным фактором, оказывающим влияние на работоспособность композитных сварных соединений, является водород, который при определенных условиях может вызывать «статическую» усталость металла. Водород, ослабляя силы связи кристаллической решетки в местах нарушения ее когерентности, способствует образованию очагов микроразрушений на границах с высокой плотностью энергии. В процессе сварки водород в металл шва поступает преимущественно из атмосферы дуги при ее взаимодействии с расплавленным металлом [2].

Энергия границ может значительно увеличиваться при мартенситном превращении аустенита. В процессе роста мартенситных кристаллов возникают структурные напряжения, микродеформации и скопления дислокаций, которые наиболее ярко выражены у границ аустенитных зерен, куда выходят наиболее крупные кристаллы мартенсита. Под действием растущих кристаллов мартенсита на границе образуется случайное поле напряжений. Чем крупнее исходные аустенитные зерна, тем больше размеры кристаллов мартенсита и выше локальные напряжения и микродеформации, возникающие около их вершин. На отдельных, наиболее ослабленных участках границ со значительным уровнем свободной энергии при совместном действии структурных и сварочных напряжений могут образовываться зародыши микротрещин. Ведущую роль в этом процессе играют структурные напряжения. В зависимости от напряженного состояния развитие зародышей трещин может приводить к замедленному (периодический скачкообразный рост трещины, чередующийся в паузах с процессами микроползучести и сегрегации водорода на границах у вершины трещины) или хрупкому разрушению. Наиболее интенсивно эти процессы развиваются около границы сплавления разнородных сталей.

Возникающие микроразрушения по границам зерен в случае агрессивной окружающей среды могут развиваться в межзеренное коррозионное растрескивание металла под напряжением и привести к разрушению композитного сварного соединения. Скорость этого процесса возрастает при увеличении количества и толщины мартенситных



прослоек, размеров аустенитных зерен, а также загрязнении металла шва примесями, повышающими свободную энергию границ зерен.

Для повышения работоспособности композитного сварного соединения необходимо использовать технологию сварки, обеспечивающую уменьшение химической и структурной неоднородности, образование хрупких и обезуглероженных прослоек. Достаточно эффективным способом решения этой задачи является введение в сварное соединение между аустенитным и ферритным металлом промежуточного слоя с низким содержанием углерода, например, из армко-железа (технически чистого железа). При этом не только исключается возможность образования легированного мартенсита с достаточно высоким содержанием углерода, но и существенно уменьшается диффузионное перераспределение самого углерода.

Наплавку промежуточного слоя можно производить на кромку ферритной или аустенитной трубы, при этом металл шва должен быть соответственно аустенитным или низколегированным. Заварку шва можно осуществить также металлом с низким содержанием углерода без предварительной наплавки промежуточного слоя, однако, при этом могут возникнуть трудности с обеспечением хорошего формирования шва.

Экспериментальные исследования проводили на сварных соединениях стали 20 с аустенитной сталью 08X18H10T. При наплавке низкоуглеродистого металла на сталь 20 образуются:

- участок неполной перекристаллизации, в котором металл нагревается до температур начала фазового $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения; здесь структура характеризуется разнотернистостью — крупные ферритные зерна чередуются с более мелкими зер-

нами феррита и перлита, которые сформировались при частичном превращении при нагреве перлитных участков;

- участок полной перекристаллизации или нормализации, в котором после фазовой перекристаллизации металл приобретает мелкозернистую структуру (верхняя температурная граница этого участка около 1100 °С);

- на участке перегрева около наплавленного слоя в стали 20 образуется грубая структура из крупных участков феррита и перлита, называемая видманштеттовой структурой;

- наплавка вблизи стали 20 имеет мелкозернистую структуру, а из-за перемешивания со сталью 20 в наплавке присутствуют отдельные перлитные участки (рис. 3, а);

- металл наплавки имеет чисто ферритную структуру с относительно крупным зерном (рис. 3, б).

В зависимости от условий конвективного перемешивания металла в сварочной ванне переход от наплавленного металла к шву типа Св-10X16H25АМ6 может быть резким или иметь слой с мелкодисперсной структурой (рис. 3, в). Указанный слой представляет собой металл, сформировавшийся в результате неполного расплавления фрагментов наплавленного слоя и неполного перемешивания его с аустенитным металлом шва. Очевидно, в этом случае на формирование таких прослоек оказывает влияние более высокая температура плавления низкоуглеродистого металла наплавки (около 1530 °С по сравнению с 1380 °С у аустенитного металла) и узкий интервал кристаллизации. Не обнаружено также миграции углерода и формирования обезуглероженной прослойки в стали 20.

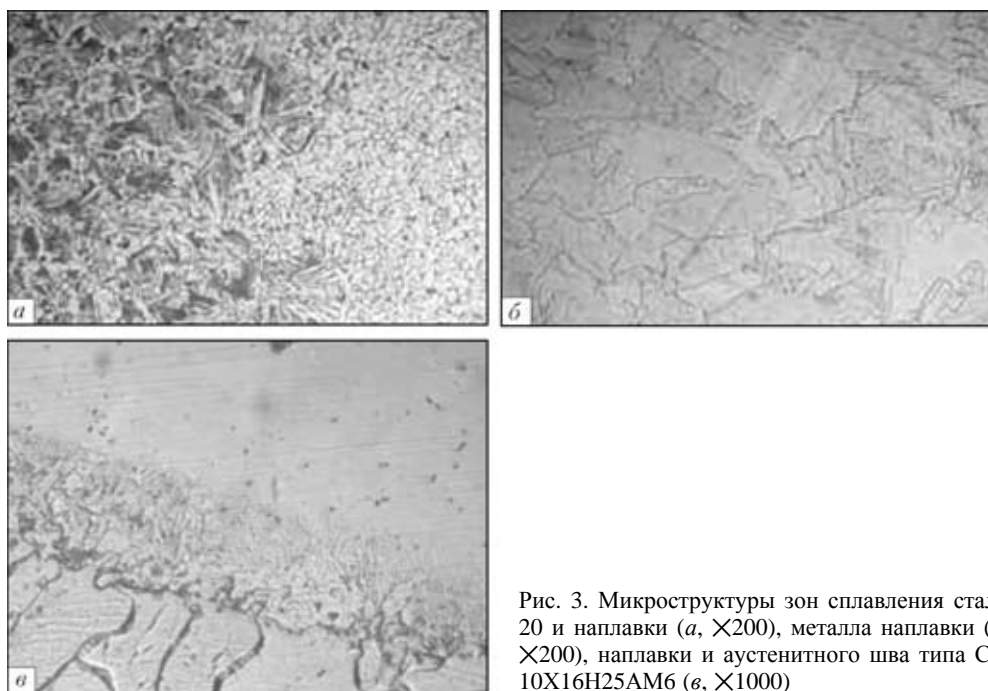


Рис. 3. Микроструктуры зон сплавления стали 20 и наплавки (а, $\times 200$), металла наплавки (б, $\times 200$), наплавки и аустенитного шва типа Св-10X16H25АМ6 (в, $\times 1000$)

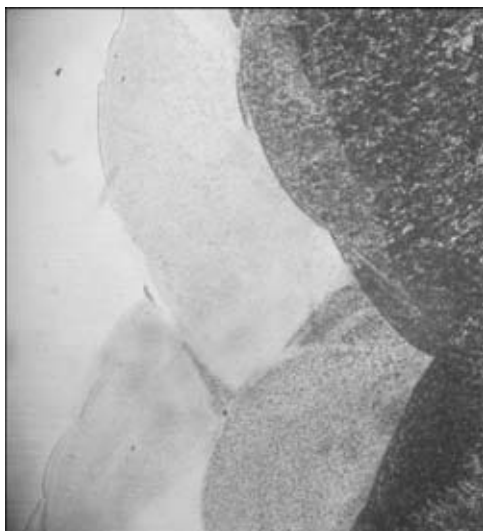


Рис. 4. Слои наплавки технического чистого железа на аустенитную сталь, $\times 25$

Результаты измерений твердости показывают, что в аустенитном металле шва и наплавки из-за различного долевого участия расплавленного нелегированного и наплавляемого высоколегированного металлов образуются микроучастки с твердостью, близкой к твердости мартенситной структуры, а также наблюдаются микроучастки с твердостью, характерной для аустенита.

Вариант композитного сварного соединения с наплавкой на низких уровнях погонной энергии низкоуглеродистого металла на кромку аустенитной стали и заваркой шва низколегированным присадочным металлом приведен на рис. 4. По мере наложения валиков травимость наплавленного металла повышается в результате снижения концентрации легирующих элементов, поступающих из аустенитной стали.

Следует отметить, что в данном сочетании сталь–наплавка не образовывались зоны с высокой твердостью, характерные для закалочных структур. Наблюдаемые колебания микротвердости переходного слоя между аустенитной сталью и наплавленным металлом связаны с неравномерным перемешиванием сплавляемых материалов и находятся в пределах $HV_{0,2} = 150...340$. На границе сплавления аустенитной стали с наплавкой не выявлено существенной неоднородности или дефектов (рис. 5). Аналогичная ситуация наблюдается и на границе сплавления низколегированного шва с наплавкой и сталью 20.

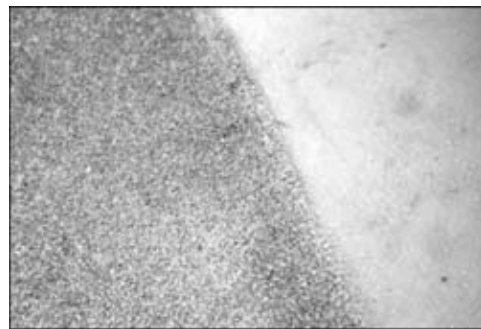


Рис. 5. Микроструктура зоны сплавления наплавки и аустенитной стали, $\times 200$

Результаты механических испытаний по ГОСТ 6996–66 сварных соединений разнородных сталей 20 и 08X18H10T показали, что предел прочности на растяжение образцов типа XIII ГОСТ 6996–66 находится в пределах 530...560 МПа, ударная вязкость KCU в пределах 106...143 Дж/см², угол загиба образцов типа XXVI ГОСТ 6996–66 — от 160 до 180°. Разрушение образцов при растяжении во всех случаях происходило по стали 20 на расстоянии около 15 мм от границы сплавления. Эти показатели удовлетворяют требованиям, предъявляемым к композитным сварным соединениям трубопроводов АЭС.

Оценка коррозионной стойкости предложенных композитных сварных соединений в эксплуатационных условиях требует больших затрат времени. Ускоренные испытания образцов в среде хлоридов не выявили явного межзеренного разрушения в области сварного соединения. Коррозия в металле шва развивается интенсивнее, чем в аустенитной стали, но не быстрее, чем в ферритном основном металле.

Таким образом, введение в сварные соединения между аустенитной и углеродистой сталью промежуточного слоя из низкоуглеродистого металла (технического железа) позволяет исключить образование в шве хрупкого легированного мартенсита и обезуглероженных прослоек в металле ЗТВ. Сварное соединение с указанным промежуточным слоем имеет более высокую коррозионную стойкость по сравнению с соединением, выполненным согласно штатной технологии.

1. Земзин В.Н. Сварные соединения разнородных сталей. — М.: Машиностроение, 1966. — 232 с.
2. Касаткин О.Г. Особенности водородного охрупчивания высокопрочных сталей при сварке (Обзор) // Автомат. сварка. — 1994. — № 1. — С. 3–7.

It is shown that the key factors causing corrosion cracking and fracture of composite welded joints in pipelines are the formation of martensite and decarburised interlayers, as well as the stressed state and hydrogen-induced embrittlement of metal. The method is suggested for increasing resistance of the welded joints to local corrosion damages.

Поступила в редакцию 25.12.2006



МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1441, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СВАРКИ

А. Г. ПОКЛЯЦКИЙ, канд. техн. наук, чл.-кор. НАН Украины А. Я. ИЩЕНКО,
А. А. ГРИНЮК, М. Р. ЯВОРСКАЯ, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен сравнительный анализ прочности и твердости в соединениях сплава 1441, полученных способами сварки плавлением и трением с перемешиванием. Показано, что процесс получения соединения за счет пластификации металла без его расплавления позволяет избежать образования характерных для алюминиево-литиевых сплавов дефектов и повысить предел прочности сварных соединений. Выявлено, что швы, полученные сваркой трением с перемешиванием, несимметричны относительно своей продольной оси. Установлено, что разрушение образцов при статических испытаниях происходит с той стороны, откуда металл вытесняется рабочим наконечником инструмента.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварка трением с перемешиванием, алюминиево-литиевые сплавы, прочность, твердость, механические свойства

К материалам, применяемым в сварных конструкциях авиакосмической техники, предъявляются особые требования в части обеспечения минимального веса, высокой прочности, большого ресурса и экономической эффективности эксплуатации сварных конструкций. Удовлетворение этим требованиям в конечном счете определяет конкурентоспособность летательных аппаратов. Использование алюминиево-литиевых конструкционных сплавов с низкой плотностью и повышенным модулем упругости является приоритетным направлением совершенствования современных летательных аппаратов [1, 2].

Одним из наиболее перспективных материалов для изготовления различных узлов такой техники является сплав 1441 системы легирования Al–Cu–Mg–Li, имеющий наилучшую технологичность при холодной и горячей деформации. Сплав на основе алюминия имеет следующий химический состав, мас. %: 1,6 Cu; 1,1 Mg; 1,6 Li; 0,07 Zr; 0,04 Ti; 0,09 Fe; 0,03 Si и 0,05 Mn. Удачное соотношение концентрации основных легирующих элементов при ограниченном содержании примесей позволяет получать холоднокатаные листы толщиной до 5,0 мм по технологии, близкой к используемой при производстве листов из сплава Д16. Листы сплава 1441 имеют высокие прочностные характеристики: предел прочности 440 МПа, предел текучести 330 МПа, относительное удлинение 14,6 %, угол загиба 16°, плотность сплава составляет 2,6 г/см³, модуль упругости 78,4 ГПа [2]. Однако при сварке плавлением этого перспективного для летательной техники сплава возникают определенные трудности. Во-первых, на-

личие в его составе лития приводит к образованию поверхностного газонасыщенного слоя, способствующего повышенному порообразованию в сварных соединениях [3]. Во-вторых, как и все литиевые сплавы, при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом он имеет высокую склонность к образованию протяженных включений оксидной пленки в швах [4]. В-третьих, необратимость физико-химических процессов, происходящих в сварочной ванне под воздействием высокотемпературного источника нагрева, приводит к фазовым превращениям и разупрочнению металла в зоне сварки [5]. В результате соединения сплава 1441, полученные сваркой плавлением, имеют низкие механические свойства. Если из технологического процесса сварки сплава исключить разогрев зоны соединения до температуры солидуса, можно избежать этих сложностей, устранить условия для возникновения дефектов и повысить прочность швов.

Получить неразъемные соединения без расплавления основного металла можно сваркой трением с перемешиванием [6, 7]. Принцип формирования шва при таком способе соединения основан на нагреве за счет трения металла в зоне сварки до пластического состояния, перемешивании его по всей толщине свариваемых кромок и пластическом деформировании в результате прижатия рабочего инструмента к поверхностям свариваемых деталей. При этом металл не нагревается до температуры плавления, поэтому в шве и металле ЗТВ степень фазово-структурных превращений намного ниже, чем при сварке плавлением.

Для сравнительной оценки механических свойств, структуры и твердости соединений сплава 1441 листы толщиной 2,0 мм сваривали наиболее распространенными дуговыми способами

Таблица 1. Режимы сварки листов толщиной 2,0 мм сплава 1441

Способ сварки	$I_{св}$, А	$v_{св}$, м/ч	$v_{пр}$, м/ч	$d_{пр}$, мм	$Q_{пл}$, л/мин	U_d , В
Аргонодуговая плавящимся электродом	55	30	105	1,6	—	17,2
Аргонодуговая неплавящимся электродом	150	14	75	1,6	—	—
Плазменно-дуговая неплавящимся электродом	165	36	110	1,6	0,3	—

сварки (табл. 1), электронно-лучевой, а также сваркой трением с перемешиванием.

Электронно-лучевую сварку выполняли на токе 45 мА при ускоряющем напряжении 30 кВ со скоростью 60 м/ч. Присадочную проволоку диаметром 1,0 мм подавали со скоростью 180 м/ч.

Сварку трением с перемешиванием проводили со скоростью 14 м/ч вращающимся с частотой 2880 об/мин инструментом с диаметром бурта 12 мм.

Из полученных стыковых соединений изготавливали стандартные образцы для определения предела прочности и угла загиба сварных соединений. Прочность металла шва оценивали при испытании образцов с уменьшенным сечением в центральной части швов. Кроме того, на отдельных образцах определяли распределение твердости в швах и металле ЗТВ, а также рассматривали их структурные особенности. Результаты механических испытаний образцов, полученных различными способами сварки, приведены в табл. 2.

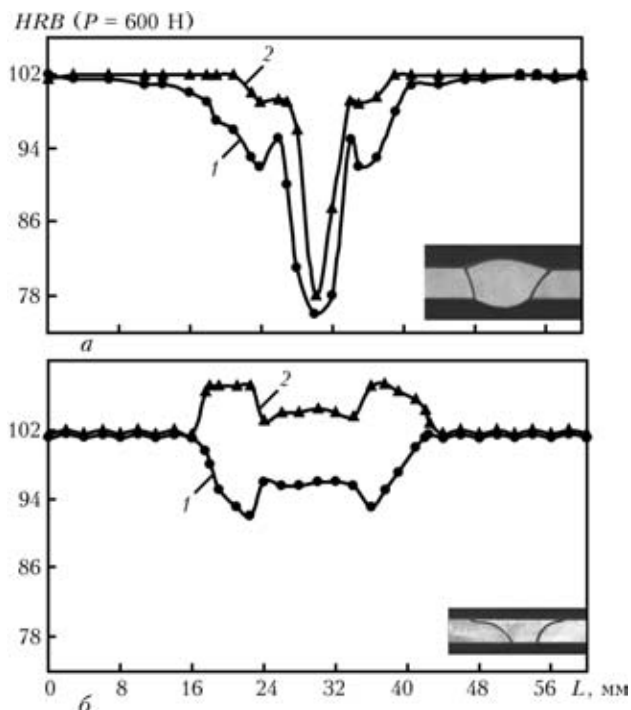
Анализ полученных результатов показал, что при аргонодуговой сварке плавящимся или неплавящимся электродом с использованием присадочной проволоки СвАМг63 прочность сварных соединений листов сплава 1441 может быть получена на уровне 315 МПа, что составляет около 72 % прочности основного металла. Применение более концентрированных источников нагрева сокращает время существования сварочной ванны, в результате не все газовые пузырьки успевают подняться на ее поверхность. Часть из них в виде мелких пор остается в зоне сплавления шва с основным металлом, снижая прочность соединений. Поэтому сварные соединения, полученные с той же присадочной проволокой плазменно-дуговой сваркой неплавящимся электродом, имеют прочность на уровне 305, а выполненные электронным лучом — 287 МПа. Использование присадочной проволоки на основе медной системы легирования Св1201 дает более низкие показатели прочности даже в случае модифицирования ее скандием, хотя на прочность металла шва скандий влияет положительно. В любом случае при сварке плавлением шов имеет литую структуру и его прочностные показатели ниже, чем сварного соединения.

При сварке трением с перемешиванием присадочный материал не используется и шов фор-

Таблица 2. Механические свойства сварных соединений листов толщиной 2,0 мм сплава 1441

Способ сварки	Присадочная проволока	$\sigma_b^{св}$, МПа	$\sigma_b^{м.ш}$, МПа	δ , град
Аргонодуговая плавящимся электродом	СвАМг63	$\frac{320...309}{315}$	$\frac{280...269}{277}$	$\frac{70...64}{67}$
	Св1201	$\frac{290...281}{284}$	$\frac{285...280}{284}$	$\frac{66...48}{57}$
Аргонодуговая неплавящимся электродом	СвАМг63	$\frac{315...312}{314}$	$\frac{288...280}{284}$	$\frac{136...132}{134}$
	1201+0,5%Sc	$\frac{305...288}{293}$	$\frac{308...305}{304}$	$\frac{75...62}{68}$
Плазменно-дуговая неплавящимся электродом	СвАМг63	$\frac{306...303}{305}$	$\frac{267...263}{266}$	$\frac{170...140}{152}$
	Св1201	$\frac{269...266}{267}$	$\frac{237...234}{235}$	$\frac{86...60}{73}$
Электронно-лучевая	СвАМг63	$\frac{288...285}{287}$	$\frac{257...254}{256}$	$\frac{86...77}{82}$
	Св1201	$\frac{290...280}{285}$	$\frac{265...260}{262}$	$\frac{57...53}{55}$
Трением с перемешиванием	—	$\frac{344...338}{341}$	$\frac{382...356}{366}$	$\frac{180...130}{155}$
	—	$\frac{417...415^*}{416}$	$\frac{439...436^*}{438}$	$\frac{58...54}{56}$

* — механические свойства получены после искусственного старения образцов (150 °С — 24 ч).



Распределение твердости в соединениях сплава 1441 толщиной 2,0 мм, полученных плазменно-дуговой сваркой разнополярным асимметричным током (а) и сваркой трением с перемешиванием (б) после сварки (1) и искусственного старения (2)

мируется только за счет основного металла. Разрушение образцов также происходит по зоне сплавления шва с основным металлом, но прочность сварных соединений находится на уровне 341 МПа и составляет 78 % прочности свариваемых листов. При этом вследствие деформационного упрочнения пластифицированный металл шва имеет прочность около 366 МПа, поэтому образующееся при сварке трением с перемешиванием некоторое занижение шва не сказывается на прочности сварного соединения в целом. Угол загиба таких соединений находится на уровне основного металла и превышает аналогичные показатели, полученные при сварке плавлением. Кроме того, искусственное старение полученных соединений после сварки позволяет повысить их прочность до 416 МПа, что составляет 95 % исходной прочности листов.

Более высокая прочность соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием, достигается благодаря меньшему уровню разупрочнения металла в зоне сварки (рисунок). Использование высокотемпературной плазменной струи приводит к существенному нагреву металла, в результате чего твердость его в зоне сплавления изменяется от *HRB* 95 (со стороны усиления шва) до *HRB* 81 (в корневой части). Литой металл шва имеет еще более низкую твердость (*HRB* 76), но разрушение образцов происходит по зоне сплавления, так как сечение шва увеличено за счет усиления. При сварке трением с перемешиванием

макроскопического расплавления металла не происходит. Он нагревается в результате трения только до пластического состояния, поэтому полученное распределение твердости на образцах, выполненных сваркой трением с перемешиванием, свидетельствует о меньшем тепловом воздействии на все участки сварного соединения. Так, в зоне сплавления шва с основным металлом минимальная твердость находится на уровне *HRB* 92. При этом металл шва имеет более высокую твердость (*HRB* 95), поскольку подвергается пластическому деформированию за счет прижатия инструмента к поверхностям свариваемых листов. В результате, несмотря на несколько уменьшенное рабочее сечение шва, разрушение образцов все равно происходит по зоне сплавления шва с основным металлом.

Кроме того, кривая распределения твердости свидетельствует о том, что полученный сваркой трением с перемешиванием шов несимметричен относительно своей продольной оси. Такая форма шва получается вследствие того, что пластифицированный металл с одной стороны (фронтальной) вытесняется рабочим наконечником инструмента на другую (тыльную) сторону. Именно с фронтальной стороны и происходит разрушение сварных образцов при статических испытаниях.

После искусственного старения образцов, полученных плазменно-дуговой сваркой, твердость металла шва повышается до *HRB* 78, а в зоне сплавления шва с основным металлом — до *HRB* 95–99. Дополнительное искусственное старение соединений, полученных трением с перемешиванием, позволяет повысить твердость металла шва до *HRB* 104. При этом твердость металла в зоне сплавления его со швом находится на уровне *HRB* 103–107, что обеспечивает существенное увеличение предела прочности сварных соединений, полученных трением с перемешиванием.

Выводы

1. Среди распространенных способов сварки плавлением наиболее высокие механические свойства соединений литийсодержащего алюминиевого сплава 1441 достигаются при использовании плавящегося и неплавящегося электродов. Предел прочности таких соединений, полученных с использованием присадочной проволоки СвАМг63, находится на уровне 315 МПа, что составляет около 72 % исходной прочности листов. Применение более концентрированных источников нагрева (электронный луч и плазма) не позволяет повысить этот показатель вследствие высокой склонности сплава 1441 к порообразованию.

2. При сварке трением с перемешиванием уровень разупрочнения сварного соединения снижается, поскольку формирование шва происходит в результате пластического деформирования основ-

ного металла без его расплавления. Поэтому прочность сварных соединений повышается до 341 МПа, а прочность деформационно-упрочненного металла шва — до 366 МПа. При этом угол загиба сварных соединений находится на уровне основного металла.

1. *Приоритетные* направления совершенствования материалов для конструкций перспективных самолетов / В. Г. Дмитриев, Г. Н. Замула, В. В. Коновалов, Г. И. Нестеренко // Технология легких сплавов. — 2003. — № 1. — С. 3–8.
2. *Свойства* полуфабрикатов из высокотехнологичного Al-Li-сплава 1441 / И. Н. Фридляндер, В. В. Садков, В. С. Сандлер, Т. П. Федоренко // Там же. — 2002. — № 4. — С. 24–26.

Comparative analysis has been performed of the strength and hardness in joints of 1441 alloy produced by fusion and friction stir welding. It is shown that the process of producing the joint by metal plasticization without its melting allows avoiding formation of defects characteristic for the aluminium-lithium alloys and improving the ultimate strength of welded joints. It is found that the welds made by friction stir welding are not symmetrical relative to their longitudinal axis. It is established that fracture of samples at static testing occurs from the side, from which the metal is driven by the working tip of the tool.

3. *Илюшенко Р. В.* Влияние параметров режима сварки пульсирующей дугой в аргоне на пористость соединений сплава 1420 // Автомат. сварка. — 1990. — № 9. — С. 27–30.
4. *Покляцкий А. Г., Лозовская А. В., Гринюк А. А.* Предотвращение образования оксидных плен в швах при сварке литийсодержащих алюминиевых сплавов // Там же. — 2002. — № 12. — С. 45–48.
5. *Разупрочнение* высокопрочных алюминиевых сплавов при различных способах сварки плавлением / А. В. Лозовская, А. А. Чайка, А. А. Бондарев и др. // Там же. — 2001. — № 3. — С. 15–19.
6. *Dawes C. J., Thomas W. M.* Friction stir process welds aluminum alloys // Welding J. — 1996. — № 3. — P. 41–45.
7. *Степанов В. В., Конкевич В. Ю., Фролов В. А.* Формирование соединений при сварке трением по способу Friction Stir Welding // Технология легких сплавов. — 2003. — № 1. — С. 58–67.

Поступила в редакцию 26.09.2006

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА-КОНГРЕСС «МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА (МИР-2007)»

2–5 октября 2007 г.

г. Санкт-Петербург «Ленэкспо»

Цель выставки-конгресса: развитие взаимовыгодного международного сотрудничества, демонстрация передовых технологий и инновационных разработок в области мехатронных и робототехнических систем для расширения возможности их коммерциализации и вывода на рынки высокотехнологичной продукции

Тематика выставки

- ✓ Промышленная робототехника и автоматизация производства
- ✓ Роботы для экстремальных условий
- ✓ Транспортные мехатронные и робототехнические системы
- ✓ Роботы в социальной среде (сервисные работы)
- ✓ Роботы в медицине
- ✓ Системы управления и программное обеспечение
- ✓ Компоненты средств робототехники и мехатронные модули
- ✓ Технологии компьютерного проектирования

Тематика конгресса

- ✓ Методы проектирования и моделирования мехатронных и робототехнических систем
- ✓ Области применения и перспективы развития мехатронных и робототехнических систем
- ✓ Системы и средства управления, навигация
- ✓ Групповое управление и мультиагентные системы
- ✓ Микро- и нанороботы
- ✓ Техническая диагностика мехатронных и робототехнических систем
- ✓ Компоненты мехатронных и робототехнических систем
- ✓ Подготовка кадров в области мехатроники и робототехники

**Дополнительную информацию можно получить по
тел./факсу (812) 552-4162, 552-40-73, E-mail: spb.mr@rtc.ru, www.rtc.ru**



УДК 621.120.45

ДЕФЕКТОСКОПИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЖИДКОГО АММИАКА

В. А. ТРОИЦКИЙ, д-р техн. наук, **Ю. Н. ПОСЫПАЙКО**, **И. Я. ШЕВЧЕНКО**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. И. КАРМАЗИН, инж., **Г. Е. КОСТЕНКО**, канд. техн. наук
(ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот», г. Северодонецк)

Приведены основные виды диагностики сварных соединений при комплексном техническом освидетельствовании резервуаров большой вместимости для хранения жидкого аммиака с целью продления ресурса: визуально-оптический контроль, в том числе, выявление и оценка неровностей на стенке и днище, уточнение объемов применения и других видов контроля; неразрушающий контроль сварных соединений и металла стенки и днища резервуара ультразвуковым, магнитопорошковым и капиллярным методами; определение механических характеристик металла; металлографические исследования и химический анализ металла сварных соединений и основного металла.

Ключевые слова: методы неразрушающего контроля, дефектоскопия сварных соединений, визуально-оптический, ультразвуковой, магнитопорошковый, капиллярный контроль, механические характеристики, металлографические исследования, химический анализ, сварной резервуар

Техническое диагностирование сварных резервуаров большой вместимости, находящихся длительное время в эксплуатации, позволяет оценить их техническое состояние, возможность дальнейшей безопасной эксплуатации, а также определить необходимость ремонта отдельных узлов. При освидетельствовании резервуаров важным этапом является дефектоскопия их сварных соединений.

Отдел неразрушающего контроля качества сварных металлоконструкций ИЭС им. Е. О. Патона совместно с исследовательской лабораторией металлов и технической диагностики ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот» выполнили дефектоскопию сварных соединений внутреннего резервуара изотермического хранилища жидкого аммиака на ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот», которая включала следующие этапы:

визуально-оптический контроль внутренней поверхности резервуара, выявление и оценка неровностей (выпуклостей, вмятин, хлопунгов и т. п.) на стенке и днище внутреннего резервуара, уточнение объемов применения других видов контроля;

ультразвуковой, магнитопорошковый и капиллярный контроль сварных соединений днища и стенки внутреннего резервуара на высоте 1-го пояса;

определение механических характеристик металла на образцах, вырезанных из днища;

металлографические исследования сварных соединений на образцах, вырезанных из днища, а

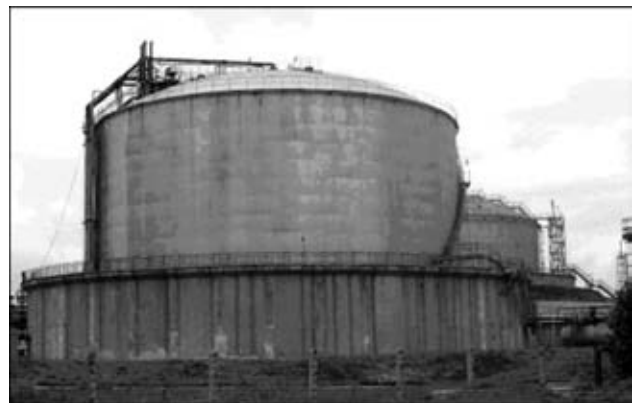
также металла стенки в местах пересечения швов между 1-м и 2-м поясами методом реплик;

химический анализ металла, включая количественный анализ содержания в нем водорода.

Нормативной базой комплексного технического освидетельствования и дефектоскопии резервуаров изотермического хранилища жидкого аммиака являются стандарты и инструкции, действующие на химическом производстве [1, 2] и касающиеся отдельных видов контроля.

По конструктивному решению изотермическое хранилище жидкого аммиака представляет собой двухстенный вертикальный цилиндрический резервуар, изготовленный листовым способом, который располагается в железобетонном каземате (рисунок).

Внутренний резервуар, где непосредственно хранится жидкий аммиак, изготовлен из низколегированной стали и рассчитан на гидростатическую нагрузку хранящегося продукта и внешнее



Общий вид сварного резервуара для хранения жидкого аммиака

давление сыпучего теплоизоляционного материала. Он расположен внутри наружного резервуара. Стенка внутреннего резервуара собрана из крупногабаритных (около 2×6 м) листов из стали N-TVF33 (Япония), отечественный аналог — сталь 16ГС, а днище изготовлено из стали N-TVF30N (Япония), отечественный аналог — сталь 09Г2С. Все сварные соединения выполнены встык.

Толщина стенки внутреннего резервуара составляет по поясам 16–14–13–12–10–10–10–12–12 мм — всего 10 поясов высотой 2000...2050 мм каждый.

Межстенное пространство между наружным и внутренним резервуарами заполнено тепловой изоляцией из вспученного перлитового песка.

Для проведения работ внутри хранилища в нижней части стенки и на крыше предусмотрены люки-лазы.

Техническая характеристика внутреннего резервуара	
Диаметр днища, мм	30050
Высота стенки, мм	21000
Вместимость, м ³	16846
Масса хранящегося продукта, т	10000
Температура хранящегося продукта, °С	-33
Давление в резервуаре, кПа	3...7

Изотермическое хранилище жидкого аммиака изготовлено поэлементно и смонтировано в 1973–1974 гг.

Визуальный контроль внутреннего резервуара проведен в соответствии с требованиями ДСТУ ISO 17637–2003 [3] с целью определения наличия и размеров дефектов или повреждений в основном металле и сварных соединениях, а также выявления недопустимой видимой деформации конструктивных элементов. Типы и размеры недопустимых дефектов основного металла и металла сварных швов указаны в п. 5.2.9 ДСТУ 4046–2001 [1]. Геометрические размеры сварных швов (стыковых, нахлесточных и угловых) проверяли на соответствие требованиям ГОСТ 5264–80 [4].

Перед проведением контроля поверхность сварных швов и околошовную зону шириной по 100 мм от шва зачищали с помощью мягких наждачных кругов. Шероховатость зачищенных поверхностей составляла не более $Ra\ 12,5$ ($Rz\ 80$).

При визуальном контроле использовали следующее вспомогательное оборудование: лупы просмотровые (двух- и трехкратного увеличения), лупы измерительные, линейки измерительные металлические, штангенциркули, универсальные шаблоны сварщика УШС-3, щетки металлические и волосяные для зачистки, светильники переносные, маркеры, бинокль для осмотра металлоконструкций стенки и крыши.

В результате тщательного визуального контроля установлено, что недопустимые дефекты в основном металле и металле сварных швов отсутствовали, а геометрические размеры последних не всегда соответствовали требованиям ГОСТ 5264–80 [4], од-

нако их ремонт с помощью сварки признан нецелесообразным. Геометрические размеры сварного шва на одном из участков протяженностью около 100 мм значительно отличались от требований, изложенных в табл. 53 ГОСТ 5264–80 [4] (катет горизонтальный около 2 мм, провар 2...3 мм). Участок был забракован и отремонтирован с применением сварки с предварительной механической выборкой металла шва.

На днище внутреннего резервуара находились выпучины и хлопуну высотой до 100 мм и площадью 4...20 м², образовавшиеся вследствие остаточной деформации после пусковых испытаний. На 9-м и 10-м поясах его стенки располагались две выпучины размером приблизительно 1,5×4,0 м и высотой около 200 мм, частично переходящие в куполообразную крышу. Выпучины не имели резких перегибов, переломов и разрывов.

Магнитопорошковый контроль проведен в соответствии с требованиями нормативных документов [5–8] для выявления поверхностных и подповерхностных трещин различного происхождения, волосовин, надрывов, закатов, непроваров и других дефектов сварных соединений и околошовной зоны. При разработке инструкции [8], кроме нормативных документов [5–7], использован многолетний опыт работы ИЭС им. Е. О. Патона в области магнитного контроля [9].

Магнитопорошковому контролю были подвергнуты все сварные соединения днища внутреннего резервуара и выборочно — вертикальные стыковые сварные соединения 1-го пояса и горизонтальные 1-го и 2-го поясов стенки. Магнитопорошковый контроль выполнен с помощью намагничивающих устройств дефектоскопов «Parker» (США) и ПМД-70 (НПО «Волна», Молдова).

Использовали способ контроля в приложенном поле. Продольное (полюсное) намагничивание выполняли с помощью приставного электромагнита. Напряженность магнитного поля между полюсами составляла не менее 80 А/см. Нанесение магнитного порошка Ferromag фирмы «Ely Chemical» (Великобритания) на контролируемую поверхность осуществляли «сухим» способом. Для создания белого фона, контрастного с магнитным порошком, применяли белую меловую суспензию в аэрозольной упаковке, изготовленную в НПП «ИФХ-Колор» (Киев).

Для проверки работоспособности системы магнитопорошкового контроля использовали контрольные образцы — образец Бертольда и контрольный образец предприятия из комплекта дефектоскопа ПМД-70. Результаты магнитопорошкового контроля подтвердили отсутствие недопустимых дефектов в металле сварного шва и околошовной зоны.

Ультразвуковой контроль (УЗК) проведен в соответствии с нормативными документами [10–



12] с целью выявления внутренних плоскостных и объемных дефектов. При разработке инструкции [12], кроме нормативных документов [10, 11], использован многолетний опыт работы ИЭС им. Е. О. Патона в области УЗК [13].

УЗК были подвергнуты все сварные соединения днища, а также вертикальные и горизонтальные стыковые сварные соединения листов 1-го пояса стенки внутреннего резервуара. УЗК выполнен с помощью дефектоскопов USN-52 («Krautkramer», Германия) и УД2-12 (НПО «Волна», Молдова). Для этого метода применены прямые и наклонные раздельно-совмещенные преобразователи с рабочей частотой 2,5...5,0 МГц и углом ввода 45°. Причем угловые преобразователи, используемые для контроля нахлесточных швов, были специально изготовлены в ИЭС им. Е. О. Патона. Проверку основных параметров контроля проводили на контрольных образцах комплекта КОУ-2 [10].

Настройку дефектоскопов и параметров контроля выполняли на испытательных образцах с искусственными отражателями заданных размеров и местоположения.

Применены следующие способы контроля наклонным преобразователем: прямым лучом (для выявления дефектов в корне шва) и однократно отраженным лучом (для выявления дефектов в середине и верхней части шва).

Для обеспечения акустического контакта преобразователя с поверхностью металла использовали специальную гелеобразную смазку фирмы «MR-Chemie» (Германия).

Подготовка дефектоскопа включала настройку скорости развертки, чувствительности, глубиномера и установку зоны контроля. Оценку качества выполняли в соответствии с СНиП 3.03.01-87 [14].

В результате УЗК недопустимые дефекты в сварных соединениях стенки внутреннего резервуара (на уровне 1-го пояса) и в уторном сварном соединении не выявлены.

К числу недопустимых дефектов отнесен участок нахлесточного сварного соединения днища протяженностью около 700 мм. Этот участок после механической выборки металла шва отремонтирован с применением сварки и проверен капиллярным контролем и УЗК.

Капиллярный контроль для выявления невидимых или слабовидимых невооруженным глазом дефектов типа несплошностей материала, выходящих на поверхность (трещин, пор, непроваров и т. п.), проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 18442-80 [15] и ОСТ 26-5-88 [16]. Капиллярному контролю были подвергнуты все сварные соединения врезки патрубков и люков и выборочно — нахлесточные сварные соединения днища, стыковые вертикальные сварные соединения

стенки, а также поверхность кольца люка, на которую устанавливается заглушка.

Капиллярный контроль выполнен дефектоскопическими материалами фирмы «MR-Chemie» (Германия) в аэрозольной упаковке — пенетрант MR-68С, очиститель MR-85, проявитель MR-70. Способ контроля люминесцентно-цветной с применением люминесцентной лампы КД-33Л (НПО «Волна», Молдова). Чувствительность материалов проверяли на контрольном образце, изготовленном в соответствии с требованиями ГОСТ 23349-78 [17].

В результате капиллярного контроля в сварных соединениях стенки и днища недопустимые дефекты не выявлены. В нижней части кольцевого шва входного патрубка обнаружены раковины, которые открылись при зачистке шва. Наплавленный металл шва в зоне раковин удаляли путем шлифования абразивным кругом до полного исчезновения следов раковин, а затем выполняли заварку шва и последующий капиллярный контроль.

Механические характеристики металла определены в лабораторных условиях на образцах, изготовленных из листов днища (ГОСТ 6996-66 [18]). Испытания металла на растяжение проводили на образцах типа I диаметром 3 мм с помощью испытательной машины ИМ-4Р, а на ударную вязкость — на образцах типа VII с V-образным надрезом (при температуре -20°С) с применением маятникового копра МК-30М. Предел текучести составил 300...320 МПа, временное сопротивление — 440...445 МПа, относительное удлинение — 36,0...39,0 %, ударная вязкость — (250...285)·10⁶ Дж/м².

Металлографические исследования проводили с целью изучения макро- и микроструктуры металла шва и основного металла в лабораторных условиях на шести образцах, вырезанных из днища внутреннего резервуара. Образцы обрабатывали путем шлифования алмазными пастами и травления в 10%-м спиртовом растворе азотной кислоты.

При макроанализе металла шва трещины, надрывы и другие дефекты в сварных соединениях не выявлены. Расстояние между пластинами нахлесточного сварного соединения составляло 0,2...1,5 мм, что отвечает требованиям ГОСТ 5264-80 (табл. 53, тип шва Н1).

При изучении микрошлифов сварных соединений в некоторых образцах в корне шва выявлены извилистые полости-усы глубиной до 0,8 мм, заполненные продуктами коррозии. Их края имели округлую форму без образования трещин. Такие полости образовались, вероятно все-го, вследствие выхода газов и паров металла из сварочной ванны при сварке.

Структура металла сварного шва и околошов-ной зоны ферритно-перлитная, мелкозернистая. На участке, расположенном в верхней части шва, видны столбчатые кристаллы. Строение феррита игольчатое. В корне сварного шва структура металла мелкозернистая.

Металлографические исследования металла шва и основного металла стенки внутреннего резервуара проведены методом отгиска с поверхности с помощью полистирольных реплик и с использованием переносного микроскопа «Неофот-21» (без вырезки образцов со стенки). Для исследования было подготовлено девять зон (шлифов) в местах Т-образных пересечений вертикальных швов 1-го и 2-го поясов стенки с горизонтальным швом.

Структура металла сварных швов и основного металла стенки внутреннего резервуара ферритно-перлитная. Размер зерен соответствовал 8–9 баллам (ГОСТ 5639–82). На одном из шлифов обнаружены поверхностные микротрещины, которые исчезли при шлифовании на глубину 0,2 мм, а также скопления микропор.

В результате металлографических исследований установлено, что микроструктура, размер зерна, состояние межзеренных границ в металле шва и основном металле днища и стенки внутреннего резервуара типичны для низкоуглеродистых сталей и их сварных соединений. Признаки старения металла не обнаружены.

Химический анализ образцов, вырезанных из днища внутреннего резервуара, показал, что металл соответствует отечественному аналогу — стали 09Г2С (ГОСТ 5520–79) — и имеет следующий состав, мас. %: Fe 98; С 0,13; Si 0,29; Mn 1,35; Cr 0,001; Mo 0,014; Ni 0,065; Al 0,047; Co 0,065; Cu 0,02; Nb 0,0007; Ti 0,013; V 0,037.

С помощью химического анализа образцов определено содержание водорода в металле днища, которое составляет 0,0005...0,0006 мас. %.

Выбранные нами технологии неразрушающего контроля показали свою эффективность при про-

ведении освидетельствования хранилища, что позволило сделать необходимый ремонт и продлить на пять лет эксплуатацию резервуара.

1. *ДСТУ 4046–2001*. Оборудование технологическое нефтеперерабатывающее, нефтехимических и химических производств. Техническое диагностирование. Общие технические требования. — Введ. с 01.01.2002.
2. *РД 03-410–2001*. Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров сжиженных газов. — Введ. с 01.01.2002.
3. *ДСТУ ISO 17637–2003*. Неразрушающий контроль сварных швов. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением. — Введ. с 01.01.2004.
4. *ГОСТ 5264–80*. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. — Введ. с 01.01.81.
5. *ГОСТ 21105–87*. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. — Введ. с 01.01.88.
6. *ДСТУ 2954–94*. Сталь. Методы магнитного контроля. — Введ. с 01.01.96.
7. *ОСТ 26-01–84*. Швы сварных соединений стальных сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика магнитопорошкового метода контроля. — Введ. с 01.07.85.
8. *Технологическая инструкция по магнитопорошковому контролю сварных соединений днища изотермического резервуара*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — 14 с.
9. *Троцкий В. А.* Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс, 2002. — 300 с.
10. *ГОСТ 14782–86*. Контроль неразрушающий. Швы сварные. Методы ультразвуковые. — Введ. с 01.01.88.
11. *ГСТУ 3-057–2003*. Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Методика ультразвукового контроля сварных соединений. — Введ. с 01.01.2004.
12. *Технологическая инструкция по ультразвуковому контролю нахлесточных и угловых сварных соединений днища изотермического резервуара*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — 18 с.
13. *Троцкий В. А.* Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1997. — 224 с.
14. *СНиП 3.03.01–87*. Несущие и ограждающие конструкции. — Введ. с 01.07.88.
15. *ГОСТ 18442–80*. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. — Введ. с 01.07.81.
16. *ОСТ 26-5–88*. Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла. — Введ. с 01.07.89.
17. *ГОСТ 23349–78*. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы капиллярные. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. с 01.01.81.
18. *ГОСТ 6996–66*. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. — Введ. с 01.01.67.

Described are the main kinds of diagnostics of welded joints at comprehensive technical examination of large volume tanks for liquid ammonia storage with the purpose of extension of their service life, namely visual-optical inspection, including detection and evaluation of unevenness on the wall and bottom, more precise definition of the application volumes, etc.; NDT of welded joints and metal of the tank wall and bottom by ultrasonic, magnetic particle and penetrant testing; determination of mechanical characteristics of the metal; metallographic examination and chemical analysis of the welded joint and base metal

Поступила в редакцию 04.09.2006,
в окончательном варианте 23.10.2006



СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И РЕСУРСА СВАРНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. С. КОВАЛЬЧУК, В. В. КНЫШ, В. Д. ПОЗНЯКОВ, С. Б. КАСАТКИН, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложен способ повышения сопротивления усталости сварных соединений толстолистовой стали в исходном состоянии и после ремонтной сварки удаленных усталостных трещин по общепринятой технологии рекомендованными материалами с последующей облицовкой швов аустенитно-мартенситной проволокой X10Ni10, создающей благоприятные остаточные сжимающие напряжения. Определено, что циклическая долговечность сварных соединений стали 09Г2С, изготовленных, а также отремонтированных по предлагаемой технологии, повышается в 5...7 раз по сравнению с таковой при стандартной технологии.

Ключевые слова: циклическая долговечность, сварные соединения, облицовочные швы, остаточные сжимающие напряжения

В элементах железнодорожных и автодорожных мостов, подкрановых балок, судов, буровых платформ и других промышленных сооружений, а также в деталях машин транспортного и энергетического машиностроения после определенного периода эксплуатации в условиях сложного циклического нагружения возникают усталостные трещины. Можно полагать, что главными причинами их преждевременного зарождения и ускоренного развития в металлоконструкциях являются дополнительные местные вибрации отдельных элементов, которые накладываются на основные переменные нагрузки, а также неучтенные при конструировании сварочные остаточные напряжения. Подтверждением этому могут служить пролетные строения железнодорожных мостов [1], изготовленные в 1950–1980-х годах. В мостах, построенных в более ранний период, усталостными трещинами поражены в основном прикрепления продольных и поперечных связей вследствие их колебаний при проходе подвижного состава. В мостах, построенных во второй половине указанного периода по типовым проектам, в которых предусмотрено освобождение поясов главных балок от приварки к ним центрирующих листов, ребер жесткости и связей в стенках балок, имели место значительные дополнительные напряжения изгиба, возникшие от бокового смещения и вибраций. В результате очагами зарождения усталостных трещин стали окончания швов у вырезов вертикальных ребер жесткости, где сварочные растягивающие остаточные напряжения достигают значений предела текучести основного металла. Такие трещины обычно распространяются вдоль стенок главных балок, но при их повороте поперек балок они представляют еще большую

опасность, особенно зимой, когда в условиях пониженных температур даже относительно небольшие усталостные трещины в пролетных строениях могут инициировать хрупкие разрушения при низких номинальных напряжениях. В настоящее время во многих странах, в том числе и в Украине, эксплуатируется большое количество мостов с усталостными трещинами. В таком же состоянии находится подвижной состав, который также в значительной степени исчерпал свой расчетный ресурс.

В этой связи актуальной проблемой является повышение сопротивления усталости сварных конструкций на стадиях проектирования, изготовления, а также после ремонта, в ходе которого с целью продления ресурса изделий удаляют металл вокруг усталостной трещины и выполняют заварку повреждений.

Существуют различные способы повышения циклической долговечности сварных соединений. Как правило, они основаны на снятии растягивающих остаточных напряжений или искусственном наведении благоприятных сжимающих напряжений после завершения сварочных работ, что ухудшает технологичность и увеличивает продолжительность и стоимость изготовления и ремонта металлоконструкций. Указанные недостатки устраняет способ повышения сопротивления усталости путем наведения сжимающих напряжений в процессе сварки, предложенный японскими исследователями [2]. Ими высказано предположение о том, что использование сварочной проволоки с низкой температурой межфазного перехода (рекристаллизации) может способствовать эффективному снижению остаточных напряжений растяжения. Известно [3], что в тройной системе Fe–Ni–Cr температура фазовых превращений в твердом состоянии, связанных с переходом одного класса твердых растворов в другой, зависит от массовой доли этих металлов (рис. 1). Если твердый раствор состоит

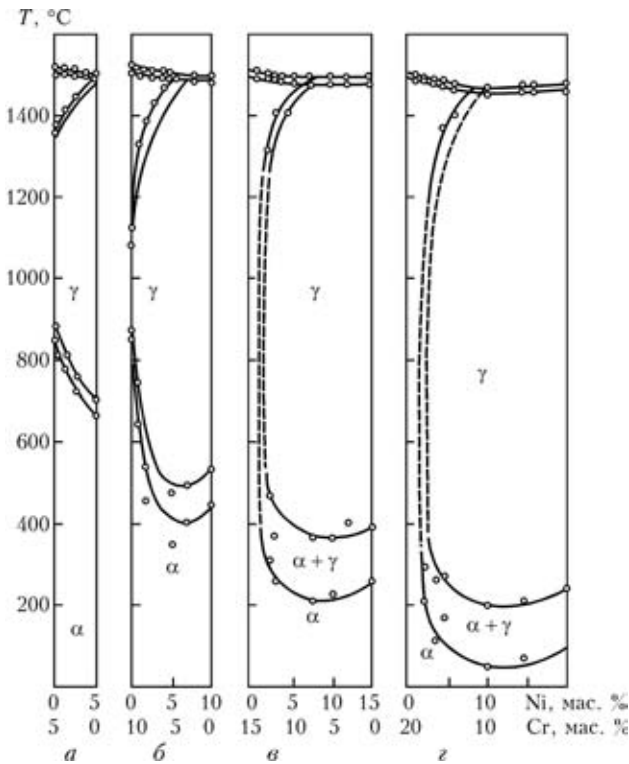


Рис. 1. Политермические разрезы сплавов тройной системы Fe-Ni-Cr: а — 95; б — 90; в — 85; з — 80 мас. % Fe

из 10 мас. % Cr, 10 мас. % Ni и 80 мас. % Fe, то рекристаллизация такого металла происходит в диапазоне низких (200...50 °C) температур. При сварке проволокой отмеченного состава процесс межфазного перехода аустенита в мартенсит ($\gamma \rightarrow \alpha$) приводит к расширению металла шва на конечной стадии охлаждения и, как следствие, к возникновению благоприятных остаточных напряжений сжатия в зоне сварного соединения. По данным работы [4], выполнение сварки с применением проволоки указанного состава позволяет повысить сопротивление усталости соединений стали почти в 2 раза. Однако широкое использование этой проволоки для сварки сталей разных классов прочности имеет и определенные недостатки. Механические характеристики металла шва в значительной мере определяются присадочным материалом и могут существенно отличаться от таковых основного металла, что нередко приводит к появлению холодных трещин в соединениях, особенно при сварке корня шва [5], и снижению сопротивления хрупкому разрушению. Следует также отметить, что высокая стоимость сварочной проволоки снижает экономичность изготовления и ремонта толстолистовых конструкций. В свете изложенного представляется, что для повышения сопротивления усталости сварных соединений не следует выполнять все слои многослойного шва соединений хромоникелевыми материалами. Предлагается сварку многослойных швов и заварку участка с удаленными усталостными тре-

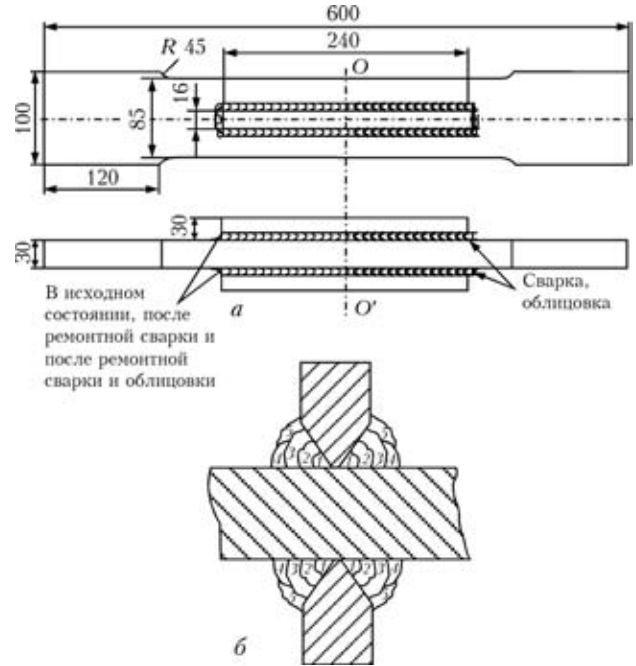


Рис. 2. Схема образца для оценки эффективности облицовки швов проволокой X10Ni10 на сопротивление усталости новых и отремонтированных сварных соединений при одночастотном нагружении (а) и схема сварки (б): 1 — первый проход (корень шва); 2 — сердцевина; 3 — заварка разделки кромок с использованием электродов УОНИ-13/55; 4, 5 — облицовочные швы, выполненные проволокой X10Ni10 в углекислом газе

щинами выполнять по обычной технологии рекомендованными материалами, а последние (облицовочные) швы — аустенитно-мартенситной проволокой.

Для оценки сопротивления усталости сварных соединений, выполненных по предлагаемой в данной работе технологии, изготовлены образцы крестообразной формы из толстолистовой стали 09Г2С (рис. 2), имеющие высокую концентрацию напряжений и растягивающие остаточные напряжения в исходном состоянии при общепринятой технологии изготовления. Все сварные швы продольных ребер образцов с левой стороны оси OO' и внутренние швы с правой ее стороны (рис. 2, а) выполнены ручной сваркой штучными электродами УОНИ-13/55 с полным проваром, а облицовочные швы ребер с правой стороны от оси OO' — аустенитно-мартенситной проволокой марки X10Ni10 диаметром 1,6 мм в углекислом газе с применением полуавтомата. Такая конструкция образца и технология изготовления позволили определить сопротивление усталости сварных соединений в исходном состоянии, после облицовки, а также ремонта сваркой и ремонта сваркой и облицовкой на одних и тех же образцах и при тех же режимах нагружения. Испытания на усталость образцов выполняли при мягком режиме от нулевого одночастотного осевого растяжения на сервогидравлической машине УРС 200/20. За критерий завершения испытаний принимали развивающуюся усталостную трещину длиной 20 мм. В процессе

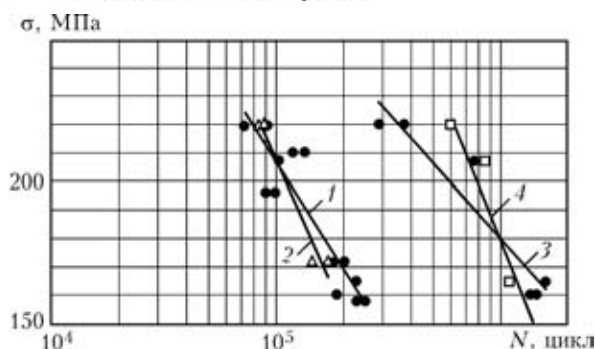


Рис. 3. Сопротивление усталости сварных соединений стали 09Г2С с продольными ребрами жесткости (рис. 2): 1 — исходная технология сварки; 2 — после первого ремонта сваркой по исходной технологии; 3 — сварка с облицовочными швами; 4 — после первого ремонта сваркой с облицовкой проволокой Х10Н10; N — количество циклов нагружения; σ — максимальные напряжения

испытаний усталостные трещины зарождались по линии сплавления шва с основным металлом в соединениях, полученных с использованием электродов УОНИ-13/55. После достижения трещиной критической длины испытания прерывали, металл с усталостной трещиной удаляли пальцевой фрезой, а образовавшееся углубление заваривали электродами УОНИ-13/55. В образцах, предназначенных для получения данных о сопротивлении усталости соединений после ремонта сваркой по обычной технологии, полную заварку разделанных трещин выполняли электродами УОНИ-13/55. Во всех остальных образцах заварку электродами осуществляли заподлицо с плоскостью образца, а последний (облицовочный) шов выполняли аустенитно-мартенситной проволокой. При этом облицовочные швы начинались и заканчивались на продольной части ребер. Последующие испытания после ремонта продолжали на первоначально заданных режимах нагружения до образования усталостных трещин заданных критических размеров в отремонтированных и исходно упрочненных облицовкой соединениях. Полученные результаты испытаний образцов на усталость, представленные на рис. 3, показали, что ремонт сваркой по общепринятой технологии позволяет практически восстановить исходную циклическую долговечность сварных соединений с высоким уровнем растягивающих остаточных свароч-

ных напряжений и присущей данному типу соединения концентрации напряжений. При выполнении сварки с облицовкой аустенитно-мартенситной проволокой соединений при их изготовлении или после ремонта циклическую долговечность металлоконструкций с такими соединениями можно повысить в 5...7 раз.

Выводы

1. Применение аустенитно-мартенситной проволоки с низкой температурой межфазного перехода $\gamma \rightarrow \alpha$ при сварке низколегированных сталей позволяет существенно повысить сопротивление усталости соединений.

2. Предлагаемая технология сварки соединений из толстолистовой стали обычными сварочными материалами и облицовкой швов аустенитно-мартенситной проволокой в отличие от сварки только аустенитно-мартенситной проволокой исключает появление внутренних трещин и соответственно повышает циклическую долговечность соединений, а также снижает затраты на изготовление и ремонт сварных металлоконструкций.

3. Циклическая долговечность сварных соединений стали 09Г2С с высоким уровнем остаточных сварочных напряжений, выполненных и отремонтированных по предлагаемой технологии, повышается в 5...7 раз по сравнению с таковой при стандартной технологии сварки.

1. Усталостные трещины в сварных сплошностенчатых пролетных строениях / Ю. П. Миролубов, Е. И. Панин, В. В. Фролов и др. // Вопросы проектирования и эксплуатации искусственных сооружений. — Л.: ЛИИЖТ, 1983. — С. 62–68.
2. Ohta A., Suzuki N., Maeda Y. Effective means for improving the fatigue strength of welded structures // *Welding World*. — 1996. — № 37. — P. 84–89.
3. Корнилов И. И. Железные сплавы. — Т. 3: Сплавы системы железо–хром–никель. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 432 с.
4. 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-1835–2000).
5. Mazel Yu. A. 10 % Gr–10 % Ni martensitic welding wires with a low temperature of the $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation // *Svarocnoe Proizvodstvo*. — 2002. — 49, № 12. — S. 10–13.

The method is suggested for increasing fatigue resistance of welded joints on thick steel plates in the as-welded condition and after repair welding of fatigue cracks by the standard technology using the recommended consumables, followed by facing the welds with austenite-martensite wire Kh10N10 that induces favourable residual compressive stresses. Cyclic fatigue life of welded joints in steel 09G2S, made and repaired by the suggested technology, was found to increase 5-7 times, compared with that by using the standard technology.

Поступила в редакцию 10.07.2006,
в окончательном варианте 22.03.2006



УДК 621.791.793

РЕГУЛЯТОР УРОВНЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВАННЫ ПРИ ЭШС

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведена структурная схема и описана система регулирования уровня металлической ванны при ЭШС с использованием индуктивного датчика с измерительным безынерционным преобразователем. Система прошла лабораторные испытания, подтвердившие ее расчетные характеристики.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, металлическая ванна, уровень ванны, автоматическое регулирование

По принятой классификации аппараты электрошлаковой сварки (ЭШС) относятся к сварочным автоматам. Однако во время сварки некоторые параметры ЭШС требуют постоянной ручной корректировки. К ним, в первую очередь, относится скорость перемещения тележки аппарата или скорость подачи электродной проволоки. Это вызвано тем, что очень трудно согласовать эти параметры таким образом, чтобы результирующая скорость перемещения поверхности сварочной ванны в точности соответствовала скорости перемещения формирующих ползунов. Даже если и удастся согласовать эти скорости, то вследствие действующих на процесс сварки возмущений равенство скоростей перемещения ползунов и поверхности сварочной ванны нарушится и потребуются ручная корректировка параметров сварки. Список возмущений довольно обширен — изменение ширины сварочного зазора вследствие неточностей сборки и сварочных деформаций, колебания напряжения сети, нестабильность прилегания ползунов и т. п. Несогласованность скорости перемещения сварочного аппарата и скорости перемещения поверхности сварочной ванны в предельных случаях может привести к проливу шлаковой ванны сверху или металлической ванны снизу формирующих ползунов. Трудности ручной корректировки скорости перемещения сварочного аппарата возрастают с увеличением скорости сварки. При скоростях сварки более 5 м/ч ручное поддержание уровня металлической ванны относительно подвижного ползуна становится практически невозможным.

Из литературных источников известно несколько систем регулирования уровня металлической ванны при ЭШС, отличающихся типами датчиков уровня и регуляторами. Предложены системы регулирования с электрическими контактными датчиками, термопарными, радиоизотопными и различными индукционными датчиками [1–

3]. Практически были реализованы системы регулирования уровня ванны с электрическим контактным датчиком и линейным регулятором [1], а также с индукционным датчиком и релейным двухпозиционным регулятором [2, 3].

В описываемой системе регулирования уровня металлической ванны (рис. 1) применен индуктивный датчик с новым измерительным преобразователем. Питание датчика осуществляется синусоидальным напряжением частотой более 10 кГц, частота пульсаций выходного напряжения измерительного преобразователя более 20 кГц. Для эффективного подавления таких пульсаций достаточно простейшего фильтра с постоянной времени более 5 мс, поэтому можно считать этот датчик с измерительным преобразователем безынерционным. В реальном рабочем диапазоне измерения линеаризованная характеристика датчика с преобразователем имеет коэффициент передачи $K_{\text{дат}} = 0,1$ В/мм.

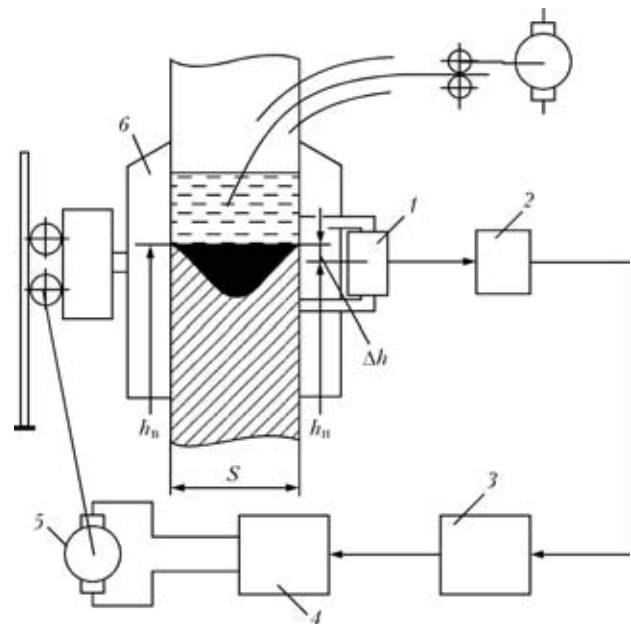


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматической стабилизации уровня жидкой металлической ванны при ЭШС: 1 — датчик; 2 — измерительный преобразователь; 3 — регулятор; 4 — блок управления двигателем; 5 — двигатель перемещения сварочной тележки; 6 — ползун; h_b — уровень жидкой металлической ванны; h_n — положение ползуна (датчика уровня); Δh — ошибка регулирования уровня ванны

© Ю. Н. Ланкин, 2007

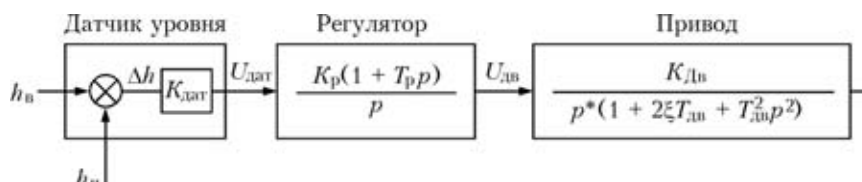
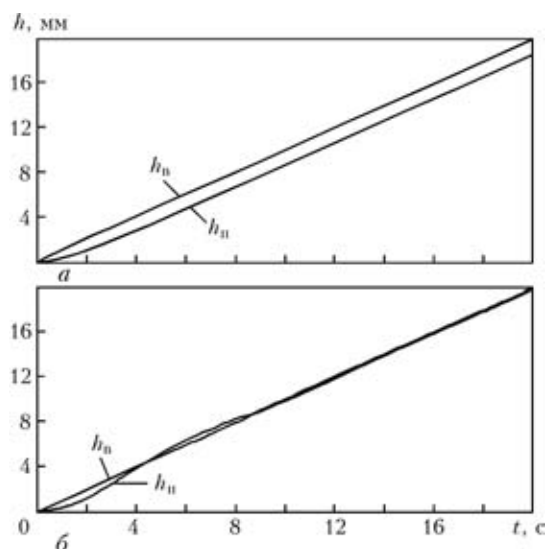


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования

Рис. 3. Кривые слежения системой управления за изменением уровня жидкой металлической ванны: а — ПИ-регулятор ($K_p = 10$); б — ПИ-регулятор ($K_p = 10$, $T_p = 10$ с)

В качестве привода перемещения тележки использовали привод, описанный в работе [4]. Анализ переходных процессов по скорости привода позволяет аппроксимировать его колебательным звеном с коэффициентом передачи $K_{дв} = 0,5$ мм/(с·В), постоянной времени $T_{дв} = 0,025$ с и коэффициентом затухания $\xi = 0,35$.

Структурная схема системы регулирования уровня приведена на рис. 2. Для общности на схеме изображен пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор. Благодаря двигателю тележки в контуре регулирования объект управления обладает астатизмом первого порядка. Таким образом, даже при применении простейшего пропорционального (П) регулятора ($T_p = 0$) система обеспечивает нулевую ошибку стабилизации уровня металлической ванны и отличные динамические характеристики регулирования. Однако во время сварки из-за плавления электродов уровень ме-

таллической ванны непрерывно возрастает, т. е. система должна работать как следящая. В этом случае появляется ошибка слежения, прямо пропорциональная скорости изменения уровня металлической ванны и обратно пропорциональная коэффициенту передачи регулятора K_p (рис. 3, а). Ошибку слежения можно свести к нулю, применив ПИ-регулятор. На рис. 3, б приведены кривые слежения за уровнем ванны для ПИ-регулятора с $K_p = 10$ и $T_p = 10$ с. Реализация аналогового интегратора с постоянной интегрирования не менее 10 с довольно сложная задача. Гораздо проще увеличивать коэффициент передачи П-регулятора до значения, при котором ошибка слежения снижается до приемлемого уровня. Параметры системы регулирования уровня таковы, что коэффициент передачи можно увеличивать до значительного уровня без потери устойчивости системы. Как видно из рис. 3, а, при $K_p = 10$ ошибка слежения Δh за ванной, перемещающейся со скоростью 1 мм/с (3,6 м/ч), составляет 1,3 мм. Увеличение K_p до 50 снижает ошибку слежения за уровнем ванны до значения 0,23 мм, что более чем достаточно для ЭШС. С увеличением коэффициента передачи П-регулятора пропорционально снижается и время отработки возмущений и управляющих воздействий.

Система регулирования уровня металлической ванны прошла лабораторные испытания, подтвердившие ее расчетные характеристики.

1. *Электрошлаковая сварка* / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Машгиз, 1959. — 168 с.
2. *Автоматизация сварочных процессов* / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. — Киев: Виц. шк., 1986. — 296 с.
3. *Бондаренко О. П., Поповский В. Ю.* Регулирование уровня металла в процессах электрошлаковой технологии // *Автоматическое управление процессами сварки и нанесения покрытий*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. — С. 65–72.
4. *Ланкин Ю. Н., Масалов Ю. А., Байштрук Е. Н.* Схема управления приводами сварочных установок // *Там же*. — 2006. — № 7. — С. 57–59.

The schematic diagram is given and system of adjustment of metal pool level in ESW, using an inductive sensor with a measuring high-speed transducer is described. System has passed laboratory trials confirming its design characteristics.

Поступила в редакцию 17.11.2006



НОВОСТИ



НКМЗ ПОДВЕЛ ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2006 г.

Новокраматорский машиностроительный завод (г. Краматорск Донецкой обл.), как рассказал на пресс-конференции 26 января президент АО Г. М. Скударь, закончил 2006 год с ростом товарного выпуска по отношению к 2005 г. на 29,5%. Средняя заработная плата выросла до 2212 грн. Численность персонала на заводе уменьшилась на 480 человек.

Энергозатраты в абсолютных величинах в течение года уменьшились, и это означает, что весь рост промышленного производства осуществлен за счет внедрения новых эффективных технологий и программ ресурсосбережения. За счет внедрения программ эффективности в 2006 г. получена экономия в сумме 81 млн грн.

В 2006 г. в цехах НКМЗ были установлены 43 новых станка с ЧПУ и обрабатывающих центров. Это дает возможность за один год повысить производительность станочных работ на 15 %.

На НКМЗ сейчас насчитывается около 3,5 тыс. автоматизированных рабочих мест.

В 2006 г. НКМЗ сдал в эксплуатацию такие знаковые объекты, как ТЛС 3000 на Алчевском МК (он сразу же выведен на проектную мощность), 64 рудоразмольные мельницы, установлен ковш-печь и вакууматор на ЭМСС (Краматорск Донецкой обл.), установлен ковш-печь и МНЛЗ на Омутнинском метзаводе в Кировской области (Россия). Впервые в практике предприятия вместе с днепропетровскими учеными спроектирована и изготовлена установка прямого восстановления железа. Это изобретение запатентовано.

В 2007 г. НКМЗ ставит задачу произвести продукции на 2,5 млрд грн., довести среднюю заработную плату до 2500 грн. Если в 2006 г. в развитие предприятия вложено 240 млн грн., то в 2007 г. инвестиции будут оцениваться уже в 380 млн грн. В 2007 г. НКМЗ собирается приобрести 26 новых станков.

В 2007 г. на НКМЗ будут изготовлены две МНЛЗ для Новолипецкого меткомбината, выполнена реконструкция стана 2000 Магнитогорского меткомбината, изготовлены три миксера емкостью 600 т для транспортировки чугуна, шесть экскаваторов. Все это соответствует стратегической карте развития завода до 2011 г.

Цель стратегии НКМЗ — довести объем выпускаемой продукции до 1 млрд дол., уровень средней зарплаты — до 1 тыс. дол.



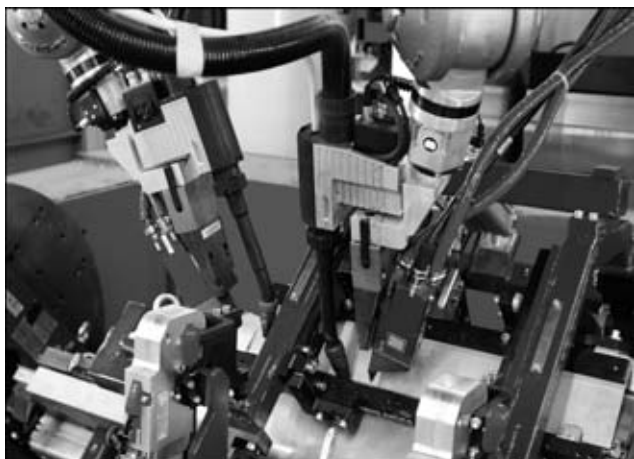
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА СМТ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОРПУСОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ КОНВЕРТОРОВ

Технологию СМТ используют для получения 23 м швов на каждом корпусе катализатора массой 127 кг, предназначенного для автобусов Mercedes. При этом процесс сварки СМТ обеспечивает снижение деформации, отсутствие брызг и повышение геометрической точности.

Фирма «Abgassysteme GmbH & Co. KG» разрабатывает и производит на предприятии в г. Унна (Германия) системы каталитических конвертеров для дизельных двигателей, предназначенных для работы на тяжелых промышленных машинах. В соответствии с требованиями к очистке корпус такого катализатора, изготавливаемый из нержавеющей стали, необходимо соединять таким образом, чтобы обеспечить его газонепроницаемость. Для этого используют процесс холодного переноса металла (Cold Metal Transfer process-SMT) от фирмы «Fronius».

Система избирательного каталитического восстановления в конвертерах обеспечивает снижение выбросов оксида азота более чем на 80 %. Наряду со сложным технико-концептуальным решением такие катализаторы должны иметь газонепроницаемый, механически устойчивый и химически стойкий корпус. Поэтому корпус каждого каталитического конвертера подвергается испытаниям под давлением, чтобы обнаружить наличие каких-либо дефектов, проникаемых для газа. Каталитическую подложку могут повредить инородные тела, в том числе, например, брызги, образуемые при сварке. Поэтому их наличие в высокоактив-





ной химической камере реактора, какой и является катализатор, совершенно недопустимо.

На фирме «Purem» сварка — это способ соединения № 1. Например, при изготовлении корпуса катализатора для автобусов Мерседес сваривают около 30 м швов. Производственная линия «Purem» для соединения модулей катализаторов состоит из четырех роботизированных ячеек, оснащенных восьмью сварочными системами СМТ фирмы «Fronius». СМТ в отличие от традиционных процессов имеет три важных преимущества: колебательное движение проволоки, обеспечиваемое цифровым управлением процесса, значительное снижение тепловложения в изделие и перенос металла без брызг.

При выполнении роботизированной сварки «Purem» на 100 % задействует также СМТ. До установки новой системы летом прошлого года фирма «Purem» — изготовитель катализаторов — пригласила к себе специалистов фирм «Reis Robotics» и «Fronius». Инициаторы этого тесного сотрудничества, которое продолжалось несколько месяцев, были очень довольны полученными результатами. Основное преимущество СМТ дополняется еще одним, которое присуще самой системе: робот сопрягается с системами Fronius.

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «РЕСУРС» ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОТЛОВ, КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Исходя из состояния экономики Украины и ее энергетических ресурсов актуальна проблема продления ресурса действующего энергетического оборудования при одновременном снижении тепловых потерь через их теплоизоляционные конструкции. Для своевременного определения мест потери теплоты, оперативного контроля теплоизоляционных характеристик материалов, используемых при ремонтно-восстановительных работах, и установления соответствия их действи-

тельных значений рекламируемым необходима аппаратура для измерения теплотерь и термического сопротивления. Для решения этой задачи учеными Института технической теплофизики НАН Украины создан универсальный измерительный комплекс «Ресурс». Эта разработка базируется на 50-летнем опыте по созданию приборов для прямых измерений плотности теплового потока, температуры и теплофизических свойств.

Компьютеризированный измерительный комплекс «Ресурс» предназначен для определения тепловых потерь энергетических объектов, термического сопротивления и коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов и покрытий. Он позволяет закрыть приборную нишу по энергетическому аудиту. Этим комплексом целесообразно оснастить энергогенерирующие компании, коммунальные предприятия, службы энергонадзора и сертификационные центры. Целесообразно определить новые нормативные значения теплотерь водонагревательных котлов от внешнего охлаждения.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОТОЧНОГО МОНИТОРИНГА РЕАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ С ЦЕЛЬЮ ПРОДЛЕНИЯ ИХ РЕСУРСА

Магистральные трубопроводы, являющиеся линейно-удлиненными децентрализованными промышленными объектами, в процессе эксплуатации испытывают длительные повторно-статические нагрузки, техногенное влияние и влияние окружающей среды. Именно такие условия эксплуатации вызывают технологические отказы, а в отдельных случаях серьезные аварии трубопроводов. Обеспечение надежной и эффективной работы магистральной трубопроводной системы вместе с ростом производственной информации требует от оператора эффективного и качественного решения как текущих, так и перспективных



задач. В связи с этим многие предприятия в своей работе используют технологии географических информационных систем. Однако они выполняют информативную роль и не являются инструментом для выдачи управленческих решений.

Учеными Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработана методология и создана экспертная система для точного мониторинга реального состояния трубопроводов с использованием идеологии риск-анализа как наиболее эффективной стратегии обеспечения надежности. Разработанная экспертная информационно-аналитическая система предназначена для выполнения трех основных функций: интеграции данных (сбора и сбережения информации об объектах трубопроводной системы, режимах нагружения, расчетов давлений и т. п.), расчетов рисков (расчетов напряженно-деформированного состояния трубопровода, оценки опасности дефектов, расчетов вероятности разрушения дефектов, определения социальных и экономических последствий от разрушения трубопровода) и управления рисками (уменьшения риска определенными эксплуатационными средствами). В настоящее время система внедряется в ГК «Укртрансгаз».

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС С УЧЕТОМ ИХ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «3D PipeMaster»

При анализе состояния оборудования атомных электростанций (АЭС) особое внимание уделяется проведению прочностных поверочных расчетов трубопроводов, подверженных комплексному на-

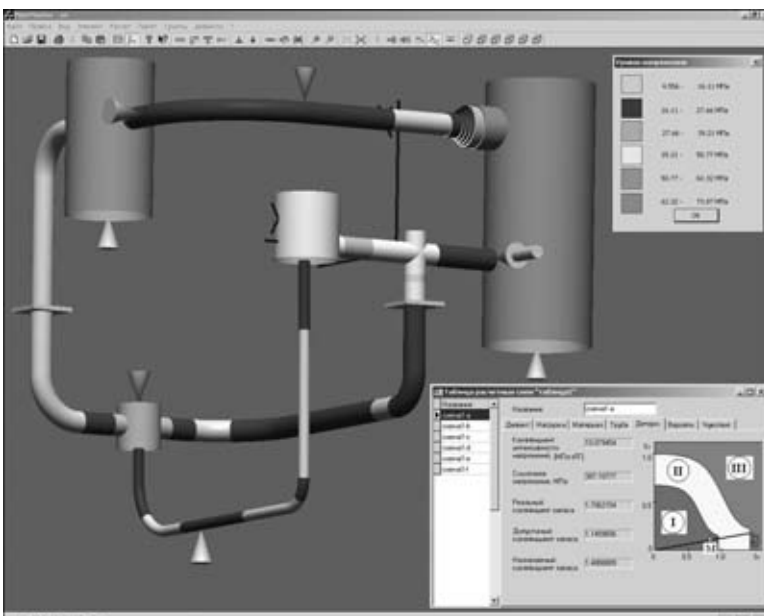
ружению (внутреннее давление, весовые, температурные и компенсационные нагрузки). Сложная пространственная конфигурация оси трубопровода в сочетании с высокой степенью статической неопределимости делает эту задачу весьма сложной. Наличие трения в опорах, необходимость учета которых обусловлена требованиями действующих норм, приводит к нелинейной задаче, что еще более усложняет расчеты как минимум на порядок.

При наличии в трубопроводе дефекта дальнейший прочностной анализ обычно выполняется путем рассмотрения участка трубопровода как оболочки, находящейся в заданном глобальном поле нагружения. Современные требования к анализу состояния оборудования АЭС предполагают наличие компьютерных программ, в рамках которых предусмотрены:

- визуализация компьютерного портрета трубопроводной системы;
- оперативное выполнение расчетов на прочность при изменениях в рабочем режиме или схеме трубопровода;
- индивидуальная оценка опасности обнаруженных дефектов при реальных условиях нагружения;
- хранение и обработка данных результатов расчета для принятия аргументированных решений относительно остаточного ресурса трубопровода, объемов диагностики, периодичности и первоочередности ремонтных работ.

Учеными Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработаны методологические основы построения компьютерной системы для оценки реального состояния, остаточной прочности и долговечности сложных пространственных трубопроводных систем действующих АЭС.

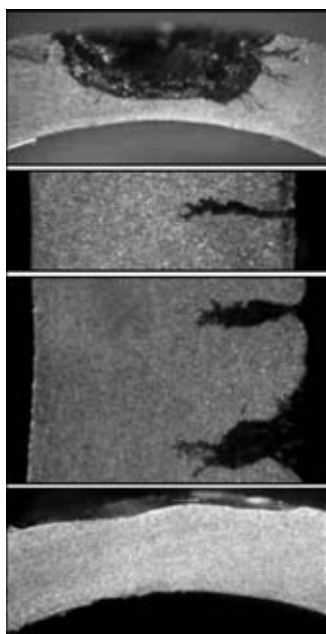
Разработана компьютерная система и программный комплекс «3D PipeMaster» для оценки реального состояния, остаточной прочности и долговечности сложных пространственных трубопроводных систем с учетом основных факторов нагружения и наличия дефектов. Для расчета глобального напряженного состояния трубопроводной системы используется метод начальных параметров. Оценка дефектов выполняется с применением двухкритериального подхода, в котором для нахождения расчетных параметров используются разработанные авторами решения. Для хранения всей информации о трубопроводе особое внимание в программе уделено созданию общей базы данных.





АТЛАС ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБАХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ЭНЕРГООБЛОКОВ АЭС С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР

Группой ученых ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины создан атлас эксплуатационных дефектов в теплообменных трубах парогенераторов, выявленных и проконтролированных на демонтированном парогенераторе Южно-Украинской АЭС на различных этапах (в парогенераторе, после вырезки, после дезактивации). Дефекты были выявлены вихретоковым контролем, систематизированы, а затем исследованы металлографически. Установлены четыре типа

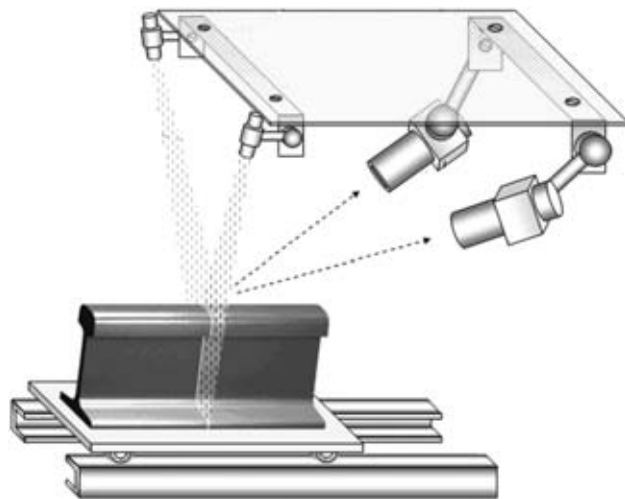


дефектов: коррозионные язвы, растрескивание, одиночные трещины, пятна коррозии. Физическая природа всех типов поражений определена как коррозионное растрескивание под напряжением. Разница лишь в количественной доле участия коррозии и напряжений. Такое распределение дефектов по типам, которое дает представление о степени их опасности, целесообразно при контроле и глушении дефектных труб.

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Основанием для продления срока службы железнодорожных путей могут стать результаты метрологических измерений и неразрушающего контроля рельсов. В комплекс мероприятий по определению состояния пути входят измерения геометрии каждого рельса отдельно, а также расстояние между ними. Для количественного измерения геометрии рельсы моделируются в виде линий в трехмерном пространстве, которые затем проецируются на двумерные плоскости. По завершении измерений каждый результат, представляющий интерес или вызывающий тревогу, локализуется по его фактическому местоположению.

Применяемые в настоящее время технические средства контроля наиболее часто используют ме-



ханические датчики с подвижными контактами, которые находятся в постоянном соприкосновении с рельсами. По перемещению контактов определяются геометрические параметры пути. Такие системы представляют собой существенный прогресс по сравнению с ручными измерительными средствами. Однако системы, в которых используются контактные датчики, имеют общий недостаток — они не могут обеспечить достаточную точность измерений при движении вагона-путеизмерителя с высокой скоростью, поскольку в этих условиях не сохраняется постоянный контакт датчиков с рельсами. Поэтому для получения искомым значений параметров геометрии пути наиболее целесообразно использование средств технического зрения.

Специалистами ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработаны аппаратные и программные средства телевизионной сенсорной системы для автоматической оценки геометрии профиля железнодорожных рельсов. Предложены конструктивные решения для сенсорного блока системы, включающей два измерительных оптических канала, которые основаны на методе лазерной триангуляции. Разработана методика калибровки сенсорного блока с помощью плоского шаблона и построено математическое обеспечение для реконструкции профиля рельсов по двум цифровым изображениям.

Разработанные аппаратные и программные средства макета телевизионной сенсорной системы могут быть использованы при создании промышленных образцов систем автоматической диагностики параметров железнодорожных путей.

СИСТЕМА ECO-WELD

Для представления и обработки результатов первичной гигиенической оценки сварочных материалов и способов сварки в ИЭС им. Е. О. Патона разработана компьютерная информационно-поис-



ковая система баз данных гигиенических характеристик сварочных аэрозолей (СА) ECOWELD — (Экология сварки), состоящая из трех баз данных: для покрытых электродов, сварочных материалов для механизированной сварки и сварочных флюсов. В каждой из баз учтены свои особенности и характерные факторы, влияющие на уровень, химический состав и токсичность СА. Исходными данными, вводимыми в эту систему, являются уровень выделений и химический состав СА, остальные необходимые для всесторонней экологогигиенической оценки показатели выводятся на экран монитора и распечатываются в виде документа. Кроме того, в зависимости от марки сварочного материала информационная система выдает рекомендации о необходимых средствах защиты сварщиков и окружающей среды, основанных на гигиенической и химической классификации СА и способах сварки, при которых они образуются.

БЫСТРАЯ ОБРАБОТКА — ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ СВАРКА МАГ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Компании SSAB Oxelösund и AGA, Linde Group начали сотрудничество в области разработки процесса сварки для высокопрочных сталей. Этот процесс получил название быстрой обработки и

обеспечивает увеличение скорости сварки в три раза.

Высокие прочность сварного соединения, скорость сварки и малая деформация являются главными преимуществами нового процесса сварки высокопрочных сталей. Процесс предусматривает использование существующего оборудования для сварки МАГ, следовательно, не требует значительных инвестиций. «Быстрая обработка» представляет собой усовершенствованный процесс МАГ и позволяет сваривать высокопрочные стали в три раза быстрее, чем при обычном процессе МАГ.

С помощью данного процесса обеспечивается высокая статическая прочность сварных соединений высокопрочных сталей, в том числе при применении присадочного материала с более низкой прочностью. Такие результаты получены при испытании стыковых сварных соединений, высокопрочной конструкционной стали WELDOX 1100 ($\sigma_{0,2} = 1100$ МПа).

Поскольку данный способ сварки по сравнению с традиционными процессами сварки производится с пониженным количеством подводимого тепла, другими словами, с низким количеством энергии на единицу времени, деформации в соединениях будут меньше, что также означает меньшее количество деформаций для всей конструкции. Это значительно увеличивает область сокращения объемов правки в конструкции после сварки.

Компания HIAV, являющаяся производителем погрузочных кранов в Сарагосе (Испания), будет первой, кто оценит процесс в сварочном производстве, используя стали WELDOX 700 и WELDOX 900 при толщине листа 7...8 мм. В этом случае процесс будет использован при выполнении стыковых сварных соединений в конструкциях погрузочных кранов. Таким образом компания HIAV сможет, во-первых, добиться увеличения производительности процесса сварки, во-вторых, обеспечить высокую статическую прочность сварных соединений.

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Приазовский государственный технический университет (г. Мариуполь)

В. А. Волков защитил 20 октября 2006 г. кандидатскую диссертацию на тему «Разработка высококорресурсных плазмотронов для обработки дисперсных материалов».

Диссертация посвящена разработке высококорресурсных плазмотронов для обработки дисперсных

материалов. Плазменно-технологические процессы с дисперсными веществами приобретают все большее значение. Напыление, сфероидизация, получение ультрадисперсных порошков микронного и субмикронного размера, выращивание монокристаллов, формирование конденсационных пленок — вот далеко неполный перечень их применения. Однако использование в плазмотронах



плазмообразующего газа (воздуха) и смеси воздуха с кислородом и углеводородными газами привело, с одной стороны, к увеличению их мощности, а с другой, — к резкому снижению их ресурса работы.

Обзор известных результатов теоретических и экспериментальных исследований по использованию плазмотронов для обработки дисперсных материалов показал, что общими их недостатками являются: низкие ресурс работы (до 50 ч); тепловой КПД нагрева вещества (30...40%), производительность (10...15 кг/ч) и высокие энергозатраты (25...27 кВт·ч/кг). Исходя из этих недостатков были выявлены основные направления повышения эффективности плазмотронов для обработки дисперсных материалов. Поиск путей разрешения данных проблем позволил выявить конструктивные решения и условия, способствующие повышению ресурса работы и эффективности плазмотронов и создать плазмотроны с полым медным цилиндрическим катодом мощностью 36 кВт, с торцевой термохимической вставкой, удлиненной межэлектродной вставкой (МЭВ) 60 кВт и малоэрозионным катодным узлом мощностью 350 кВт. В разработанных конструкциях впервые применены способы повышения ресурса работы и эффективности за счет принудительного распределения катодной и анодной привязок дуг, применения удлиненной МЭВ, а также малоэрозионного секционированного катодного узла, что позволило в плазмотроне с полым цилиндрическим катодом при токе дуги 300 А достичь ресурса работы более

90 ч, в плазмотроне с малоэрозионным катодным узлом при токе дуги 600 А — свыше 500 ч. В плазмотронах мощностью 36 и 60 кВт дополнительно повышена эффективность обработки дисперсных материалов и ресурса работы за счет наложения на положительный столб дуги внешних электрических возмущений. На основе известных теоретических исследований разработаны теоретические основы расчета плазмотронов.

Значительная часть экспериментальных исследований обобщена в виде графиков и критериальных зависимостей, удобных для применения в инженерной практике. С целью практического выявления полезности разработанных плазмотронов были созданы плазменные комплексы для обработки огнеупорных поверхностей химико-металлургического оборудования, упрочнения продукционных кислородных фурм и получения кислородных и бескислородных порошков. Разработана математическая модель и алгоритм расчета плазменного диспергирования порошка, которые из всех известных моделей применительно к нагреву частиц в активной зоне струи являются наиболее простыми и достаточно хорошо описывают процесс нагрева частицы до температуры плавления материала. Разработанные плазмотроны нашли применение при обработке огнеупорных материалов, восстановлении изношенных автотракторных узлов и деталей, удалении дефектов с поверхности шеек прокатных валков и в ряде других производств.

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Устройство для ультразвуковой обработки материалов, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено накидной гайкой, расположенной на наружной торцевой стороне корпуса со стороны системы упругоинерционных элементов, и расположенным на наружной стороне корпуса съемным приливом для крепления устройства к станку при работе в стационарном режиме, акустическая система дополнительно снабжена с торцевой стороны концентратора сменными резонансными волноводами, предназначенными для обеспечения необходимых колебательных смещений и напряжений и передаче их к обрабатываемой поверхности в зависимости от требований технологического процесса. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2282525. Ю. В. Холопов [24].

Резак для газокислородной резки металлоконструкций, отличающийся тем, что его смеситель выполнен в головке в виде цилиндрической инжекторной полости с двумя входами и выходом, а в головке выполнено расположенное над сме-

сителем и соосное с ним калиброванное отверстие, причем смеситель и калиброванное отверстие расположены параллельно оси мундштуков, отверстие для подачи подогревающего кислорода сообщено с одним входом в инжекторную полость через калиброванное отверстие, а отверстие подачи горючего газа сообщено с другим входом в инжекторную полость, выход которой сообщен с входным цилиндрическим участком кольцевого зазора, при этом диаметр калиброванного отверстия в 2,16...2,4 раза меньше диаметра инжекторной полости и в 2,5...3 раза меньше диаметра отверстия подачи горючего газа. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2283209. Г. Л. Хачатрян, Ю. К. Родин, С. В. Соколов [25].

Устройство для дуговой сварки на переменном токе, отличающееся тем, что в него введены резистор и встречно-параллельно соединенные тиристоры с отсекающими диодами, при этом тиристоры с отсекающими диодами подключены к зажимам питающей сети через резистор, шунтирующий первичную обмотку двухобмоточного импульсного трансформатора, конденсаторы установлены между общими точками соединения тиристоров с диодами и зажимами питающей сети, а вторичные обмотки силового и двухобмоточного импуль-

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



сного трансформаторов соединены параллельно. Патент РФ 2283210. Г. А. Шадрин, Е. С. Молчалкин (Якутский госуниверситет им. М. К. Аммосова) [25].

Способ получения слоистых плит из алюминиевых сплавов, отличающийся тем, что при сборке пакета дополнительно размещают лакирующие планшеты из сплава алюминия на внешних поверхностях заготовок, а прокатку проводят вначале при отношении длины дуги захвата (L) к текущей толщине раската (H) в пределах $0,1 \dots 0,3$ при относительных обжатиях (ϵ) за проход от $1,0$ до $3,0$ %, а затем при отношении L/H в пределах $0,3 \dots 2,5$ и ϵ от $3,0$ до $25,0$ %. Патент РФ 2283211. А. П. Петров, Г. Н. Шленский, Я. Л. Соломоник и др. (МАТИ) [25].

Устройство для газопламенных работ, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит подпитывающий сосуд, соединенный трубопроводом для отвода полученного гремучего газа с гидрозатвором и горелкой, капилляр и клапан, а электролизер выполнен с проточной подпиткой и состоит из чередующихся биполярных электродов, диэлектрических прокладок, концевых плит, выполняющих функции анода и катода, крепежных деталей, входного и выходного патрубков, при этом в каждом биполярном электроде выполнены расположенные на разной высоте два отверстия, а электроды размещены между концевыми плитами, разделены диэлектрическими прокладками и стянуты крепежными деталями, выходной патрубок соединен трубопроводом с подпитывающим сосудом, соединенным через капилляр и клапан с входным патрубком, причем подпитывающий сосуд электрически соединен с концевой плитой, выполняющей функцию анода, а клапан электрически соединен с концевой плитой, выполняющей функцию катода. Патент РФ 2283736. А. А. Гамазов (Кубанский ГТУ) [26].

Плазменная горелка, содержащая корпус с разрядной камерой, соосно к которой прикреплены сопло–анод, катод, кнопка, резервуар для жидкости, заполненный влагопитывающим материалом, подпружиненная к соплу–аноду теплопроводная трубка–испаритель, в которой установлены на упруго деформируемых элементах электроизоляционная трубка и подпружиненный к кнопке катододержатель, опирающийся плоским торцом на полусферу кнопки, трубка–испаритель имеет каналы, выходящие в разрядную камеру и в полость между электроизоляционной трубкой и катододержателем, а влагопитывающий материал соприкасается с развитой наружной поверхностью трубки–испарителя, отличающаяся тем, что влагопитывающий материал резервуара для жидкости соприкасается с развитой наружной поверхностью трубки–испарителя через размещенную между ними металлическую сетку, которая плотно и упруго охватывает наружную поверхность трубки–испарителя, при этом топка снабжена соосно и жестко прикрепленной к ней резьбовой втулкой, соединенной с резьбовым концом катододержателя, а ее опорная поверхность выполнена конусной. Патент РФ 2283737. В. Г. Гиневич, М. П. Карташов, Г. Г. Тимошенко [26].

Установка для прецизионной лазерной обработки изделий, отличающаяся тем, что делитель луча содержит кассету, выполнен подвижным и снабжен приводом линейного перемещения вдоль оптической оси лазерного луча и приводом вращения многогранной призмы вокруг оптической оси лазерного луча в плоскости, перпендикулярной этой оси, при этом оба привода электрически связаны с блоком управления, а расположение делителя луча в исходном положении ограничено установочным размером l_0 от основания многогранной призмы до главной плоскости фокусирующего объектива, величина которого определяется из соотношения $l_0 =$

$= s/2tg\delta$, где s — размер основания многогранной призмы; δ — угол отклонения многогранной призмы, определяемый из соотношения $\delta = \beta_2 - w$, где w — преломляющий угол многогранной призмы; β_2 — угол преломления луча к перпендикуляру преломляющей грани призмы, синус которого равен $\sin\beta_2 = 1,5\sin w$. Патент РФ 2283738. В. А. Гребенников, Г. И. Джанджгава, В. С. Коврижкин и др. (ОАО «Раменское приборостроительное КБ») [26].

Узел сварного соединения трубопровода, содержащий металлические трубы с нанесенным на их внутреннюю поверхность защитным покрытием и втулку, размещенную внутри труб. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2283739 (ООО «Целер») [26].

Способ получения сварного соединения трубопровода, включающий выбор типа сварного соединения, подготовку кромок соединяемых металлических труб, нанесение на внутреннюю поверхность соединяемых труб защитного покрытия, размещение на внешней поверхности устанавливаемой внутрь труб втулки уплотнительных элементов, термоизоляционного и герметизирующего слоев, установку втулки внутрь свариваемых труб и сварку. Приведены отличительные признаки способа. Патент РФ 2283740 (ООО «Целер») [26].

Припой на основе никеля, отличающийся тем, что он дополнительно содержит кобальт, алюминий, углерод, ниобий при следующем соотношении компонентов, мас. %: $6,0 \dots 10,0$ хрома; $0,1 \dots 0,7$ железа; $0,6 \dots 1,3$ бора; $0,05 \dots 0,15$ кремния; $2,0 \dots 5,0$ вольфрама; $1,8 \dots 2,2$ молибдена; $8,0 \dots 10,0$ кобальта; $4,0 \dots 6,0$ алюминия; $0,05 \dots 0,2$ углерода; $3,0 \dots 5,0$ ниобия; остальное никель. Патент РФ 2283741. Е. Н. Каблов, В. И. Лукин, В. С. Рьльников и др. (ФГУП «ВИАМ») [26].

Припой на основе никеля для соединения никелевых жаропрочных сплавов, отличающийся тем, что он дополнительно содержит кобальт, железо при следующем соотношении компонентов, мас. %: $25,0 \dots 32,0$ хрома; $7,5 \dots 9,0$ алюминия; $1,0 \dots 2,5$ вольфрама; $0,6 \dots 1,5$ титана; $0,05 \dots 0,6$ молибдена; $0,05 \dots 0,3$ кремния; $0,1 \dots 1,0$ кобальта; $0,06 \dots 0,5$ железа; остальное никеля. Патент РФ 2283742. Е. Н. Каблов, В. И. Лукин, В. С. Рьльников и др. (То же) [26].

Устройство для кантования тяжеловесных изделий при сварке, отличающееся тем, что подающая площадка выполнена в виде направляющих, образующих две пары — верхнюю и нижнюю, равноудаленные друг от друга зазором, обеспечивающим возможность автономной их установки относительно корпуса, каждая из направляющих подающей площадки и рабочие поверхности зубьев приемной площадки снабжены опорными пластинами из более мягкого материала, чем материал кантуемого изделия, при этом опорные пластины, установленные на направляющих подающей площадки выполнены конфигурацией, соответствующей конфигурации наружной поверхности кантуемого изделия. Патент РФ 2283743. В. В. Башкатов (ОАО «Уралхиммаш») [26].

Способ сварки, предназначенный для формирования жидкой наплавленной части на основном материале, которым может быть один из следующих материалов: монокристаллический материал и кристаллический материал, полученный в результате направленной кристаллизации и прекурсативающий формирование на основном материале некоторого множества наплавленных частей при условии поддержания предварительно установленного зазора между примыкающими друг к другу наплавленными частями, формирование соответствующей наплавленной части в каждом из предварительно установленных зазоров, при этом форми-



рование наплавленной части выполняют в направлении, перпендикулярном направлению роста кристалла основного материала. Патент РФ 2284251. С. Симохата, С. Мега, К. Киш, С. Катаяма (Мицубиси Хеви Индастриз, Лтд., Япония) [27].

Способ сварки плавлением стыковых соединений биметалла на основе слоев из алюминиевых сплавов и стали или титана с одно- или двусторонними швами, отличающийся тем, что выполняют ступенчатую разделку свариваемых кромок, удаляя слой из алюминиевого сплава на величину, составляющую 0,2...0,9 толщины стального или титанового слоя, а разделку между свариваемыми кромками слоев из алюминиевых сплавов заполняют не менее чем за два прохода. Патент РФ 2284252. В. И. Павлова, Е. П. Ококин, В. М. Зарубин (ФГУП «ЦНИИКМ «Прометей») [27].

Способ удаления дефектов в паяных соединениях, включающий нагрев дефектного паяного соединения до температуры расплавления припоя, отличающийся тем, что на дефектное паяное соединение дополнительно подают ультразвуковые колебания частотой 20...30 кГц в течение 15...30 с. Патент РФ 2284883. А. Г. Астафьев (ОАО Корпорация «Иркут») [28].

Источник питания для дуговой сварки, отличающийся тем, что в него введены конденсаторы, импульсный трансформатор и встречно-параллельно соединенные тиристоры с отсекающими диодами, подключенные к питающей сети, причем конденсаторы включены между общими точками соединения тиристоров с диодами и первичной обмоткой импульсного трансформатора, соединенной с выводом второй первичной обмотки, вторичные обмотки трансформаторов соединены параллельно, а управляющие входы тиристоров подключены к блоку управления. Патент РФ 2284884. Г. А. Шадрин, Ю. А. Кондратьев (Якутский госуниверситет им. М. К. Аммосова) [28].

Способ сварки титана и его сплавов, включающий выполнение углового или таврового соединения с защитой обратной стороны сварного шва, отличающийся тем, что упомянутую защиту осуществляют путем подачи защитного газа через предварительно выполненные в одном из свариваемых элементов отверстия в канал, предварительно выполненный на внутренней поверхности того же элемента с возможностью подачи защитного газа по всему периметру свариваемого шва. Патент РФ 2284886. И. В. Боровушкин [28].

Способ формирования рельефа на поверхности изделия, включающий облучение поверхности изделия лазерным излучением и нагрев до расплавления материала изделия, отличающийся тем, что со стороны формируемого рельефа устанавливают подложку на расстоянии $L \leq 10h$ от поверхности изделия, где h — толщина обрабатываемого изделия, облучение осуществляют со стороны противоположной той, на которой формируют рельеф, а в процессе нагрева обрабатываемого изделия проплавливают его на всю толщину и перемещают расплавленный материал в сторону подложки. Патент РФ 2284887. В. Н. Смирнов, И. В. Смирнов [28].

Способ определения износа ролика-электрода при электродноконтактной наплавке, отличающийся тем, что отпечатки рабочей поверхности роликов-электродов выполняют путем наплавки присадочной проволоки на образец, замеряют удлинения и относительные осевые деформации присадочной проволоки, последние сравнивают и определяют износ ролика-электрода. Патент РФ 2284888. М. З. Нафиков, И. И. Загиров (Башкирский госагруниверситет) [28].

Способ пайки алюминия и его сплавов, включающий приготовление многокомпонентного порошкообразного припоя-пасты на основе порошка чистого алюминия, порошка припоя на основе алюминия и связующего высокомолекулярного вещества, размещение припоя-пасты между паяемыми изделиями и последующий их многоступенчатый нагрев. Приведены отличительные признаки способа. Патент РФ 2285593. Н. П. Литвиненко, В. Ф. Шаханов (ФГУП НПП «Исток») [29].

Устройство для термоимпульсной зачистки отверстий и заусенцев, отличающееся тем, что на внутренней стенке теплоотводящего стакана непосредственно над подвижным его дном выполнен кольцевой выступ, а в срединной части на наружной поверхности стакана — кольцевой фланец, разделяющий межрубашечное пространство на верхнюю и нижнюю полости, при этом для прохода жидкости из нижней полости в верхнюю в тело фланца вмонтированы клапаны одностороннего действия, а на наружной стенке корпуса установлен перепускной вентиль для обратного перетока жидкости, кроме того, в каждой из полостей межрубашечного пространства расположено по плавающему кольцу. Патент РФ 2285594. И. А. Чечета, А. В. Гончаров, В. Л. Зенин, В. И. Биркин (Воронежский ГТУ) [29].

Способ образования стыковых сварных швов на трубах при производстве трубных шпилек, отличающийся тем, что в качестве присадочного материала используют промежуточный элемент в виде ступенчатого кольца, который устанавливают между сопрягаемыми торцами труб при сборке, при этом перед сборкой сопрягаемые концы труб раздают из цилиндра в цилиндр, собирают трубы с промежуточным элементом на оправке, прикладывают осевое усилие сопрягаемым торцевым поверхностям калиброванных раздачей труб, обеспечивая контакт между ними и торцевыми поверхностями ступенчатого кольца, осуществляют сварку, расплавляя ступени ступенчатого кольца с обеих его сторон с образованием двухстыковых сварных швов, осуществляют дополнительный подогрев стыка труб с последующим горячим радиальным обжимом, достигая внешнего диаметра стыка, равного исходному внешнему диаметру свариваемых труб и концентрируя деформации в поверхностных слоях по местоположению кольцевых ступеней, сварных швов и околошовных зон. Патент РФ 2285595. С. И. Козий, Г. А. Батраев, С. С. Козий (Самарский госаэрокосмический университет им. С. П. Королёва) [29].

Способ сварки рельсов давлением с подогревом, при котором производят механическую обработку их торцов, соединяют их стык, центрируют, прикладывают сжимающее усилие и производят нагрев стыка, отличающийся тем, что нагрев стыка производят до температуры сварки, равной 0,8...0,9 температуры плавления, с использованием индуктора, форма которого обеспечивает образование различного зазора по контуру рельса, а после отключения нагрева производят дополнительный нагрев импульсами до температуры сварки. Патент РФ 2285596. А. В. Губарев, С. В. Лузин [29].

Способ получения заготовки из металлов и сплавов со слоистой плакировкой, отличающийся тем, что слоистую плакировку собирают на металлической основе с расположением слоев по схеме — основа, алюминий, легкоплавкое покрытие с получением трехслойного или симметричного шестислойного пакета, при этом прокатку пакета толщиной до 8 мм проводят без нагрева с общим обжатием 60...90 %, а прокатку пакета толщиной более 8 мм проводят с общим обжатием 40...60 % при температуре нагрева пакета или его составляющих перед сборкой и прокаткой, равной 0,4...0,75 температуры плавления легкоплавкого металлического покрытия. Патент РФ 2285597. Н. Д. Лукашин, А. Н. Лукашин



(Московский государственный вечерний металлургический институт) [29].

Способ определения параметров воздействия лазерного импульса на объект обработки, отличающийся тем, что модель объекта обработки изготавливают в виде спрессованных листов, которые вырезают из материала, идентичного материалу объекта обработки, обезжиривают их, накладывают друг на друга и выдерживают под прессом, затем полученную модель устанавливают с возможностью вращения вокруг оси модели и поворота на угол между поверхностью модели и осью лазерного луча, фокусируют лазерный луч на поверхности модели, осуществляют воздействие на модель лазерными импульсами с заданными длительностью и мощностью при одновременном ее вращении с заданным числом оборотов под разными углами наклона относительно лазерного луча и смещении модели в радиальном направлении относительно фокуса лазерного луча, измеряют длину, ширину и глубину образовавшейся каверны и по указанным измерениям определяют ее форму и их зависимость от скорости перемещения поверхности модели относительно фокуса лазерного луча. Патент РФ 2285598. В. П. Бурдаков, В. В. Ягодин (ОАО «РКК «Энергия») [29].

Способ электронно-лучевой сварки труб, отличающийся тем, что на боковой поверхности на конце одной из труб выполняют кольцевой выступ с поперечным сечением в виде равнобедренного треугольника, вершина одного из углов основания которого расположена на наружной кромке трубы, а торец на этом конце трубы срезают под углом внутрь трубы до внутренней кромки торца, которую при механической обработке выполняют сдвинутой по оси внутрь трубы от торца на величину половины основания выступа, а торец другой трубы срезают под углом наружу трубы с получением внутренней кромки, сдвинутой на ту же величину, и после стыковки труб направляют электронный луч на вершину присадочного выступа, после чего одновременно расплавляют электронным лучом присадочной выступ, стенку трубы и торцы труб. Патент РФ 2285599. В. Н. Тюрин, А. Н. Семенов, В. П. Гордо и др. (ФГУП «НИКИЭ им. Н. А. Доллежала») [29].

Флюс для низкотемпературной пайки меди или ее сплавов, отличающийся тем, что он дополнительно содержит хлорид натрия при следующем соотношении компонентов, мас. %: 4...30 хлорида цинка; 1...10 карбамида; 0,5...3 хлорида аммония; 0,5...2 хлорида натрия; остальное вода. Патент РФ 2285600. А. М. Никитинский, С. В. Егорычев, Н. А. Курников [29].

Способ изготовления устройства для контактной стыковой сварки трубы с заглушкой, отличающийся тем, что после механической обработки собранного в пакет устройства выполняют его тренировку путем сварки образцов, а шунтирующие упорнохолодильник пластинчатые шунты сворачивают в цилиндр и фиксируют в отверстиях устройства путем разжатия деформируемых эластичных пробок, которые устанавливают в указанные отверстия. Патент РФ 2286235. А. А. Кислицкий (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») [30].

Способ изготовления корпуса электромагнитного клапана, включающий выполнение в монолитной заготовке корпуса кольцевого канала в виде ванночки, размещение в нем кольца из немагнитного материала с соединением его со стенками кольцевого канала пайкой и осуществление механической обработки корпуса с получением со стороны его торца внутренней поверхности под якорь электромагнита. Приведены отличительные признаки способа. Патент РФ 2286236. М. М. Михнев, А. В. Потапов, Ю. Л. Лубнин и др. (ФГУП «НПО прикладной механики им. М. Ф. Решетникова») [3].

Способ обработки поверхностей, заключающийся в образовании в рабочем органе смесового жидкого рабочего тела, его испарении, подаче паров в разрядную камеру, нагреве паров в электрическом дуговом разряде с самостоятельным подводом электрического тока, получении плазменной струи и выносной электрической дуги, совмещенной с плазменной струей, и последующем нагреве обрабатываемых поверхностей выносной электрической дугой, совмещенной с плазменной струей. Приведены отличительные признаки способа. Патент РФ 2286866. В. С. Тверской, А. В. Тверской (ООО «Плазариум») [31].

Способ изготовления многослойных полых металлических изделий, отличающийся тем, что в качестве материала для наружных слоев используют тонколистовой металл, а для промежуточного слоя — сетку из металла или неметаллических материалов, одновременную вытяжку всех заготовок осуществляют в два этапа, на первом из которых осуществляют вытяжку в штампе эластичным пуансоном с получением полуфабриката с неразъемным соединением верхнего и промежуточного слоев при условии, что материал заготовки при образовании пуклевки не заходит на всю глубину сетки, а во втором этапе — в штампе эластичной матрицей полученного полуфабриката по пуансону с его формой, при этом подготовительные операции повторяют в соответствии с количеством слоев в изделии. Патент РФ 2286869. В. М. Плеханов, А. В. Севастьянов [31].



По
зарубежным
журналам*

BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH (Польша) 2006. — Рос. 50, № 3 (пол. яз.)

Dworak J. Техника лазерной сварки, результаты исследований и возможности применения, с. 27–33.

Papkala H. Рельефная сварка латуни, с. 33–38.

Klimpel A. et al. Автоматизированная плазменная сварка стыковых соединений листов из аустенитной стали AISI 321, с. 38–44.

Pasek-Siurek H., Piatek M. Технические и экономические условия процесса плазменной сварки и новое оборудование, разработанное в Институте сварки, с. 45–51.

Zeman W. Проектирование как элемент снижения стоимости сварных конструкций, с. 52–57.

BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH (Польша) 2006. — Рос. 50, № 4 (пол. яз.)

Stano S. Современные конструкции твердотельных лазеров, используемых в сварочном производстве в качестве генераторов лазерного излучения, с. 29–35.

Czuchryj J., Pasternak J. Анализ избранных систем по оценке качества сварных соединений при радиографическом методе контроля, с. 35–41.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2006. — Vol. 75, № 3 (яп. яз.)

Ueyama T., Ohnawa T. Высокоскоростная импульсивная сварка плавящимися электродами тонколистовой стали, с. 3–4.

Специальный выпуск. НАНОТЕХНОЛОГИИ СОЕДИНЕНИЯ И РЕЗКИ

Yoshida M., Iwakai F. Разработка нанокристаллической керамики и выполнение сверхпластичных диффузионных соединений, с. 5–8.

Sugiyama A. Разработка технологии соединения лазерных кристаллов, с. 9–13.

Berengueros J., Takahashi K. Обратимый процесс соединения, основанный на биомимикрии нановолосяной структуры, с. 14–18.

Kondo H. Расположение биомолекулы — фрагмента WF-фактора (псевдогемофилии) с помощью среднеинфракрасного лазера, с. 19–22.

Ishii K., Awazu K. Применение инфракрасного лазера, с. 23–26.

Kaneko M. Курс лекций по коррозии и коррозионным трещинам. 2. Коррозионное растрескивание в напряженном состоянии нержавеющей стали, с. 27–30.

Лекции для практикующих инженеров.

Yano H. Основы обеспечения качества сварки, с. 31–34.

Hamada K. Разработка способа плазменной сварки раскrojенных заготовок с применением параметров обеспечения качества, с. 35–38.

Fujimoto R. Примеры применения микросварки тонких пленок с использованием параметров обеспечения качества, с. 39–43.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2006. — Vol. 75, № 4 (яп. яз.)

Ueyama T., Ohnawa T. Высокоскоростная импульсная дуговая сварка в тандем плавящимся электродом тонколистовой стали (2), с. 6.

Специальный выпуск. НОВЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Kuroishi T., Ohnawa T. Система мониторинга и контроля направляемыми волнами, с. 8–12.

Sugimoto S. et al. Применение микрокомпьютерной томографии в исследованиях и разработках перспективных композиционных материалов для аэрокосмической техники, с. 13–17.

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



Takeuchi A. Применение тактильных сенсоров в медицине, с. 18–21.

Baba H. et al. Курс лекций по техническому обслуживанию. 1. Обслуживание сварных конструкций с учетом степени риска, с. 22–25.

Kasuya T. Лекции для инженеров по предупреждению низкотемпературных трещин. Японские методики определения температуры предварительного нагрева для решения проблем с трещинообразованием, с. 26–31.

Miyasaka F. Разработка моделей сварочных процессов для различных соединений, с. 32–35.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2006. — Vol. 75, № 5 (яп. яз.)

Новые почетные члены, с. 3.

Призеры, с. 4–35.

Основные направления развития сварки и соединения в Японии в 2005 г.

Деятельность в области сварки.

1. Японское сварочное общество, с. 36.
2. Японское сварочное инженерное общество, с. 37.
3. Промышленность, с. 38.
4. Международная деятельность, с. 39.
5. Образование и издательская деятельность, с. 40.

Сварочная наука и производство. Материалы

1. Сталь, с. 42–44.
2. Алюминиевые и другие цветные сплавы, с. 45.
3. Новые материалы (полимеры, клеи и способы склеивания), с. 46–47.
4. Сварочные материалы, с. 49–50.

Сварка, соединение, оборудование

1. Машины для дуговой сварки, с. 51–54.
2. Лучевая сварка, с. 55–56.
3. Контактная сварка, сварка давлением, с. 57–58.
4. Оборудование для различных способов соединения и родственных технологий (сварка трением с перемешиванием, термическое напыление, наплавка, резка), с. 59–60.
5. Сварочные системы, с. 67–69.

Производство конструкций

1. Судостроение, строительство морских платформ, с. 70–74.
2. Магистральные и напорные трубопроводы, с. 75–76.
3. Строительство, с. 77–78.
4. Танкеры для природного сжиженного газа, с. 79–81.
5. Сосуды давления, оборудование для химической промышленности, с. 82–84.
6. Энергетика, оборудование для атомных станций, с. 85–86.

7. Автомобильная промышленность, с. 87–88.

8. Вагоностроение, с. 89–90.

9. Авиакосмическая техника, с. 91–92.

10. Строительное оборудование, с. 93–94.

11. Электротехника, с. 95–96.

12. Электроника, с. 97–98.

Оценка и гарантия качества

1. Гарантия качества, с. 99–101.
2. Неразрушающий контроль, с. 102–103.

Сварочные стандарты

1. Материалы и технологии, с. 104–106.
2. Охрана труда, с. 107–108.

Деятельность научных комитетов

Научные комитеты

Комитет по сварным конструкциям, с. 109–110.

Комитет по способам сварки, с. 110–112.

Комитет по металлургии сварки, с. 112–114.

Комитет по усталостной прочности сварных соединений, с. 114–115.

Комитет по физике сварочной дуги, с. 116–117.

Комитет по сварке легких конструкций, с. 117–120.

Комитет по микросоединению, с. 120–122.

Комитет по соединению по поверхности раздела, с. 122–123.

Деятельность специальных комитетов и подкомитетов

Подкомитет по сварке и растрескиванию опор из оцинкованной стали, с. 124–126.

Подкомитет по SMART-обработке материалов волоконными лазерами, с. 127–128.

Подкомитет по расчету наноконструкций, с. 129–130.

Подкомитет по разработке высокоскоростных компьютерных способов анализа для сварочных процессов, с. 131.

Minami F. Методики оценки разрушения с использованием напряжений Вейбулла. Обзор. Часть 1, с. 132–162.

DER PRAKTIKER (Германия) 2006. — № 5 (нем. яз.)

Сварка толстостенных труб лазером и дугой, с. 130.

Лазерная резка больших листов обеспечивает высокую точность при низкой стоимости, с. 131–134.

Усовершенствование точечного отсоса, встроенного в горелку для сварки в защитных газах, с. 135.

Polrolniczak H. et al. Дефекты и их предупреждение при контактной сварке (Ч. 1): Понятие — «качество» и регистрация дефектов, с. 136–140.

Schmidt J. Риск применения спрея при сварке связан не только с выделением горючего газа, с. 143–145.

Kett M. J. Совершенствование выполнения зазоров при МАГ-сварке в узкий зазор, с. 146–149.

Tatter U. Взрыв баллона с пропаном, с. 150–152.

Heide F. Дробеструйная обработка с целью повышения усталостной прочности сварных деталей и снижения коррозии под напряжением, с. 154–158.

DER PRAKTIKER (Германия) 2006. — № 6 (нем. яз.)

Отличительная окраска баллонов со сжатым газом, с. 162.

Сварочная конференция DVS в Аахене, сентябрь 2006 г., с. 162.

Wilhelm H. Проектирование, изготовление и монтаж эффективных систем уплотнения, с. 163–164.

Otto F. Выявление скрытых недостатков, с. 166.

Storch W., Letsch K., Jokiel I., C. Frank. Ручная лазерная сварка деталей турбин, с. 170–175.

Mubtann J., Zwatz R. Вопросы и ответы к стандарту DIN EN ISO 15614-1:2004 «Требования и аттестация способов сварки», с. 176.

Schuster J. DIN EN 10204:2005 и переаттестация с применением неразрушающего контроля при строительных сталях, с. 177–180.

Vollrath K. Высокие технологии — сварные соединения тонких листов, с. 182–184.

Zwatz R. Победил разум — разработка глобального стандарта по аттестации сварщиков, с. 186–189.



DER PRAKTIKER (Германия) 2006. — № 7 (нем. яз.)

Benkel A. Профессионализм и опыт значительно снижают затраты при переработке листа, с. 198–201.

Schmidt J. Стандарт DIN 18 800, ч.7 и его значение для коррозионной защиты сварных конструкций, с. 202–205.

Muller S. Применение лазерной сварки на трубном заводе в г. Зиген, с. 206–209.

Tatter U. Новое постановление о безопасности производственного оборудования BGR 500 «Что изменилось в области сварочной техники», с. 220–222.

Профессор Генрих Флегель, руководитель работ в области производства, исследовательских и технологических работ, председатель совета ответственных уполномоченных и член совета по надзору фирмы ДАЙМЛЕР КРАЙСЛЕР (г.Штутгарт) с 1 января 2007 г. станет президентом DVS, с. 35–36.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2006. — № 4 (пол. яз.)

Klimpel A. et al. Волоконные лазеры — новое поколение сварочных лазеров, с. 4–7.

Pakos R. Оценка качества сварных соединений из сплавов Cu–Ni–Fe, выполненных способом ТИГ, с. 8–11.

Nowacki J., Kawiak M. Нагрузка, напряжение и деформация паяных соединений, с. 15–18.

Peter H.-P. Древняя техника соединения — пайка, с. 19–22.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2006. — № 5-6 (пол. яз.)

Pilarczyk J. et al. Технологическое применение лазерного пучка в Институте сварки, с. 6–10.

Adamiec P., Adamiec J. Проблемы наплавки элементов котлов для сжигания мусора сплавами Inconel 625 и 686, с. 1–14.

Kimpel A. et al. Порошковая наплавка ползуна задвижки нефтяного оборудования методом РТА (плазменной переходной дугой), с. 5–19.

Pacyna J., Dabrowski R. Новый сплава стали большой прочности и стойкости к тресканию, с. 20–23.

Grabian J., Wysocki J. Соединение композитов AISi9/SiC способом ТИГ, с. 24–27.

Szefner Z. Металлургическая эффективность защитного газа сварочной дуги, с. 28–31.

Czechowski M. Фрактографическое исследование сварных сплавов Al–Mg, с. 32–34.

Mirski Z. Важность реакционной зоны паяных соединений графита CFC 222 с молибденовым сплавом TZM, с. 35–38.

Gruszczuk A., Griner S. Структура и свойства сварных из стали контролируемой прокатки, с. 39–41.

Lalik S. et al. Механические свойства сварного соединения из жаропрочной низколегированной стали T24, с. 42–45.

Zabanowski J. et al. Исследования склонности к коррозии под напряжением сварных соединений из аустенитной, а также дуплексной стали, с. 46–49.

Ciura F. et al. Изменения структуры и свойств при сварке сплава Fe–30Ni, с. 50–52.

Surowska B., Brudkiewicz D. Микроимпульсная ТИГ-сварка аустенитной стали, с. 53–56.

Pakos R. Влияние чистоты сплава Cu–Ni–Fe на качество шва, выполненного способом ТИГ, с. 57–59.

Kolbusz R. Свойства ЗТВ спекаемых конструкционных материалов, с. 60–63.

Napadlek W. et al. Анализ явлений, наблюдаемых при лазерной обработке алюминиевых сплавов, с. 64–67.

QUARTERLY JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY (Япония) 2006. — Vol. 24, № 2 (May) (яп. яз.)

Tashiro S. et al. Физические свойства плазмы, содержащей пары металла, при дуговой сварке вольфрамовым электродом в среде гелия, с. 143–148.

Naito Ya. et al. Рассмотрение характеристик проплавления, механизма предупреждения пористости и потоков в жидкой ванне в процессе гибридной лазерно-дуговой сварки, с. 149–161.

Oku K. et al. Остаточные напряжения, образующиеся при сварке оплавлением катаных сталей двутаврового профиля и их особенности, с. 162–167.

Nishikawa H. et al. Современное применение крупномасштабного метода конечных элементов для анализа механических задач при сварке, с. 168–173.

Ishikawa T. et al. Свойства соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием на нержавеющей аустенитной стали, с. 174–180.

Sakakibara N. et al. Разработка высококачественного термического напыления с помощью контролируемой защитной плазмы, с. 181–186.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (Италия) 2006. — An. LVIII, № 2 (итал. яз.)

Guerciotti A. M., Gallazzi G. Свойства и выбор расходных материалов для дуговой сварки сталей с высоким пределом текучести, с. 171–176.

Botta S. et al. Подход к надежности в гражданском строительстве — нормы и контроль, с. 179–195.

Cogliandro S. et al. Технология лазерной сварки для изготовления камеры сгорания газотурбинных авиационных двигателей, с. 199–208.

Ponte M. et al. Механические характеристики разнородных сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с. 211–217.

Valente T. Определение и оценка риска воздействия паров, образующихся при сварке, с. 221–225.

Franch V., Petrone N. Результаты сбора данных и лабораторных испытаний на усталость полностью подвесных рам велосипедов, подверженных нагрузке на опоре сиденья с постоянной и переменной амплитудой, с. 227–237.

Rihar G., Uran M. Док. МИС ПW-1698-05. Причины неэффективности неразрушающих методов испытаний при обнаружении непроваров, с. 239–243.

Газовая резка, с. 247–263.



НОВЫЕ КНИГИ

Медовар Б. И. Избранные труды. — Киев: Наук. думка, 2006. — 637 с.

Сборник посвящен 90-летию со дня рождения академика НАН Украины Б. И. Медовара — украинского ученого, металлурга, сварщика, металловеда. Сборник включает разделы «Сварка», «Спецэлектрометаллургия», «Новые металлические материалы» и «Научно-популярный очерк «Металлургия вчера, сегодня, завтра». Он содержит избранные статьи автора, в которых исследуются проблемы сварки труб большого диаметра, металлургические и технологические аспекты сварки высоколегированных аустенитных сталей и биметалла, а также особенности применения новых способов сварки стальных заготовок больших сечений на основе электрошлакового процесса. Приведены первые статьи автора, посвященные разработке методов электрошлакового переплава и литья, а также статьи по новым разработкам, выполненным автором в последние годы, среди которых выплавка крупных слитков ЭШП из высоколегированных сталей и сплавов, изготовление композитных прокатных валков и биметаллических заготовок, ЭШП титана, утилизация объектов военной техники и др. В сборнике помещены также статьи, посвященные новому классу металлических материалов — сталям с заданной анизотропией структуры, композитным материалам, армированным слиткам и т. д. Приведен сокращенный вариант научно-популярной книги Б. И. Медовара «Металлургия вчера, сегодня, завтра» и библиографический список трудов автора.

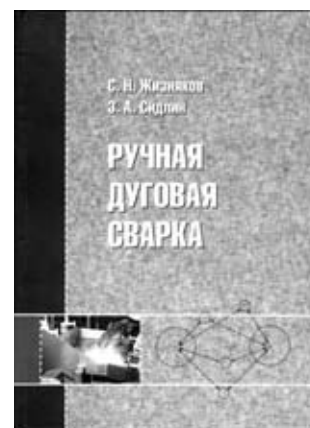
Для научных и инженерно-технических работников, а также преподавателей и студентов вузов.



Жизняков С. Н., Сидлин З. А. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. — Киев: Экотехнология, 2006. — 368 с.

Рассмотрены физико-металлургические процессы при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Даны характеристики и классификация электродов, представлена номенклатура промышленных марок. Приведены источники питания и другое оборудование для ручной сварки. Изложены рекомендуемые технологии сварки углеродистых, низколегированных, легированных теплоустойчивых, высоколегированных и разнородных сталей, чугуна и цветных металлов и их особенности. Рассмотрены дефекты сварных соединений и причины их образования. Освещены вопросы ремонтной сварки и контроля производства сварочных работ.

Рассчитана на инженерно-технических работников сварочного производства. Может быть полезна учащимся средних и высших технических учебных заведений, слушателям института повышения квалификации.



Лашенко Г. И. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. — Киев: Экотехнология, 2006. — 384 с.

Рассмотрены структурные схемы способов дуговой сварки сталей плавящимся электродом (ДСПЭ) и общие вопросы свариваемости сталей. Изложены современные представления об энергетической эффективности процесса, формировании швов, производительности и экологических показателях ДСПЭ. Приведены современные способы сварки с применением различных защитных сред. Обобщены способы сварки, позволяющие регулировать тепловложение в свариваемое изделие, улучшающие формирование металла шва и повышающие производительность сварки. Приведены сведения о гибридных и комбинированных способах дуговой сварки плавящимся электродом.

Рассчитана на инженерно-технических работников, занятых в области сварочного производства. Может быть полезна преподавателям, аспирантам, студентам технических университетов.





9-я ЕВРОПЕЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ

25–30 сентября 2006 г. в Берлине состоялась 9-я Европейская конференция по неразрушающему контролю (НК), организованная Европейской федерацией НК (EF NDT) и Немецким обществом НК (DGZfP). Это крупнейший в Европе форум специалистов по неразрушающему контролю, технической диагностике, дефектоскопии и родственным технологиям, на котором было представлено более 700 докладов. В его работе приняли участие более 1600 ученых и специалистов из 55 стран со всего мира. Конференцию сопровождала большая выставка средств контроля, материалов и оборудования, которые представляли более 100 фирм мира.

Работа конференции проходила в 36-ти секциях, причем одновременно секционные доклады были заслушаны в восьми конференц-залах.

На конференции значительное внимание было уделено НК в сварочном производстве, техническому контролю сварных металлоконструкций и сооружений. Эта тематика преобладала в работе секций «НК трубопроводов», «НК в аэрокосмической отрасли», «НК в тепловой энергетике», «НК в атомной энергетике», «НК морских платформ», «НК металлов», а также в секциях по видам контроля. Интересные доклады прозвучали также на секциях «Проблемы остаточного ресурса», «НК на железной дороге», «Цифровая радиография» и «НК в химическом и нефтехимическом комплексе».

Наибольшее число докладов на конференции представила страна-организатор — Германия (243). За ней следуют с большим отставанием Франция (69), Россия (52), Великобритания (46), США (27), Канада (22), Испания (21). Достаточно весомое — восьмое — место принадлежит Украине — 20 докладов (из них 5 докладов представил ИЭС им. Е.О. Патона). Большинство докладов наших соотечест-



венников были посвящены техническому контролю в сварочном производстве:

Троицкий В., Радько В., Давыдов Е., Шевченко И. «Разработка методов ультразвукового контроля материалов и сварных металлоконструкций в ИЭС им. Е. О. Патона».

Лобанов Л., Пивторак В., Тихий В. «Неразрушающий контроль качества материалов и конструкций методом электронной широкографии».

Троицкий В., Посыпайко Ю. «Опыт комплексного НК сварных резервуаров большого объема для хра-





нения жидкого аммиака, нефтепродуктов и спиртов».

Шекеро А. «Разработка метода обнаружения трещин на фоне конструктивного непровара в сварных соединениях цилиндрических изделий».

Радько В., Шекеро А. «Особенности обнаружения дефектов малого раскрытия при ультразвуковом контроле».

Учанин В.Н., Никоненко А., Лютенко Г. «Автоматизированная система вихретокового контроля и измерения дефектов в производстве стальных труб».

Карнаш О., Карнаш М. «Новый неразрушающий метод оценки механических свойств стали».

Учанин В. Н., Андриюшенко Я., Остап О. «Новый метод неразрушающего термоэлектрического контроля процесса усталости материала».

Карнаш О., Карнаш М., Миндяк В. «Разработка автоматического классификатора дефектов, обнаруженных ультразвуковыми методами».

Кулиш В., Крылов Э., Сургай Н. «Неразрушающий контроль технического состояния стальных трубопроводов методом акустической эмиссии».

Безлюдько Г., Соломаха Р., Попов В. «Практика контроля напряженного состояния, усталости и ресурса сварных соединений по измерениям магнитной характеристики — коэрцитивной силы».

Долбня В., Соломаха Р., Безлюдько Г., Захаров В. «Повышение достоверности оценки усталостного состояния металла по совместным измерениям толщины и коэрцитивной силы в зонах концентрации нагрузений».

В работе выставки приняли участие практически все известные в мире производители средств НК. Наибольшие стенды были у фирм Sonatest NDE Group (Великобритания), Olympus NDT (США), GE Inspection Technologies (США), RTD (Нидерланды), Kodak Gmb H (Германия), Fuji Photofilm Europe (Германия) и т. д.

На выставке были представлены автоматические сканеры для контроля сварных соединений, сканеры для мониторинга коррозионного поражения металлических оболочек, системы для цифрового радиационного контроля, системы для ультразвукового контроля на основе преобразователей с электронным управлением диаграммой направленности, которые вызвали интерес у посетителей.

С материалами конференции можно ознакомиться в отделе № 4 ИЭС им. Е. О. Патона или на сайте www.ndt.net.

Ю. Н. Посыпайко, инж.

УДК 621.791:061.2/4

КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСА И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ, СООРУЖЕНИЙ И МАШИН»

12 января 2007 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона состоялась итоговая научная конференция, посвященная рассмотрению научных и прикладных результатов, полученных в течение 2004–2006 гг. при выполнении проектов комплексной национальной программы «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин». В работе конференции приняли участие научные руководители и исполнители проектов, а также представители заинтересованных министерств,

ведомств, учебных и отраслевых институтов, промышленных предприятий и организаций.

Конференцию открыл научный руководитель программы Президент Национальной академии наук Украины академик Б. Е. Патон, который отметил актуальность проблемы ресурса и определения научно обоснованных сроков продления безопасной эксплуатации объектов ответственного назначения. Подчеркнув комплексный характер программы, состоящей из 9 разделов и 107 проектов, академик Б. Е.



Патон сообщил, что в ее выполнении принимали участие 22 института восьми отделений Национальной академии наук Украины.

На пленарном заседании выступили научные руководители разделов программы.

Академик В. И. Махненко, научный руководитель раздела «Разработка методологических основ оценки технического состояния и обоснованности безопасного срока эксплуатации конструктивных элементов объектов повышенной опасности на территории Украины», в своем выступлении сообщил, что в рамках раздела выполнены актуальные исследования по риск-анализу нарушения основных функций оборудования атомной энергетики, магистральных трубопроводов, металлургического оборудования и сооружений, эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях.

Академик З. Т. Назарчук, научный руководитель раздела «Разработка методов и новых технических средств неразрушающего контроля и диагностики состояния материалов и изделий длительной эксплуатации», в своем выступлении отметил, что создана эффективная система мониторинга, новые средства неразрушающего контроля качества элементов ряда жизненно важных объектов, а также подготовлена к серийному производству новая диагностическая аппаратура.

Научный руководитель раздела «Разработка методов защиты от коррозии элементов конструкций объектов длительной эксплуатации» чл.-кор. НАН Украины В. И. Похмурский отметил, что создана новая отечественная грунтовка, ингибированная модифицированными пигментами, для защиты трубопроводов на выходе из газокompрессорных станций, применение которой повышает сроки эксплуатации трубопроводов в 1,5...1,8 раза; разработаны новые экономнолегированные сплавы на основе алюминия технической чистоты для защиты от коррозии и увеличения ресурса оборудования ТЭС, ГЭС и магистральных трубопроводов.

В докладе академика И. М. Неклюдова, научного руководителя раздела «Разработка эффективных методов оценки и продления ресурса объектов атомной энергетики», было подчеркнуто, что основная часть проектов раздела выполнялась с участием



АЭС Украины. В рамках раздела создана и реализована система контроля свойств металла корпуса реактора энергоблока № 4 Ривненской АЭС в процессе эксплуатации по образцам-свидетелям. Разработана принципиальная технология механизированной сварки элементов главного циркуляционного трубопровода при замене парогенераторов типа ПГВ-1000М для увеличения ресурса АЭС, а также согласованы нормативные документы и проведена аттестация технологии.

Академик Б. С. Стогний, подводя итоги исследований по разделу «Повышение надежности и продление ресурса энергетического оборудования и систем», отметил, что получены важные результаты, которые будут использованы для повышения надежности и увеличения сроков службы турбин, генераторов, оборудования станций газоперекачки, а также при модернизации котельного оборудования коммунальной энергетики и угольных энергоблоков. Благодаря проведенным исследованиям сформулированы и обоснованы основные мероприятия для увеличения ресурса работы элементов котельного оборудования децентрализованной теплоэнергетики.

О научных результатах, полученных по разделу «Создание систем мониторинга технического состояния трубопроводов и объектов газо- и нефтеперерабатывающей промышленности», сообщил его научный руководитель чл.-кор. НАН Украины А. Я. Красовский. К наиболее важным достижениям он отнес создание методических подходов к оценке вероятных характеристик дефектов в трубопроводах и их использование в задачах риск-анализа; математической модели разрушения от усталости материалов при двухосном и двухчастотном нагружении; экспертной системы мониторинга технического состояния магистральных трубопроводов с учетом реальных условий их эксплуатации. Отмечено, что разработанные электрохимические способы активного мониторинга коррозионного состояния были апробированы при обследовании магистрального газопровода «Уренгой–Памары–Ужгород».

Выступление академика Л. М. Лобанова было посвящено полученным результатам по разделу



программы «Повышение надежности и продление ресурса мостов, строительных, промышленных и транспортных конструкций». В частности, выявлены основные факторы раннего накопления повреждений в сварных узлах и соединениях металлических конструкций пролетных строений мостов, а также установлена высокая эффективность применения высокочастотной механической проковки для повышения их ресурса.

С помощью современных методов исследований были установлены особенности влияния технологических факторов на формирование остаточных напряжений в сварных соединениях, их сопротивляемость замедленному и хрупкому разрушениям.

Применение локального импульса тока высокой плотности для релаксации напряжений в соединении с методом электронной спекл-интерферометрии позволяет создать новую неразрушающую технологию оперативного определения остаточных напряжений в разнообразных металлических материалах.

Создана и найдена промышленное применение микролегированная сталь для изготовления высокопрочных железнодорожных колес, эксплуатационные испытания которых показали их повышенную износостойкость.

На основе полимерных и полимерминеральных материалов создана технология, обеспечивающая высокую водонепроницаемость и морозостойкость железобетонных конструкций и как следствие увеличение их ресурса.

Результаты, полученные по проектам раздела «Разработка технологий ремонта и восстановления элементов конструкций объектов повышенной опасности с целью продления сроков их эксплуатации», были отражены в выступлении академика К. А. Ющенко. Он отметил, что созданы новые материалы, технологии для ремонтной сварки и наплавки оборудования и деталей нефте- и газотранспортных систем, металлургической, горнодобывающей и судостроительной промышленности, энергетики. Многие разработки уже нашли промышленное применение. В частности, создана и внедрена на объектах «Укртрансгаза» технология ремонта лопаток газовых турбин, обеспечивающая увеличение их ресурса на 40...70 %. Разработанные новые сварочные ма-

териалы были использованы при ремонте резервуаров для хранения концентрированной серной кислоты на Восточном горно-обогатительном комбинате.

Научный руководитель раздела программы «Подготовка и издание нормативных документов и научно-технических пособий по вопросам оценки ресурса объектов длительной эксплуатации» академик В. В. Панасюк в своем выступлении отметил, что в течение 2004–2006 гг. были подготовлены и вышли в свет современные научно-технические справочные пособия в помощь инженерно-техническим работникам конструкторских и промышленных предприятий для оценки долговечности и надежности (ресурса) элементов конструкций длительной эксплуатации, в частности мостовых и строительных конструкций, тепловых и атомных электростанций, трубопроводов и т. п. Создано пять новых стандартов и нормативных документов для оценки надежности и ресурса конструкций, а также приборы для неразрушающего контроля и диагностики металлических изделий и сварных соединений.

На пленарном заседании состоялось обсуждение полученных научных результатов, изложенных в докладах научных руководителей разделов программы. В обсуждении приняли участие доктора техн. наук П. И. Кривошеев, В. Н. Гордеев, И. М. Дмитрах и чл.-кор. НАН Украины А. Я. Красовский и др.

Участники конференции, отметив актуальность и важность полученных результатов для решения проблемы ресурса объектов длительной эксплуатации, высказали мнение о целесообразности продолжить выполнение программы «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» в 2007–2009 гг.

При этом приоритетными названы следующие направления:

- разработка методов математического моделирования процессов деформирования и деградации свойств конструкционных материалов и сварных соединений во время их длительной эксплуатации с целью прогнозирования остаточного ресурса конструкций с повреждениями;

- создание эффективных методов, технических способов, технологий для диагностики и продления ресурса оборудования тепловой и атомной энергетики, нефте- и газопроводов, объектов газо- и нефтепереработки, мостов, строительных, промышленных и транспортных, в частности авиационных конструкций;

- эффективное применение неразрушающих методов и способов для оценки напряженных состояний конструкций и физико-механических свойств материалов в условиях эксплуатации;

- создание систем непрерывного мониторинга ответственных объектов длительной эксплуатации с использованием современных информационных технологий;



создание современных технологий и материалов для ремонта объектов длительной эксплуатации и защиты металлоконструкций от коррозии;

подготовка нормативных документов по вопросам оценки и продления ресурса объектов длительной эксплуатации.

При формировании проектов на последующий период в эту программу це-

лесообразно включить комплексные крупные проекты по приоритетным направлениям исследований проблем продления ресурса ответственных и экологически опасных объектов.

Во время работы конференции была организована выставка, на которой были представлены приборы и оборудование, созданные при выполнении проектов программы, а также представлен итоговый сборник статей, содержащих основные научные и прикладные результаты работ за отчетный период.

А. В. Бабаев, канд. техн. наук,
А. Т. Зельниченко, канд. физ.-мат. наук

УДК 621.791.009(100)

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С. П. КОРОЛЕВА

В январе 2007 г. исполнилось 100 лет со дня рождения ученого, конструктора ракетно-космических систем, академика, дважды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии С. П. Королева. Его имя навсегда вписано в историю человечества. С. П. Королев возглавлял разработку и запуск баллистических и геофизических ракет, ракет-носителей и космических кораблей «Восток», «Восход», спутников серий «Электрон», «Молния», «Космос», первых автоматических межпланетных станций «Зонд». Ракетно-космические системы, созданные под его руководством, дали возможность совершать полеты на Луну, Венеру, Марс.

18 января на Музейной площади НТУУ «Киевский политехнический институт» прошла церемония открытия памятника С. П. Королеву (автор — заслуженный художник и скульптор Украины Н. А. Олейник). Именно в КПИ будущий ученый на протяжении двух лет (1924–1926 гг.) получал теоретические знания и применял их в своих первых инженерных разработках. Торжественное открытие памятника было доверено дочери С. П. Королева — Наталье Сергеевне. В церемонии открытия принял участие президент НАН Украины, директор Института электросварки им. Е. О. Патона Б. Е. Патон, тесно и плодотворно сотрудничавший с С. П. Королевым в течение многих лет, а также вице-премьер-министр Украины Д. И. Табачник, министр образования и науки Украины С. Н. Николаенко, ректор НТУУ «КПИ» М. З. Згуровский, помощник Президента Украины А. А. Зинченко, первый заместитель спикера Верховной Рады Украины А. И. Мартынюк, посол Российской Федерации в Украине В. Черномырдин, ученик С. П. Королева летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, Герой Труда П. Р. Попович, генеральный директор Национального космического агентства Украины Ю. Алексеев, ученые, преподаватели и студенты НТУУ «КПИ», а также внуки и правнуки С. П. Королева.



Выступившие на открытии памятника отметили выдающиеся достижения С. П. Королева в области освоения космоса, высказали слова глубокого уважения и преклонения перед его великим талантом.

По завершении церемонии открытия памятника состоялось торжественное заседание, посвященное памяти С. П. Королева, во дворце культуры и ис-





куств НТУУ «КПИ», где выступили Президент Украины В. Ющенко, глава Верховной Рады Украины А. Мороз, премьер-министр Украины В. Янукович, друзья и соратники С. П. Королева. Н. С. Королева рассказала о нелегкой жизни и великих достижениях своего отца. Знаменательно, что в этот же день в Казахстане с космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Союз-У» с грузовым транспортным кораблем «Прогресс-М59». Запуск был приурочен к 100-летию со дня рождения академика С. П. Королева.

В конце вечера Н. С. Королева поблагодарила Национальную академию наук Украины, Верховную Раду Украины, ректорат НТУУ «КПИ» за память о своем отце и заметила, что самым огромным проявлением уважения к С. П. Королеву она считает продолжение исследования космоса и предположила, что, возможно, среди студентов НТУУ «КПИ» есть будущие великие ученые, которые напишут новые страницы в истории космонавтики.

Е. Лопаткина, магистр

И. В. ПЕНТЕГОВУ — 75

В феврале исполнилось 75 лет ведущему научному сотруднику Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, доктору технических наук, про-



фессору, лауреату Премии Совета Министров СССР Игорю Владимировичу Пентегову.

И. В. Пентегов является одним из известных украинских специалистов в области сварки и родственных процессов, теоретических основ электро-техники, электрических машин и преобразовательной техники. Им создана теория зарядных цепей емкостных накопителей энергии, на основе которой разработана гамма разнообразных источников питания для контактной конденсаторной сварки. Предложены методы расчета индуктивных накопителей энергии, что дало возможность разработать ряд ис-

точников питания для дуговой и плазменной сварки алюминия и его сплавов.

Для И. В. Пентегова характерен неординарный подход к решению самых разнообразных научных и технических задач, эрудиция, настойчивость в поиске. Им разработан оригинальный алгоритм нахождения критериев подобия физических процессов, создана теория скин-эффекта в ферромагнитных телах на основе ВКБ-метода, а также теория электромагнитных экранов для защиты операторов при радиочастотной сварке труб.

В последние годы И. В. Пентегов занимается фундаментальными исследованиями динамики сварочной дуги и детерминированного хаоса в электрических цепях с дугой, изучением и обоснованием процессов однопроводной и беспроводной передачи электрической энергии.

И. В. Пентеговым подготовлено 13 кандидатов технических наук, он является научным руководителем еще шести аспирантов. Он — член специализированного ученого совета ИЭД НАН Украины по защите диссертаций. Научная деятельность И. В. Пентегова представлена 380 печатными работами, в число которых входят 2 монографии и 160 авторских свидетельств и патентов.

Желаем юбиляру крепкого здоровья, творческого долголетия, надежных и искренних друзей, талантливых учеников.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Редколлегия журнала

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С. М. ГУРЕВИЧА



В феврале 2007 г. исполнилось 90 лет со дня рождения видного ученого в области металлургии и технологии сварки титана и тугоплавких металлов доктора технических наук, профессора, лауреата Государственной премии УССР Самуила Марковича Гуревича.

В 1940 г. выпускник Киевского индустриального института (ныне НТУУ «КПИ») С. М. Гуревич был принят Е. О. Патоном на работу в Институт электросварки АН УССР, где принял активное участие в изучении технологических особенностей и внедрении в промышленность созданного институтом способа автоматической сварки под флюсом. Приобретенный опыт он с успехом передавал слушателям краткосрочных курсов, созданных по инициативе Е. О. Патона для заводских специалистов с целью приобретения навыков автоматической сварки под флюсом.

С июня 1941 г. С. М. Гуревич был призван в ряды Красной Армии. В 1946 г. после демобилизации вернулся на работу в институт и с этого времени до самой кончины (1983) его жизнь была связана с Институтом электросварки им. Е. О. Патона. В период с 1946 по 1951 гг. научное направление исследований С. М. Гуревича было связано с изучением и разработкой технологии сварки низколегированных сталей повышенной прочности. В 1954 г. он возглавил группу сотрудников и с присущим ему энтузиазмом приступил к работе по изучению свариваемости и созданию технологии сварки титана, который в дальнейшем стал одним из основных конструкционных материалов изделий аэрокосмической и других отраслей техники. С этого времени и до конца жизни вся научная деятельность С. М. Гуревича была посвящена решению этой проблемы. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов стала новым научным направлением в институте и в целом в СССР. Он теоретически обосновал и практически осуществил один из наиболее прогрессивных способов сварки под флюсом применительно к титану. Благодаря его работам в области металлургии, металловедения и технологии сварки титановых сплавов расширилось их применение для изготовления ответственных конструкций разного назначения. Под его руководством создано большое количество сварочных материалов на основе бескислородных флюсов, что позволило разработать ряд технологий, не имеющих аналогов и в настоящее время. Это в первую очередь способы электрошлаковой сварки и электрошлакового переплава

титана, аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом по слою флюса, в том числе с присадочной титановой порошковой проволокой и много других технологий. Большинство технологий, разработанных под руководством С. М. Гуревича, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Они оказались востребованными при создании современных видов оборонной техники, объектов атомной энергетики, химической промышленности.

Профессор С. М. Гуревич был признанным специалистом также в области сварки химически активных тугоплавких металлов — ниобия, молибдена и др. Под его руководством были проведены глубокие исследования и разработаны научные основы и технологии сварки этих материалов методом электронно-лучевой сварки и сварки в контролируемой атмосфере. При этом было создано уникальное оборудование и контрольно-измерительная аппаратура для изготовления сварных конструкций в контролируемой атмосфере.

Под руководством С. М. Гуревича были исследованы и разработаны новые высокоэффективные технологические процессы сварки меди больших толщин, что позволило успешно решить важную народно-хозяйственную задачу создания ответственных сварных конструкций — кристаллизаторов печей ЭШП и ВДП.

С. М. Гуревич уделял большое внимание воспитанию научных кадров. Он подготовил 20 кандидатов и докторов наук. Им опубликовано свыше 600 научных работ и изобретений. Особо следует отметить монографии, посвященные металлургии и технологии сварки титана и тугоплавких металлов, а также уникальный «Справочник по сварке цветных металлов», который и в настоящее время является настольной книгой для многих специалистов.

С. М. Гуревич отличался незаурядными организаторскими способностями, умением создать творческий коллектив и находил индивидуальный подход к каждому работнику. Он не боялся браться за новое дело. Отличался научным оптимизмом и считал, что если не верить в успех изначально, то нечего браться за дело. Ему была присуща колоссальная ответственность за порученное дело, он всегда любые дела доводил до конца. Его отличали огромное трудолюбие, умение четко и ясно формулировать задачу и анализировать полученные результаты, исключительная доброжелательность. Научное наследие С. М. Гуревича остается актуальным и в настоящее время.

Светлая память о дорогом Самуиле Марковиче надолго сохранится в сердцах тех, кто его знал и кто работал с ним.

❖ **СБОРНИКИ** ❖ **МОНОГРАФИИ** ❖ **ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИЙ**



Компьютерные технологии в сварке и промышленности» & Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах (англ. яз.): Сб. докл. Объединенной Шестнадцатой и Третьей междунар. конф. (6–8 июня 2006 г., Киев, ИЭС им. Е. О. Патона) / Под ред. проф. Б. Лукаса и проф. В. И. Махненко. — Киев: ИЭС, 2006. — 328 с., формат 200×290 мм, ISBN 966-95847-8-7, 100 грн./660 руб./50\$.

В сборнике представлены доклады Объединенной Шестнадцатой международной конференции «Компьютерные технологии в сварке и промышленности», проводимой Британским институтом сварки, и Третьей международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах», проводимой Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Авторами докладов являются известные специалисты из различных стран мира. Для научных и инженерно-технических работников.



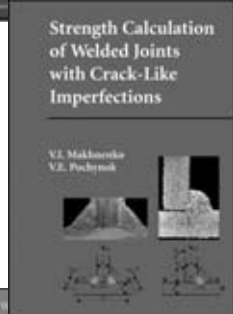
Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Зб. ст. — Київ: ІЕЗ, 2006. — 604 с., формат 200×290 мм, тверда обкладинка, ISBN 966-8872-04-5.

До збірника ввійшли статті, які підготовлені за результатами цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», отриманими впродовж 2004–2006 рр., до реалізації якої було залучено 22 інститути НАН України. Мета програми — розробка методологічних основ прогнозування залишкового ресурсу конструкцій, створення методів, технічних засобів і технологій для оцінки технічного стану та подовження термінів експлуатації техногенно та екологічно небезпечних об'єктів. Для наукових співробітників, інженерів, студентів старших курсів, зайнятих розробкою та експлуатацією конструкцій, споруд та машин.



Железнодорожный транспорт: Сб. ст. — 2006. — 178 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм. — 60грн./660 руб./38\$.

В сборнике представлены статьи и рекламные материалы, опубликованные в журналах «Автоматическая сварка» и «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» за 2001–2005 гг., по проблемам железнодорожного транспорта, посвященные различным аспектам исследований, разработке и применению ряда технологий сварки и наплавки, выбору оборудования и материалов применительно к изготовлению и ремонту конструкций и узлов железнодорожного подвижного состава и путевого хозяйства.



Махненко В. И., Починок В. Е. Расчет напряжений в сварных соединениях с трещиноподобными несовершенствами (англ. яз.). — Киев: ИЭС, 2006. — 266 с., формат 165×235 мм, мягкий переплет, ISBN 966-8072-02-9, 60 грн./660 руб./38\$.



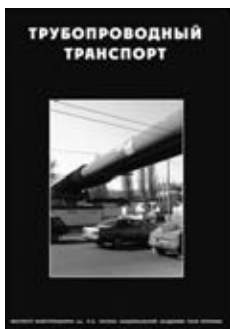
Кононенко В. Я. Технологии подводной мокрой сварки и резки (англ. яз.). — Киев: ИЭС, 2006. — 140 с., формат 140×200 мм, мягкий переплет, ISBN 966-88-72-03-7, 60 грн./660 руб./38\$.



Лазерные технологии в сварке и обработке материалов (англ. яз.): Сб. докл. Второй междунар. конф. (23–27 мая 2005 г., пос. Кацивели, Крым) / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — Киев: ИЭС, 2005. — 256 с., формат 200×290 мм, ISBN 966-8872-01-0, 100 грн./660 руб./50\$.



КАТАЛОГ. Технологии. Материалы. Оборудование (рус., англ. яз.). — Киев: ИЭС, 2005. — 260 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 100 грн./660 руб./50\$. Каталог содержит информацию о новых, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, технологиях, материалах и оборудовании для сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов, предлагаемых для коммерческой реализации. Может быть полезен широкому кругу инженерно-технических работников, технологов, конструкторов, предпринимателей, занятых в машиностроении, энергетике, строительстве, судостроении, металлургии и других отраслях промышленного производства.



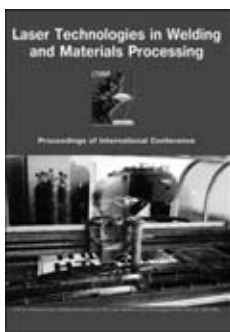
Трубопроводный транспорт: Сб. ст. — Киев: ИЭС, 2005. — 178 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 60 грн./660 руб./38\$.

Представлены статьи, опубликованные в журналах «Автоматическая сварка» и «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» за 2001–2005 гг., по проблемам трубопроводного транспорта, проблемам использования новых сталей в сварных конструкциях, оценке качества трубных сталей и их сварных соединений, разработке оборудования и технологий сварки трубопроводов, вопросам повышения прочности и улучшения структуры и свойств нефте- и газопроводных труб, оценке остаточного ресурса сварных соединений конструкций, сварочным материалам, деформационному старению труб, контролю и диагностике трубопроводов и другим вопросам, касающимся проблемы обеспечения эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта.



Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. трудов. Второй междунар. конф. (13–17 сент. 2004 г., пос. Кацивели, Крым) / Под ред. проф. В. И. Махненко. — Киев: ИЭС, 2004. — 256 с., формат 200×290 мм, ISBN 966-95847-8-7, 100 грн./660 руб./50\$.

В сборнике представлены доклады Второй международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах», в которых отражены достижения за последние годы в области математического моделирования физических явлений, протекающих при сварке, наплавке и других родственных процессах. Авторами докладов являются известные специалисты из различных стран мира. Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов.



Лазерные технологии в сварке и обработке материалов (англ. яз.): Сб. докл. междунар. конф. (19–23 мая 2003 г., пос. Кацивели, Крым) / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — Киев: ИЭС, 2003. — 256 с., формат 200×290 мм, 100 грн./660 руб./50\$.

Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. докл. междунар. конф. (16–20 сент. 2002 г., пос. Кацивели, Крым) / Под ред. проф. В. И. Махненко. — Киев: ИЭС, 2002. — 266 с., формат 200×290 мм, мягкий переплет, ISBN 966-95847-2-8. 100 грн./660 руб./50\$.

В сборнике представлены доклады, в которых отражены достижения за последние годы в области математического моделирования физических явлений, протекающих при сварке, наплавке и других родственных процессах. Рассмотрены также перспективы развития информационных технологий. Одной из характерных особенностей представленных докладов является стремление их авторов получить не только новые научные результаты, но и создать инструмент для практического применения при поиске рациональных технологических решений. В основу таких разработок положено комплексное математическое моделирование связанных друг с другом характерных физических явлений, определяющих качество технологического процесса.





Гарашук В. П. Основы физики лазеров. Лазеры для термических технологий. — Київ: ІЕЗ, 2005. — 244 с., формат 140×200 мм, м'яка обкладинка, ISBN 966-95847-9-5, 60 грн./660 руб./38\$.

У книзі викладено основні вимоги до світлопроменевих установок для термічних технологій — зварювання, різання тощо. Показано, що найкраще цим вимогам відповідає устаткування з використанням лазера як джерела світла. Розглянуто властивості вимушених переходів в атомах (молекулах) і на їх основі пояснено механізм лазерної генерації електромагнітного випромінювання. Викладено теорію потужності випромінювання, генерованого лазером, з використанням балансних рівнянь заселення і розселення атомних рівнів під час генерації. Розглянуто властивості лазерних пучків, сформованих у стійкому і нестійкому резонаторах, особливості їх фокусування. Порівняно мінімальні перерізи сфокусованих лазерних пучків, сформованих у цих резонаторах; показано, за яких умов доцільно використовувати стійкі чи нестійкі резонатори. Викладено основні поняття про передачу лазерного випромінювання по світловолокну і його фокусування на оброблювану деталь. Подано основні поняття про фізичні процеси у високопотужних лазерах, які використовуються в термічних технологіях — зварюванні, різанні, термообробці, наплавці тощо (CO₂-лазер, рубіновий, неодимовий, напівпровідниковий і ексимерний лазери).



Письменный А. С. Индукционный нагрев для сварки и родственных технологий. — Київ: ІЭС, 2005. — 140 с., формат 140×200 мм, мягкий переплет, ISBN 966-8872-00-2, 60 грн./660 руб./38\$.

В книге изложена теория процессов, происходящих при индукционном нагреве металлов и в системе индуктор–нагреваемое тело, освещены вопросы, возникающие при технической реализации систем этого класса. Получила развитие теория обратных задач электромагнитного поля и индуктора в приложении к проблемам сварки и родственных технологий путем применения импедансных граничных условий, определенных через удельную мощность или температуру на поверхности нагреваемых тел. Это позволяет непосредственно проектировать технологическое оборудование исходя из показателей технологического процесса. Изложены некоторые новые методы построения электрических схем замещения сложных многообмоточных индукционных устройств технологического назначения и расчета их параметров.



ТИТАН: технологии, оборудование, производство (англ., рус. яз.): Сб. ст. — Київ: ІЭС, 2005. — 196 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 100 грн./660 руб./50\$.

В сборнике представлены статьи, опубликованные в журналах «Advances in Electrometallurgy» и «The Paton Welding Journal», за период 2001–2005 гг. по электрометаллургии и сварке титана и его сплавов. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области титана и его производства. Сборник предназначен для широкого круга читателей, занимающихся проблемами производства, обработки и потребления титана.

По вопросам заказа просьба обращаться
в редакцию журнала «Автоматическая сварка»

Тел./факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23, 528-04-86; E-mail: journal@paton.kiev.ua

Информацию о содержании изданий можно найти на сайте www.iaw.com.ua

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

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

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



т/ф (0612) 331058, 343623
(061) 2200079, 2132269

e-mail: weld@triada.zp.ua
www.triada-weld.com.ua

Электромашинно-строительный завод
«ФИРМА СЭЛМА»



**ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**



60 лет
в мире сварки

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

www.selma.ua

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

ГОРЮЩИЙ ДИМ 03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав.№21, тел./факс: (+380 44) 526-93-70,
ЗВАРЮВАННЯ 526-93-75, 331-56-39, 526-92-20, e-mail: house@welding.kiev.ua, eduardch@ukr.net

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

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



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

**ЭЛЕКТРОДЫ
ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ
ФЛЮСЫ**

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

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

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

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



ДОНМЕТ

Завод автогенного оборудования



Запоріжжя	(061) 224-11-56
Київ	(044) 200-80-67
Дніпропетровськ	(056) 370-54-45
Донецьк	(062) 381-88-93
Харків	(0572) 50-16-89
Луганськ	(0642) 595-165
Львів	(0322) 45-00-68
Полтава	(0532) 50-89-67
Вінниця	(0432) 53-16-38
Сімферополь	(0652) 54-32-11
Черкаси	(0472) 64-35-28

(06264) 5-77-13, 4-26-85
svarka@donmet.com.ua www.donmet.com.ua

Лидер производства порошковых проволок в Украине



ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"

Порошковые проволоки для наплавки по ГОСТ 26101-84

-80X20 P3T,35B9X3CF,25X5ФМС,18X1Г1М и др.

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК

-ВЕЛТЕК H200 - H620

Порошковые проволоки для сварки

-АН1,АН8,АН39,АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ

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

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

ул. Полевая, 24, офис 504
03056, Киев, Украина
тел./факс: (38044) 456-0209, 458-3485
e-mail:weldtec@iptelecom.net.ua www.weldtec.com.ua



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

тел./факс: (38044) 200-88-33

Производство высококачественных электродов для:

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

ГОРЕТЬ, ЧТОБЫ СОЗДАВАТЬ!
Вся продукция СЕРТИФИЦИРОВАНА

СпецСплав

www.spetsspлав.dp.ua



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

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

тел.: (380562) 32-26-22
т/ф: (380562) 32-37-99
sp@spetsspлав.dp.ua

**ПРОИЗВОДСТВО
ПРОДАЖА
СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ**



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



▶ Автономные мобильные сварочные комплексы на базе резонансных преобразователей



◀ Сварочные инверторы для ММА и TIG сварки на токи 80–300А

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

"ИЭС - ЭЛС"

НПМГП "ПЛАЗМОТРОН"

Украина, 03057, Киев, ул.Эжена Потье, 9А
тел./факс: (38044) 456-23-36, моб.: 8 050 411 45 90

E-mail: plazma_cutting@ukr.net,

URL: www.plasmotron.kiev.ua

**Традиционный разработчик и
производитель оборудования для
воздушно-плазменной резки:**

- ◊ новое поколение универсальных установок "Дуплекс" для ручной резки и сварки металлов толщиной до 20 мм;
- ◊ установки "Днепр" для машинной и ручной резки металлов толщиной до 70 мм.

**В составе установок инверторные
источники питания и плазменные
резаки с воздушным охлаждением.**

Поставляются сменные детали для всех видов плазменных резаков.

Предоставляется гарантия и проводится бесплатное обучение.



MEGAFIL®

СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМЫ

MEGAFIL® — обеспечение точности благодаря совершенной форме: полностью бесшовная порошковая проволока с уникальными сварочными свойствами для получения неразъемных соединений; благодаря своим стабильным размерам, отсутствию деформаций кручения она пригодна при решении широкого круга задач; гарантированная внутренняя защита от влаги позволяет использовать ее без повторной прокалки; важными преимуществами являются сверхвысокая электрическая проводимость и стабильное горение дуги. Поддержите свою форму с помощью MEGAFIL®.

MEGAFIL®: Продукция компании Дратцуг Штайн — наша серия бесшовных изделий, включая также высококачественные порошковые проволоки TOPCORE® и MECUFIL®.


DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Drahtzug Stein
D-67317 Altleiningen
Tel: +49(0) 6356 966-0
Fax: +49(0) 6356 966-114
E-mail: postmaster@drahtzug.de; www.drahtzug.de

Официальный представитель в Украине
АРКСЭЛ
83017, г. Донецк, пер. Витеский, 2а
Тел.: (062) 332-2650(52)
Тел./факс: 382-9449, 332-2651
E-mail: info@arcsel.dn.ua; www.arcsel.dn.ua



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

«**Автоматическая сварка**», 12 номеров в год, издается с 1948 г. В журнале представлена разнообразная научно-техническая информация по сварке, наплавке, резке, пайке и нанесению защитных покрытий; производственный опыт применения современных технологий для соединения материалов и восстановления изделий; сведения о новых книгах и патентах; обзорная информация о профильных выставках и конференциях; банк производителей товаров и услуг на рынке сварочного производства Украины и России.
Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

«**Техническая диагностика и неразрушающий контроль**», 4 номера в год, издается с 1989 г. В журнале представлены последние достижения в области технической диагностики и неразрушающего контроля (акустическое излучение, магнитные, радиоволновые, термические, оптические, радиационные и другие методы). Широко освещаются методики оценки и прогнозирования разрушений в сварных конструкциях.
Тел.: (38044) 271-23-90, 529-26-23

«**Современная электрометаллургия**», 4 номера в год, издается с 1985 г. В журнале освещаются разработки в области электрошлаковой, электронно-лучевой и плазменно-дуговой технологий, вакуумно-дугового переплава и индукционной плавки, а также в области внепечной обработки стали, энерго- и ресурсосберегающих металлургических технологий и др. До 2002 г. журнал издавался под названием «Проблемы специальной электрометаллургии».
Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

«**The Paton Welding Journal**», 12 номеров в год. Полный перевод на английский язык журнала «Автоматическая сварка».
Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

«**Advances in Electrometallurgy**», 4 номера в год. Полный перевод на английский язык журнала «Современная электрометаллургия».
Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

На официальном сайте журналов www.nas.gov.ua/pwj приведены рефераты опубликованных статей с 2000 г.

Подписка по каталогам подписных агентств, а также через редакцию

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



ПОДПИСКА – 2007 на журнал «Автоматическая сварка»

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

*В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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

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

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

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____

200 г. по

200 г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

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

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

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

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

Обложка внутренняя, полноцветная

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

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

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

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

Внутренняя вставка

Полноцветная (200×290 мм) — 300 \$

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

Полноцветная (200×145 мм) 150 \$

Черно-белая (170×250 мм) — 80 \$

Черно-белая (170×125 мм) — 50 \$

Черно-белая (80×80 мм) — 15 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу.

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

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

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

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290 мм.

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

Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 5.0

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

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

Подписано к печати 14.02.2007. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,14. Усл. кр.-отг. 9,99. Уч.-изд. л. 10,44 + 10 цв. вклеек. Цена договорная.

Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.