



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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

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

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

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

Журнал входит в перечень
утвержденных ВАК Украины изданий
для публикации трудов соискателей
ученых степеней.

При перепечатке материалов ссылка
на журнал обязательна.
За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности
не несет.

Цена договорная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Патон Б. Е., Калеко Д. М., Шевченко В. П., Коваль Ю. Н., Слипченко В. Н., Неганов Л. М., Мусиенко Р. Я. Свариваемость сплавов системы Ni-Ti с эффектом памяти формы 3

Лобанов Л. М., Пашин Н. А., Скульский В. Ю., Логинов В. П. Влияние электродинамической обработки на напряженно-деформированное состояние теплоустойчивых сталей 11

Рябцев И. И., Кусков Ю. М., Новикова Д. П. Влияние фосфора на трещиностойкость низкоуглеродистого наплавленного металла 16

Рымар С. В. Оптимизация трансформатора с развитыми поперечными магнитными потоками рассеяния и магнитным шунтом 20

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Царюк А. К., Скульский В. Ю., Касперович И. Л., Бывалькевич А. И., Осташко Т. В., Жуков В. В., Дудкин С. Н., Иванов Н. А., Мирошниченко А. П., Немлей Н. В., Бажуков А. В. Разработка и аттестация технологии ААРДС в узкую разделку элементов ГЦТ Ду850 на АЭС 24

Борисов Ю. С., Борисова А. Л., Гольник В. Ф., Ипатова З. Г. Стойкость газотермических покрытий из сплавов системы Al-Cu-Fe, содержащих квазикристаллическую фазу, в условиях газообразивного изнашивания 32

Завалинич Д. А., Дзюба В. М., Лозовой В. Г., Сторожик Д. Л. Сравнительный анализ применения покрытых электродов при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов 36

Жадкевич А. М. Применение восстановительных технологий для повышения ресурса газотурбинных двигателей (анализ состояния и развития) 44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Мурашов А. П., Демьянов И. А., Демьянов А. И., Провозин А. П., Солдатенко Г. Т. Экранирующие газотермические покрытия для персональных компьютеров 50

Новости 52

Диссертации на соискание ученой степени 56

Патенты в области сварочного производства 59

По зарубежным журналам 60

Новые книги 63

Календарь конференций и выставок в 2006 г. (сварка и родственные технологии) 65

ХРОНИКА

Неделя промышленных технологий 66

ИНФОРМАЦИЯ 71

Разработано в ИЭС 10, 23

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

№ 5 (637)

May 2006

Published since 1948

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

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

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

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

Address:

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

Editors:

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

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Paton B. E., Kaleko D. M., Shevchenko V. P., Koval Yu. N., Slipchenko V. N., Neganov L. M., Musienko R. Ya. Weldability of alloys of Ni-Ti system with shape memory effect 3
Lobanov L. M., Pashchin N. A., Skulsky V. Yu., Loginov V. P. Effect of electrodynamic treatment on stress-strain state of heat-resistant steels 11
Ryabtsev I. I., Kuskov Yu. M., Novikova D. P. Effect of phosphorus on crack resistance of low-carbon deposited metal 16
Rymar S. V. Optimizing of transformer with developed transverse magnetic leakage fluxes and magnetic shunt 20

INDUSTRIAL

Tsaryuk A. K., Skulsky V. Yu., Kasperovich I. L., Byvalkevich A. I., Ostashko T. V., Zhukov V. V., Dudkin S. N., Ivanov N. A., Mi-roshnichenko A. P., Nemlej N. V., Bazhukov A. V. Development and certification of technology of automatic narrow-gap argon arc welding of MCP elements Dn850 at NPS 24
Borisov Yu. S., Borisova A. L., Golnik V. F., Ipatova Z. G. Life of thermal coatings of Al-Cu-Fe system alloys, containing quasi-crystal-line phase, under the conditions of gas-abrasive wear 32
Zavalinich D. A., Dzyuba V. M., Lozovoy V. G., Storozhik D. L. Comparative analysis of application of coated electrodes in capital repair of main oil pipelines 36
Zhadkevich A. M. Application of repair technologies for increase of service life of gas turbine engines (analysis of state-of-the-art and development) 44

BRIEF INFORMATION

Murashov A. P., Demianov I. A., Demianov A. I., Provozin A. P., Soldatenko G. T. Screening thermal coatings for personal computers 50
News 52
Theses for scientific degree 56
Patents in the field of welding 59
Review of foreign journals 60
New books 63
Calendar of conferences and exhibitions in 2006 (welding and related technologies) 65

NEWS

Week of industrial technologies 66

INFORMATION

Developed at the PWI 10, 23

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



СВАРИВАЕМОСТЬ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ni–Ti С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Академик **Б. Е. ПАТОН**, **Д. М. КАЛЕКО**, канд. техн. наук, **В. П. ШЕВЧЕНКО**, инж.

(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

чл.-кор. НАН Украины **Ю. Н. КОВАЛЬ**, **В. Н. СЛИПЧЕНКО**, инж., **Л. М. НЕГАНОВ**, канд. техн. наук,

Р. Я. МУСИЕНКО, канд. физ.-мат. наук (Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины)

Для соединения сплавов системы Ni–Ti малого свариваемого сечения наиболее перспективны методы сварки с импульсным нагревом. Исследованы характеристики соединений проволоки и фольги, полученные способами точечной сварки разрядом конденсаторов и переменным током, ударной конденсаторной и лазерной сварки. С использованием методов оптической и рентгеновской микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа, резистометрии и трехточечного изгиба показано, что способы конденсаторной и лазерной сварки не изменяют химический состав материала, его термомеханические свойства вблизи места сварки и могут быть рекомендованы для использования при изготовлении изделий из нитинола.

Ключевые слова: точечная конденсаторная сварка, ударная конденсаторная сварка, лазерная сварка, термоупругие сплавы, нитинол, микроструктура, механические свойства, термомеханические свойства

В последние десятилетия конструкторы и дизайнеры все чаще обращают внимание на так называемые сплавы с эффектом памяти формы (СЭПФ). Эти сплавы имеют две главные особенности, наиболее привлекающие разработчиков новых изделий, приборов и аппаратов: возможность восстановления заданной формы при нагреве до определенной температуры предварительно деформированного изделия (память формы) и проявление значительной упругой деформации, большей, чем у большинства других металлов и сплавов (сверхупругость).

В настоящее время эффект памяти формы найден и изучен во многих сплавах: Ni–Ti, Fe–Ni, Cu–Al, Cu–Mn, Cu–Al–Ni, Co–Ni, Ni–Al, Cu–Zn–Al и др. [1, 2]. Из этого ряда нами была выбрана система Ni–Ti (нитинолы), нашедшие применение как в технике, так и в медицине благодаря высокой коррозионной стойкости в живом организме, а также биологической совместимости, которая подтверждена во многих примерах имплантации протезов, фиксирующих деталей (скобок, скрепок, клипс и т. п.) и приводных механизмов [1, 3–5].

Сварка нитинола между собой и с другими конструкционными материалами может в значительной мере облегчить решение конструкторских задач при создании сложных изделий разного, в том числе и медицинского назначения. Однако при сварочном нагреве возможен распад интерметаллидов эквиатомного состава с образованием Ti_2Ni и $TiNi_3$ [3] и появление внутренних термических напряжений, что может привести к из-

менению температурного интервала мартенситного превращения и степени восстановления формы. Сведений об этом еще недостаточно, что сдерживает разработку технологии обработки термоупругих сплавов и изделий из них и соответственно их применение.

Для соединения сплавов системы Ni–Ti ранее были использованы такие процессы сварки плавлением, как сварка вольфрамовым электродом в инертном газе, лазерная и электронно-лучевая сварка. При сварке плавлением возникает несколько проблем, которые приводят к растворению кислорода, водорода и азота, потере сверхупругости и эффекта памяти формы в металле ЗТВ, формированию названных выше интерметаллидных соединений, хрупких и не имеющих памяти формы [6–10]. В результате этого даже при сохранении последней при сварке 10-киловаттным лазером листа нитинола толщиной 3 мм прочность соединения на разрыв оказалась низкой из-за крупного размера зерна в зоне плавления. Вместе с тем поверхностный нагрев нитинола ультракороткими импульсами [11] не приводит к ухудшению структуры.

Перечисленные выше недостатки сварки плавлением вызвали необходимость поиска приемлемых решений среди способов соединения в твердом состоянии, таких как сварка трением или взрывом, контактная, диффузионная и ударная конденсаторная сварка.

В соответствии с данными Edison Welding Institute [12] при сварке сопротивлением нитинол демонстрирует достаточную сверхупругость даже без дополнительной термической обработки сварного образца (в работе не приведены сведения о сохранении при этом процессе критических температур мартенситного превращения).



Таблица 1. Режимы точечной двухимпульсной сварки переменным током фольги из нитинола

№ образца	Толщина фольги, мкм	Значение тока в делениях регулятора тока РК801	Время нагрева (1-й импульс), мс	Время охлаждения, мс	Время нагрева (2-й импульс), мс	Усилие сжатия, Н	Степень трансформатора
1-1	85	0	3	9	3	10	1
2-1	85	0	3	9	3	10	1
3-1	85	4	3	9	3	10	1
4-1	50	0	1	0	0	10	1
5-1	85	1	1	0	0	36	2
6-1	50	1	1	0	0	36	3
7-1	52	1	1	0	0	36	3
8-1	52	1	1	0	0	36	2

Таблица 2. Режимы точечной конденсаторной сварки

№ образца	Толщина фольги, мкм	Емкость конденсаторов, мкФ	Коэффициент трансформации	Усилие сжатия, Н
1-2	50	20	240	45
2-2	50	10	240	45
3-2	52	20	240	45
4-2	52	10	240	45
5-2	85	20	240	45
6-2	85	10	240	45
7-2	180	20	240	45
8-2	180	10	240	45

Сварка трением [7] является перспективным процессом для соединения СЭПФ, но имеются геометрические ограничения по форме свариваемых деталей, создающие проблему для широкого применения этого способа сварки.

Термодеформационный цикл стыковой ударной конденсаторной сварки [13] привел к охрупчиванию сварного соединения нитиноловой проволоки диаметром 1,8 мм. Применение защитного газа и дополнительная термообработка сварных соединений [14] позволили получить образцы с характеристиками, достаточными для практического применения.

Хороший результат получен при сварке взрывом нитинола со сплавом АМг6 [15]. Контрольные образцы соединений имели минимальное количество дефектов типа интерметаллидных прослоек, усадочных раковин, пор и т. п., сохраняли эффект памяти формы нитинола и состояние поверхности сваренных деталей.

Отмеченное выше свидетельствует, что сварка нитинола малого сечения (фольга, проволока), имеющего преимущественное применение в медицине и автоматике, не описана.

В основу исследования при выборе способов сварки положено предположение о том, что минимальные изменения в структуре и химическом

составе металла в зоне сварки будут в том случае, если последний будет находиться при высокой температуре в течение минимального времени. В качестве источника нагрева нами выбраны конденсаторный разряд (прохождение большого тока за короткое время), импульсы переменного тока и лазерный луч. Были исследованы точечные и стыковые соединения фольги и проволоки из нитинола.

Эксперименты по точечной, ударной конденсаторной, а также лазерной сварке проводили на установке МТК-2201 и специальных лабораторных установках УДК-1 и Alpha Laser ALV 100 (с необходимой модернизацией).

Исходя из предполагаемых изменений в структуре свариваемого металла, исследование соединений, полученных точечной сваркой, проводили с использованием металлографического анализа, сравнительного фазового рентгеноструктурного анализа места сварки и удаленных концов образца, сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа. Кроме того, контролировали воспроизведение формы в области контактной сварки.

Исследование поверхности образцов, сваренных разными способами, проводили с помощью металлографического микроскопа «Neophot-32» при разных увеличениях. Для удаления оксидного слоя и выявления структурных микронеоднородностей все образцы обрабатывали в растворе 47 % HNO₃ + 17 % HF + 36 % H₂O при комнатной температуре в течение 10 с.

Основные параметры режима *точечной сварки* (табл. 1, 2) определяли экспериментальным путем. Использовали два типа нагрева образцов: переменным (50 Гц) током разного значения и длительности* и током разряда конденсаторов. В последнем случае длительность прохождения тока регулировали изменением емкости конденсаторов. Амплитудное значение тока, которое определяет

* Сварку проводил инж. В. Н. Заичко.



коэффициент трансформации (напряжение зарядки конденсаторов оставалось постоянным, равным 600 В), было неизменным (табл. 2).

Исследование поверхности образцов показало значительный нагрев в зоне контакта поверхности фольги с электродами, обусловленный высоким переходным сопротивлением между электродами и фольгой, что связано с наличием на поверхности образца слоя оксида титана и значительной твердости нитинола, увеличивающейся при нагреве. Наблюдается также незафиксированное ранее наличие концентрических окружностей (рис. 1) на поверхности тонкой фольги (табл. 2, образец № 2-2). Это явление может быть связано с появлением значительных растягивающих напряжений, направленных к центру окружности, которые обусловлены затрудненной кристаллизацией расплавленного металла сварной точки.

Методами сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа установлено, что при сварке переменным током распределение элементов по поверхности образца в месте сварки соответствует распределению в основном металле. Другие элементы, кроме никеля и титана, не выявлены. При конденсаторной сварке в области отпечатка электрода обнаружены частички вольфрама, который перешел из металла электрода.

Наряду с микрорентгеноспектральным анализом проводили фазовый рентгеноструктурный анализ мест сварки и концов образцов № 3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 2-2, 4-2, 5-2, 6-2. Съемку вели на установке УРС 2,0 в $Cu-K_{\alpha}$ -излучении в камере РКВ-86. На рентгенограммах присутствуют две системы линий, которые относятся к исходной (ОЦК-структура) и мартенситной (моноклинная структура) фазам. Перераспределения интенсивностей между линиями этих фаз на рентгенограммах, снятых в разных местах образца, не наблюдалось, поэтому можно сделать вывод о том, что в результате сварки фазовый состав образцов не изменился. Однако в образцах № 6-1 и 2-2 интенсивность линий мартенситной фазы значительно слабее, чем в других исследованных образцах, но не изменяется при переходе от места сваривания к концам образца. Это дает основание предположить, что происходит смещение температурного интервала прямого мартенситного превращения в этих двух образцах в область более низких температур по сравнению с другими образцами. Поскольку измерения проводили на поверхности образцов, можно сделать вывод, что несмотря на самый мягкий режим сварки, вследствие малой толщины фольги и связанным с этим относительным увеличением механической жесткости, в сопротивлении электрод — деталь выделяется достаточно большая энергия, что приводит к нагреву поверхностей выше температуры распада интер-

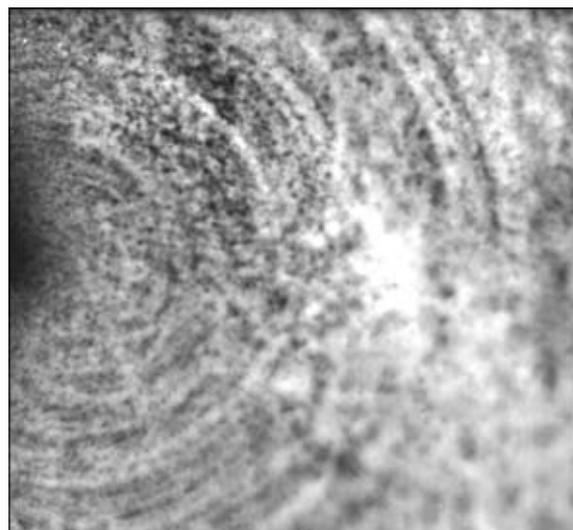


Рис. 1. Концентрические окружности на поверхности образца № 2-2 (точечная сварка фольги толщиной 50 мкм, табл. 2), $\times 200$

металлидов типа Ti_2Ni и снижению температуры мартенситного превращения.

Для определения зависимости характеристик точечных сварных соединений от режима сварки провели вторую серию экспериментов. Исследовали образцы сплава $Ni_{50}Ti_{50}$ в виде полосок толщиной 0,2 мм и шириной порядка 3 мм (табл. 3) и пластин толщиной 0,25...0,28 мм и площадью $10 \times 14 \text{ мм}^2$ (табл. 4).

Характерное отличие исследованных способов точечной сварки при разном уровне нагрева проявилось в степени деформации свариваемого металла (рис. 2). При этом соединение, полученное точечной сваркой переменным током, происходит в твердой фазе (рис. 2, б и в), а при конденсаторной сварке — с формированием литого ядра (рис. 2, а).

Таблица 3. Режимы точечной конденсаторной сварки фольги из нитинола эквиатомного состава

№ образца	Емкость конденсаторов, мкФ	Напряжение зарядки, В	Коэффициент трансформации
А-1	1100	200	100
А-2	1100	260	100
А-3	1100	200	150
А-4	1100	260	150
А-5	500	260	150

Таблица 4. Режимы точечной сварки переменным током фольги из нитинола эквиатомного состава

№ образца	Длительность (число) импульсов, с	Длительность пауз, с
В-1	0,06 (4) + 0,02 (1)	0,18
В-2	0,06 (3) + 0,02 (1)	0,18
В-3	0,12 (1) + 0,04 (1)	0,36
В-4	0,24 (1) + 0,02 (2)	0,36

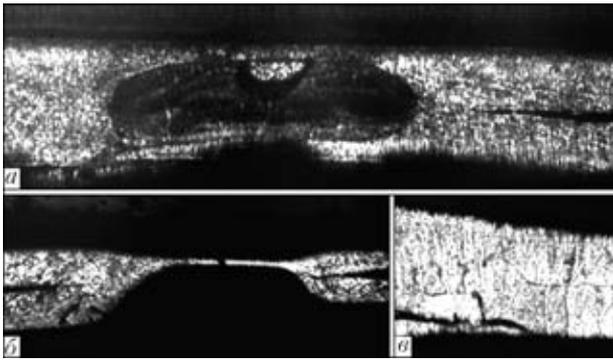


Рис. 2. Поперечные микрошифы образцов, выполненных точечной сваркой разрядом конденсаторов (а) и импульсами переменного тока промышленной частоты (б, в); а, б — $\times 100$; в — $\times 400$

Металлографический анализ при большом увеличении (рис. 3) показал, что дендриты, формирующиеся у границы литого ядра (рис. 3, а), не успевают прорасти в центральную часть ядра точки, где структура имеет зернистый характер (рис. 3, б), что связано с большой скоростью охлаждения при конденсаторной сварке.

Определение возможного изменения в химическом составе металла ядра и границы точечного конденсаторного соединения проводили сканированием поверхности шлифа в рентгеновском никелевом и титановом излучении. Как оказалось, поверхность отпечатка имела стабильную плотность почернения в обоих случаях, что свидетельствует об отсутствии фазовых изменений состава интерметаллидов.

При механических испытаниях изгибом образцы наибольшей толщины (порядка 180 мкм) после конденсаторной сварки хрупко разрушались при нагрузке. Анализ показал, что такое разрушение характерно для основного металла, а не было вызвано термическими изменениями.

Образцы, деформированные в двухфазном состоянии (исходная β -фаза + мартенситная фаза), нагревали до температуры порядка 120 °С. Большинство из них (№ 1-1, 2-1, 4-1, 5-1, 7-1,

Т а б л и ц а 5. Характеристические температуры мартенситного превращения (степень восстановления формы образцов 100 %)

Режим по рис. 4	$M_n, ^\circ C$	$M_k, ^\circ C$	$A_n, ^\circ C$	$A_k, ^\circ C$
I	-50	-60	-18	20
II	-50	-65	-21	25

8-1, 1-2, 3-2, 4-2, 5-2, 6-2, за исключением № 6-1 и 2-2, в которых, как было отмечено выше, при комнатной температуре отсутствует мартенситная фаза) показали практически полное восстановление формы. Для восстановления формы образцы № 6-1, 2-2 деформировали при нулевой температуре (вода со льдом). Поскольку образцы имели миниатюрные размеры, определить точный температурный интервал мартенситных превращений не представлялось возможным.

Для определения влияния процесса сварки на характеристические температуры мартенситного превращения и степень восстановления формы во второй серии экспериментов способом конденсаторной сварки были приготовлены модельные образцы в виде пластинок размером 30 \times 30 \times 0,2 мм. Зона сварки на образцах № А-1 и А-3 (табл. 3) формировалась двумя способами: группой из девяти точек, примыкающих друг к другу на длине 9 мм в центре пластинки; девять точек на равном расстоянии между собой. На этих образцах резистометрическим методом измерены характеристические точки мартенситного превращения M_k, M_n, A_n, A_k (рис. 4 и табл. 5).

Количественное измерение степени восстановления формы проводили на специальной установке, в которой образец в состоянии исходной фазы деформировали методом трехточечного изгиба. При этом внешнюю нагрузку подбирали таким образом, чтобы максимальные напряжения были существенно меньше предела текучести материала. При снижении температуры до начала мар-

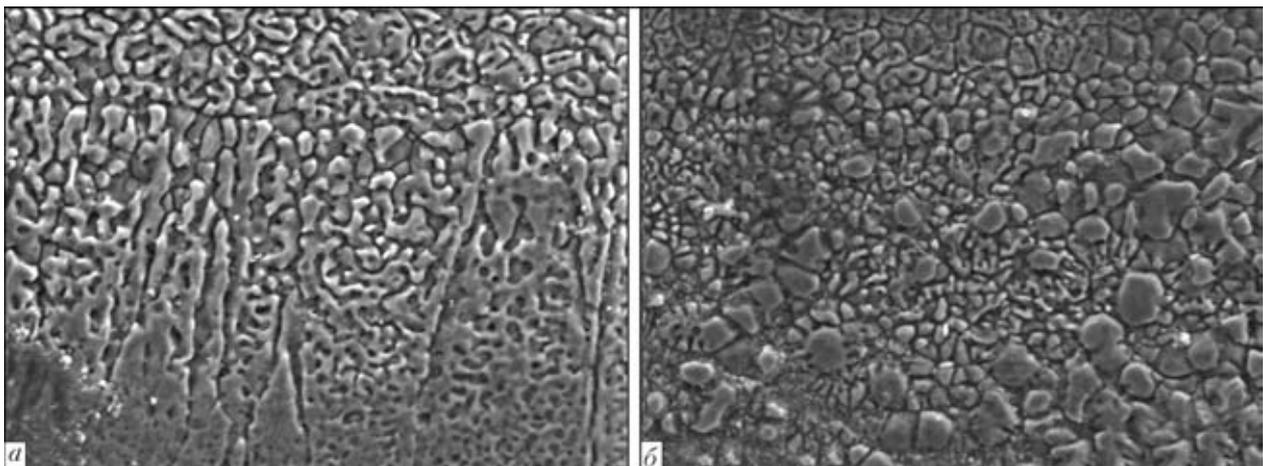


Рис. 3. Микроструктура ($\times 1000$) границы литого ядра с основным металлом (а) и центральной части точечного соединения, полученного конденсаторной сваркой, (б)

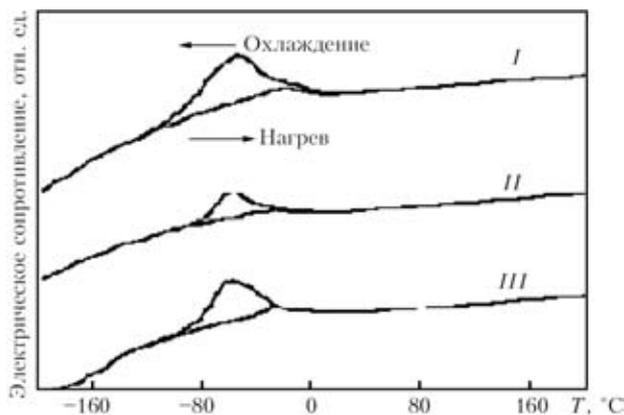


Рис. 4. Температурная зависимость электрического сопротивления образцов, сваренных на разных режимах: I, II — режимы для образца № А-1 соответственно с группой и отдельными точками; III — для образца № А-3 с группой точек

тенситного превращения под действием приложенного напряжения образец претерпевал пластическую деформацию (появляется прогиб) в результате пластичности превращения. По мере увеличения количества мартенситной фазы прогиб увеличивается, что продолжается в течение всего

Т а б л и ц а 6. Определение степени восстановления формы после деформирования образцов, выполненных точечной сваркой

№ образца	Толщина отдельной пластинки, мм	Толщина места сварки, мм	Величина заданной деформации, %	Степень восстановления формы η, %
Конденсаторная сварка				
А-1	0,18	0,40	1,80	100
А-2	0,20	0,43	1,95	98
А-3	0,19	0,41	1,58	90
А-4	0,19	0,51	1,96	90
А-5	0,18	0,39	1,77	90
Сварка переменным током промышленной частоты				
В-1	0,26	0,70	2,5	90
В-2	0,27	0,57	1,5	100
В-3	0,28	0,61	1,9	95
В-4	0,25	0,61	3,0	80

Т а б л и ц а 7. Режимы ударной конденсаторной сварки нитиноловой проволоки

Материал образца	Емкость конденсаторов, мкФ	Напряжение зарядки конденсаторов, В	Усилие соударения, Н	Сопротивление разрядного контура, Ом	Длина пути соударения, мм	Длина конца проволоки, выступающая из зажима, мм
Проволока Ø 0,6 мм из нитинола	2850	900	30	1,0	6,0	1,5
Проволока из нитинола Ø 0,8 мм + медная проволока Ø 0,6 мм	850	400	20	1,4	5,0	2,0
Проволока из нитинола Ø 0,6 мм + нитиноловая пластина δ = 3 мм	2850	900	35	1,0	12,0	2,5
Проволока из стали 10Х18Н9Т Ø 0,8 мм + нитиноловая пластина δ = 1,4 мм	3000	900	30	1,2	10,0	1,5

интервала мартенситного превращения. При нагреве (вследствие обратного мартенситного превращения) восстанавливается первоначальная форма образца, степень восстановления которой η рассчитывали по формуле

$$\eta = [(\epsilon_n - \epsilon_0) / \epsilon_n] \cdot 100 (\%),$$

где ϵ_n — полная деформация образца после прямого мартенситного превращения; ϵ_0 — остаточная деформация после обратного мартенситного превращения.

В табл. 6 приведена зависимость степени восстановления формы от деформации, задаваемой изгибом вокруг цилиндра и рассчитываемой по формуле

$$\epsilon = \frac{h}{2R} \cdot 100 (\%),$$

где R — радиус изгиба образца, мм; h — толщина образца в месте сварки для образцов, сваренных на разных режимах.

Из таблицы видно, что только в образцах № А-1 и В-2, которые отличались наименьшей энергией сварочного нагрева, степень восстановления формы достигала 100 %. В образцах, сваренных на режимах с большой интенсивностью нагрева, восстановление формы было неполным, а у образца № В-4, сваренного при наибольшей энергии нагрева, восстановление формы не превысило 80 %.

Таким образом, нагрев внутренним источником тепла при точечной сварке приводит к значительному локальному изменению структуры, которое тем меньше, чем меньше уровень нагрева. Поэтому, как результат проведенных экспериментов, для сварки фольги из сплавов системы Ni-Ti можно рекомендовать точечную конденсаторную сварку на жестких режимах. При этом нужно принять меры против прилипания электродов к поверхности свариваемой фольги путем зачистки последней от толстого слоя оксида титана.

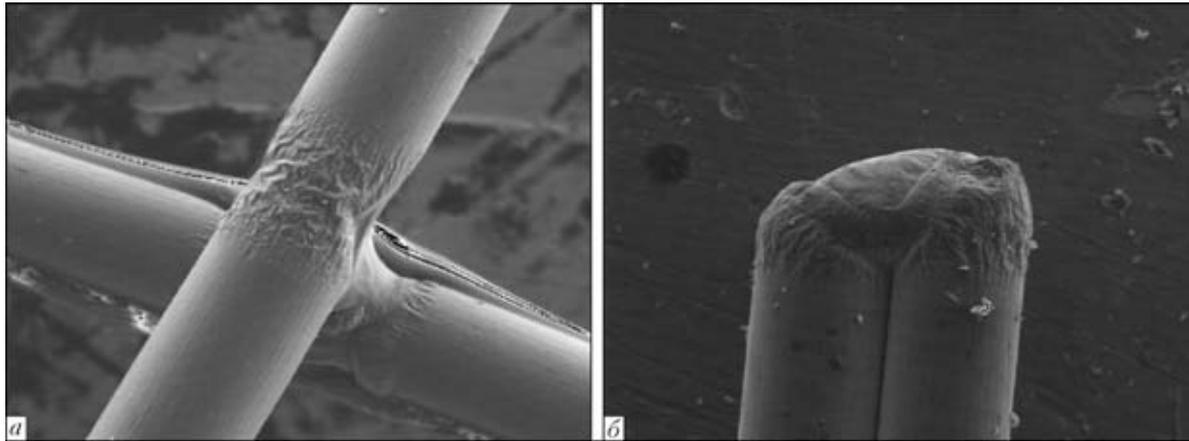


Рис. 5. Образцы нитинола (X100), сваренные лазерным излучением «в крест» (а) и «в шарик» (б)

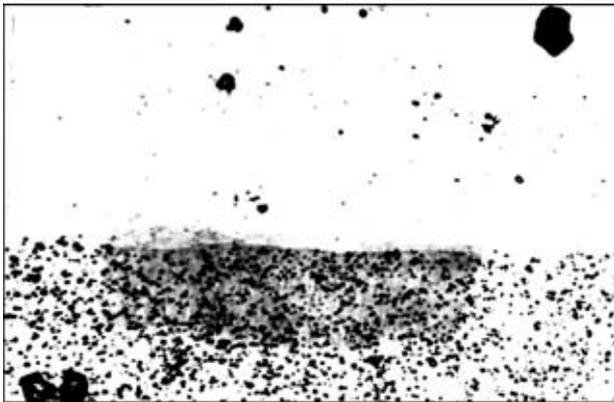


Рис. 6. Микроструктура соединения нитиноловой проволоки Ø0,6 мм с пластиной из никелида титана ($\delta = 3$ мм), X250

Аналогичные методики применили при исследовании последствий **лазерной сварки** проволочных образцов диаметром 0,28 мм, сваренных «в крест» и «в шарик» (рис. 5).

Анализ сварных соединений при увеличении X400 и 600 показал отсутствие трещин на поверхности. Распределение никеля и титана в литом металле соединений, по данным микрорентгеноспектрального анализа, как и при точечной контактной сварке, оказалось равномерным, а исследование восстановления формы образцов подтвердило приведенный выше вывод о том, что импульсный нагрев не приводит к смещению точек мартенситного превращения.

Режимы **ударной конденсаторной сварки** нитиноловой проволоки приведены в табл. 7. Все эксперименты по сварке Т-образных соединений проводили на обратной полярности, принимая во внимание, что температура плавления нитинола невелика и составляет 1240...1310 °C [16].

Особенностью нитинола (как свариваемого материала), кроме относительно низкой температуры плавления, является высокое электрическое сопротивление и низкая пластичность. Электрическое удельное сопротивление нитинола порядка 70 мкОм·см (для сравнения медь — 1,7, нержавеющая сталь — 8 мкОм·см), твердость HRC 60,

что соответствует твердости закаленной стали. При ударной конденсаторной сварке это влияет, с одной стороны, на ускоренное плавление нитинола вследствие тепловыделения при прохождении тока по проволоке, а с другой — на недостаточное ее деформирование при соударении.

Существенную роль при сварке нитинола (как соединения двух проволок, так и Т-образного соединения проволоки с поверхностью пластины) играют напряжения, которые появляются при фазовом переходе во время охлаждения сварного соединения, что вызывает нестабильность прочности сварного соединения, получаемого ударной конденсаторной сваркой. Для этого способа соединения металлов в твердой фазе характерны относительно небольшие давления осадки. Поэтому в зависимости от случайной кристаллографической ориентации зерен металла, выходящих на поверхность, напряжения второго рода могут складываться в большей или меньшей степени с внешними напряжениями, прикладываемыми при испытании образца на изгиб.

Значительно лучший результат можно получить при сварке нитинола с пластичным металлом, например, медью или нержавеющей сталью. В этом случае на прочность соединения влияют не столько внутренние напряжения, сколько взаимное размещение стыкуемых кристаллических блоков. Вследствие малой пластичности нитинола можно ожидать только поворот зерен при деформации пластичного металла. Однако, как показали эксперименты, для получения прочности соединения, превышающей прочность мягкого металла, нужно увеличивать сечение стыка в 2 раза по сравнению с сечением мягкой проволоки.

Металлографические исследования сварных образцов показали отсутствие пор, трещин или других макродефектов, нарушающих сплошность стыка (рис. 6). Разные «предыстории» проволоки и пластины привели и к разному виду структуры и содержанию второй фазы. В работе [17] предполагается, что ее состав Ti_4Ni_2O .

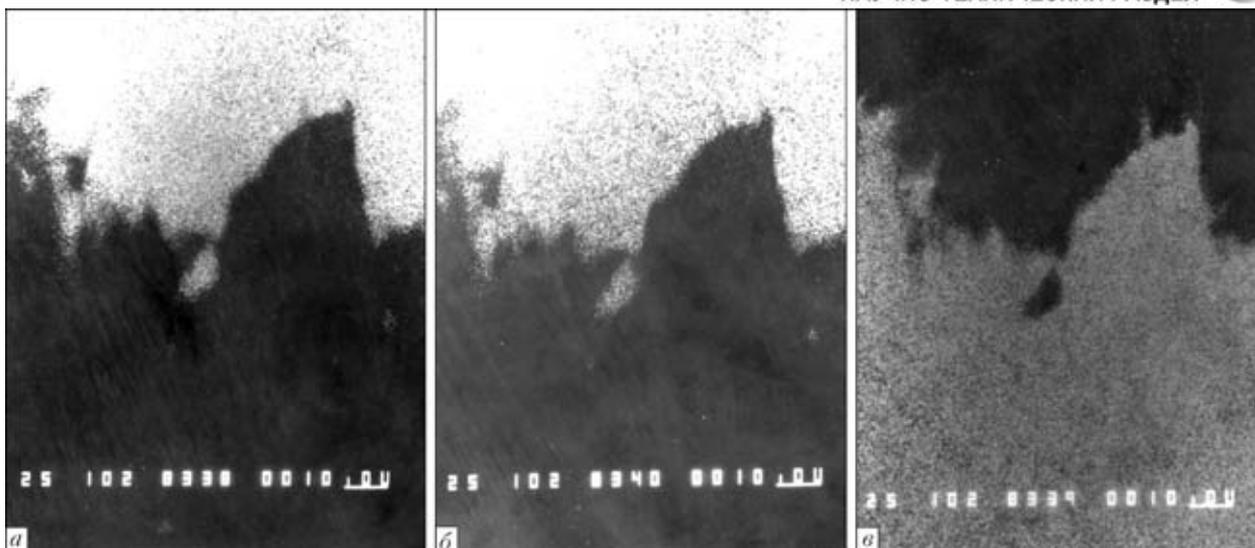


Рис. 7. Рентгенограммы соединений нитинола с медью (X1000), полученные в титановом (а), никелевом (б) и медном (в) облучении

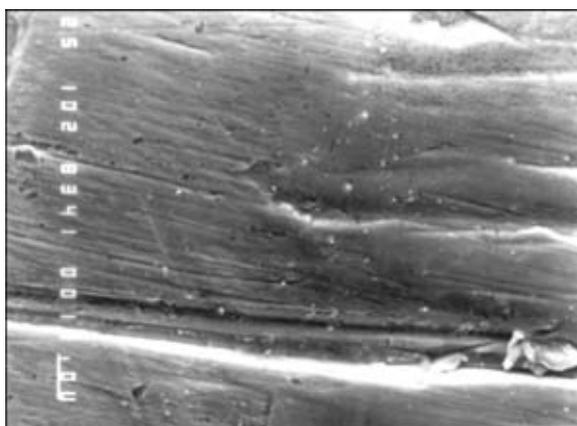


Рис. 8. Поверхность шлифа в режиме сканирования, X1000

В соединениях медной и нитиноловой проволок, сваренных на оптимальном режиме, отсутствует перемешивание свариваемых металлов, не происходит угар компонентов СЭПФ, о чем свидетельствует совпадение формы стыка при съемке в излучении каждого из элементов, присутствующих в соединении (рис. 7), и сохраняется мартенситная структура в соединении обычного металла с СЭПФ (рис. 8).

Выводы

1. В литературе отсутствуют сведения о влиянии термомеханического воздействия при сварке на характеристики прямого и обратного мартенситного превращений в СЭПФ системы Ni-Ti и о способах сваривания тонких проволок и фольги из этих сплавов. Это сдерживает разработку технологии сварки термоупругих сплавов и использование их в технике и медицине.

2. Анализ физических основ проявления эффекта памяти формы в термоупругих сплавах позволил выбрать из многих способов сварки те, которые используют импульсный нагрев, в част-

ности конденсаторную (точечную и ударную) и лазерную сварку.

3. Показано, что при точечной конденсаторной и лазерной сварке нитинола малого сечения температура мартенситного превращения СЭПФ не изменяется, а степень восстановления формы тем ближе к 100 %, чем жестче импульс нагрева.

4. Соединения нитинола ударной конденсаторной сваркой не имеют необходимой прочности. Однако при сварке нитинола с пластичными металлами получены удовлетворительные механические и термомеханические характеристики сварных образцов.

5. Импульсный кратковременный нагрев нитинола как с формированием внутреннего источника тепла, так и поверхностных зон повышения температуры выше точки плавления металла, не ухудшает состояние материала и не изменяет его термомеханические свойства вблизи участка сварки, поэтому может быть рекомендован для использования при изготовлении изделий из этого материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства просвещения и науки Украины.

1. Апаев Б. А., Вороненко Б. И. Эффект запоминания формы в сплавах // *Металловедение и терм. обработка мет.* — 1973. — № 1. — С. 24–28.
2. Журавлев В. Н., Пушин В. Г. Сплавы с термомеханической памятью и их применение в медицине. — Екатеринбург, 2000. — 150 с.
3. Корнилов И. И. Металлоиды с уникальными свойствами // *Металловедение и терм. обработка мет.* — 1975. — № 10. — С. 19–22.
4. Сплавы с эффектом памяти формы / К. Ооцука, К. Симидзу, Ю. Судзуки и др. — М.: *Металлургия*, 1990. — 224 с.
5. Сплавы с памятью формы в медицине / В. Э. Гюнтер, В. В. Котенко, М. З. Миргазизов и др. — Томск: *Изд-во Том. ун-та*, 1986. — 208 с.
6. *Сверхэластичные имплантаты и конструкции из сплавов с памятью формы в стоматологии* / М. З. Миргазизов,



- В. Э. Гюнтер, В. И. Итин и др. — Moscow; Berlin; Chicago; London; San Paulo & Tokyo: Quintessenz Verl., 1993. — 231 с.
7. *Shinoda T., Tsuchia T., Takachashi H.* Friction welding of shape memory alloy // *Welding Intern.* — 1992. — **6**, № 1. — P. 20–25.
 8. *Hirose A., Araki N.* Welding TiNi shape memory alloys // *Metals.* — 1989. — **59**, № 8. — P. 61–68.
 9. *Nishikawa M.* Welding shape memory alloys // *Bull. Metals Soci.* — 1985. — **24**, № 1. — P. 56–60.
 10. *Characteristics and fracture morphology of Ti–Ni type shape memory alloy and its laser weld joint / T. Araki, A. Hirose, M. Uchihara et al.* // *Materials.* — 1989. — **38**, № 428. — P. 478–483.
 11. *Laserwerkstoffbearbeitung von Formgedachtnislegierungen // Schweißen und Schneiden.* — 1999. — **51**, № 12.
 12. *Potluri N. B.* Joining of shape memory alloys // *Welding J.* — 1999. — № 3. — P. 39–42.
 13. *Рудаков С. Г.* Разработка и исследование процесса сварки сплавов на основе никелида титана // Тр. 13 науч.-практ. конф. — Юрга, 27–28 апр. 2000 г. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. — С. 11.
 14. *Рудаков С. Г., Катунина А. С., Петриченко О. В.* Изготовление сварных конструкций из сплавов с регулируемым эффектом памяти формы // Тр. 14 науч. конф. — Юрга, 26–27 апр. 2001 г. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. — С. 47–48.
 15. *Изготовление с помощью сварки взрывом композиционного материала «никелид титана + алюминиевый сплав» // Современные проблемы сварочной науки и техники «Сварка-97»: Материалы Российской науч.-техн. конф. 16–18 сент. 1997.* — Воронеж, 1997. — С. 178–179.
 16. *Тихонов А. С., Герасимов А. П., Прохорова И. И.* Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении. — М.: Машиностроение, 1981. — 80 с.
 17. *Melton K. N.* Ni–Ti based shape memory alloys. Engineering aspects of shape memory alloys. — Butterworth-Heinemann Ltd., 1990. — P. 21–35.

Welding processes with a pulsed heating are the most promising for joining alloys of Ni-Ti system. We studied the characteristics of wire and foil joints produced by spot welding by a capacitor discharge and alternating current, shock capacitor-type welding and laser welding. Methods of optical and X-ray microscopy, X-ray microprobe analysis, resistance measurement and three-point bending, were used to show that the capacitor-type and laser welding processes do not change the material composition or its thermomechanical properties near the welding site and may be recommended for application in manufacture of nithinol products.

Поступила в редакцию 06.04.2005

УСТАНОВКА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ СВАРКИ ТРИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЛЕНТЫ — МОДЕЛЬ EWST



Две электронно-лучевые пушки предназначены для выполнения двух швов одновременно. Источник питания с системой защиты от пробоев на основе электронной лампы. Система вакуумирования воздух-вакуум-воздух (вакуум до $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. внутри рабочей камеры). Непрерывный контроль качества швов токами Фуко. Устройство для центровки лент обеспечивает их точную установку при сварке. Электронно-лучевые пушки имеют независимую систему турбомолекулярной откачки. Участок катода изолирован вакуумным клапаном, чтобы держать пушку под вакуумом при разгерметизации рабочей камеры. По специальному заказу лентосварочная установка поставляется с автоматической системой слежения по шву и цифровым управлением сварочными параметрами.

Технические характеристики установки модели EWST

Установленная мощность при 50–60 Гц, В.....	380±10 %
Потребление охлаждающей воды при < 25 °С, л/мин	20
Время откачки при вакууме $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., мин	8
Производительность:	
толщина лент, мм	0,8–1,0
общая ширина лент, мм	до 80
скорость сварки, м/мин	до 1

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 57
 Тел./факс: (38044) 525 43 19
 E-mail: nazarenko@technobeam.com.ua



ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ

Академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ, Н. А. ПАЩИН, В. Ю. СКУЛЬСКИЙ**, кандидаты техн. наук,
В. П. ЛОГИНОВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследования влияния электродинамической обработки (ЭДО) одиночными импульсами на кинетику упругих деформаций и напряженное состояние теплоустойчивых сталей. Представлена методика экспериментальных исследований и описана лабораторная установка для ЭДО. Установлено, что при обработке одиночными разрядами в материале инициируются поля упругих деформаций сжатия-растяжения, значения которых находятся в прямой зависимости от напряжения разряда. Показано, что ЭДО может быть использована для релаксации напряженных состояний конструкций из теплоустойчивых сталей.

Ключевые слова: электродинамическая обработка, теплоустойчивые стали, напряженно-деформированное состояние, электронно-дислокационное взаимодействие, плоский образец, цилиндрический образец, удельная энергия импульса

Развитие современного машиностроения вызывает необходимость поиска новых способов повышения прочностных характеристик сварных конструкций из высокопрочных сталей. Одним из перспективных направлений является разработка способа обработки металлов и сплавов путем воздействия на них электромагнитного поля [1]. Примером такого воздействия является обработка, в основе которой лежит эффект, проявляющийся под влиянием электродинамических сил на тонколистовые материалы. Изменяя длительность и энергию импульсов тока, воздействующего на электропроводный материал, через активацию дислокационных перемещений, фазовые изменения и другие процессы можно влиять на статическую и усталостную прочность, пластичность, твердость и напряженно-деформированное состояние металлов и сплавов, а также их сварных соединений [2]. Наблюдаемые эффекты можно объяснить на основании гипотезы об электронно-дислокационном взаимодействии [3].

Целью настоящей работы является разработка экспериментальной установки для электродинамической обработки (ЭДО) конструкционных сталей и их сварных соединений, а также оценка влияния такой обработки на служебные характеристики исследуемых материалов.

Преимущество ЭДО перед термической и другими видами обработки состоит в мобильности используемого оборудования. Кроме того, благодаря незначительной массе и габаритам установок ЭДО их можно использовать для обработки круп-

ногабаритных сварных конструкций в местах эксплуатации последних.

Для осуществления ЭДО нет необходимости в установках большой мощности, поскольку применяют электрические разряды длительностью 0,005...1,000 мс, что предполагает наличие малогабаритных импульсных источников питания, а элементная база обеспечивает следующие рабочие параметры режима: ток импульса $I_{\text{имп}} \leq 10$ кА; напряжение $U_{\text{имп}} \leq 3$ кВ. При определенных аварийных условиях значения тока и напряжения в токоведущих элементах электрических машин могут за весьма малый промежуток времени увеличиваться в десятки раз, поэтому необходимо наличие аппарата защиты [4]. Однако часто в устройствах промышленной электроники такие переходные процессы (ПП) являются штатными, а не характерными только для аварийного режима. ПП, связанные с зарядом и разрядом конденсаторов, лежат в основе работы электронных генераторов; они возникают в цепях, которые включают индуктивные элементы и элементы емкости. Разработанная установка для ЭДО относится к типичным приборам данного типа.

Процессы, протекающие при ЭДО, можно разделить на ПП в цепи с элементом емкости и резистором (зарядка конденсатора), ПП в цепи с заряженным конденсатором (разряд конденсатора), а также ПП в рабочем контуре.

Для исследования электродинамических ПП, протекающих при ЭДО, с рабочей частью контура соединялась контрольно-измерительная аппаратура, которая позволяет регистрировать электрические и механические параметры осуществляемой обработки.

Рабочим органом установки является электрод, представляющий собой катушку, расположенную

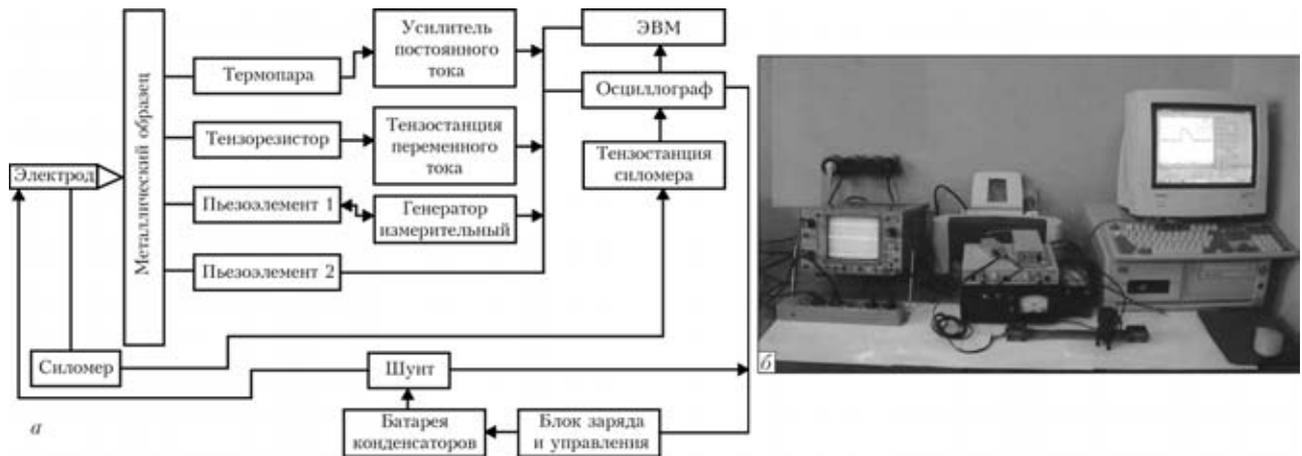


Рис. 1. Принципиальная блок-схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки для ЭДО металлов и сварных соединений

в изолированном корпусе и подключенную к батарее конденсаторов. Катушка соединена с цилиндрическим стержнем из электротехнической меди марки М1, сферический торец которого является зоной контакта электрода с обрабатываемой поверхностью сварного соединения, т. е. областью, в которой имеет место электродинамический разряд конденсаторной батареи.

Принципиальная блок-схема и общий вид лабораторной установки для ЭДО металлов и сварных соединений представлены на рис. 1. Контрольно-измерительный комплекс для изучения ЭДО состоит из:

батареи конденсаторов для накопления и сброса энергии импульса тока с частотой 10 имп/мин;

блока заряда и управления для зарядки батареи конденсаторов до рабочего напряжения;

рабочего инструмента-электрода, укомплектованного шунтом для передачи электродинамического воздействия (импульса тока) обрабатываемому материалу с сопутствующим измерением значений тока (шунт);

тензостанции для измерения динамической составляющей ЭДО в момент действия импульса;

тензостанции для измерения усилий растяжения обрабатываемого образца;

термопары с усилителем постоянного тока для измерения температурной составляющей в момент действия импульса (интегральный джоулев разогрев);

пьезоэлементов для преобразования механических перемещений в электрический сигнал;

измерительного генератора для генерирования электрических колебаний и передачи сигнала на металлический образец;

осциллографа для записи и отображения электрических и механических сигналов при ЭДО;

компьютера для численной обработки сигналов, отображающих параметры ЭДО.

Главной оценочной характеристикой ЭДО является изменение начального напряженно-деформированного состояния металлического образца, ко-

торое возникает в результате обработки его поверхности и регистрируется элементами измерительного комплекса лабораторной установки. Начальное напряженно-деформированное состояние образца задавали продольным одноосным растяжением в специализированном силовом устройстве.

Установлено, что воздействие импульсов тока на металл, подвергаемый растяжению, приводит к релаксации его напряженно-деформированного состояния [5], что может положительно сказаться на повышении ресурса сварных конструкций.

Исследования влияния ЭДО на релаксацию напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов проводили на образцах из теплоустойчивых сталей различных марок. Обработку центральной части рабочей зоны образцов выполняли сериями импульсов от одного до трех с интервалами 30...60 с.

Исследуемый образец с закрепленными на нем тензодатчиком и термопарой фиксировали в захватах силового устройства и растягивали вдоль продольной оси, при этом контролировали значения начальных относительных деформаций и температуры. С помощью блока заряда и управления измеряли напряжение импульса.

При контакте торца электрода с поверхностью образца производили разряд батареи и фиксировали значения относительных деформаций образца и тока в импульсе. После завершения действия импульса определяли значения остаточных деформаций и температуру поверхности исследуемого образца.

Кинетику деформационных процессов в металле околошовной зоны при ЭДО изучали на плоских образцах лопаточного типа из стали 15ХН с размером рабочей зоны 120×15×3 мм, которые закрепляли в оснастке без растяжения. Осуществляли ЭДО средней части рабочей зоны образцов одиночными разрядами со следующими рабочими параметрами импульса: ток $I_{имп} = 2400$ А, напряжение $U_{имп} = 165$ В, частота действия импуль-



сов $W_{\text{имп}} = 1600$ Гц и время их воздействия $t_{\text{имп}} = 0,3$ мс. В момент действия импульса измеряли относительные деформации ε , инициируемые токовым разрядом. Форма импульсов тока и вызванных им относительных деформаций образцов представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что кривая относительных деформаций ε имеет выраженный синусоидальный характер и электродинамическое воздействие вызывает в материале высокоградиентное упругое сжатие, компенсируемое упругим растяжением с последующим затуханием до нулевых значений ε . При этом активация механического воздействия электрического разряда начинается с некоторым (приблизительно 0,1 мс) запаздыванием с момента возрастания тока в импульсе $I_{\text{имп}}$, а приращение деформаций в областях сжатие-растяжение происходит скачкообразно. С позиций гипотезы электронно-дислокационного взаимодействия [1] это объясняется тем, что до момента нарастания значений тока в импульсе от $I_{\text{имп}}$ до I_0 (начала процесса сжатия) дислокации находятся на непреодолимых стопорах для данного состояния образца. После достижения током значения I_0 в металле образца активизируется перемещение дислокаций по линиям скольжения, сопровождающееся прорывом движущимися дислокациями препятствий в виде неоднородностей различного типа и дислокационных скоплений [6].

На рис. 2 видно, что длительность импульса тока составляет 0,3 мс, а время активации механического воздействия на металл в результате ЭДО — 0,10...0,15 мс. При этом максимальное значение ε соответствует максимальным значениям тока и напряжения разряда, а следовательно, эффективность процесса ЭДО определяется не временем воздействия импульса тока $t_{\text{имп}}$, а его удельной энергией q , которая приходится на единицу объема обрабатываемого материала.

Для подтверждения влияния q на интенсивность электродинамического воздействия на металл изучали кинетику изменения ε при различных значениях напряжения на электроде U_3 при ЭДО образца из стали 15ХН. Обработку плоских образцов выполняли на режимах, аналогичных используемым ранее, но U_3 варьировали от 200 до 400 В. В момент действия одиночного импульса проводили измерения деформаций ε (рис. 3) и температуры образца T (джоулев разогрев). Анализируя функцию $\varepsilon = f(U_{\text{имп}})$, можно видеть, что приращение значений ε находится в прямой зависимости от напряжения на электроде и соответственно удельной энергии импульса. Увеличение U_3 приводит к возрастанию градиентов временных деформаций как в области сжатия, так и растяжения.

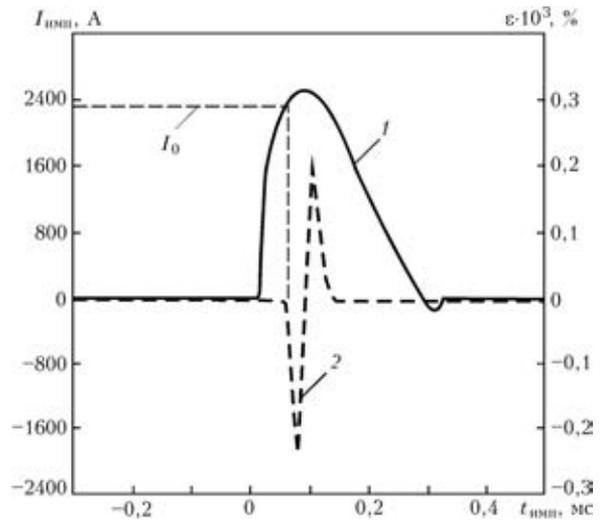


Рис. 2. Изменение формы импульсов тока $I_{\text{имп}}$ (1) и кинетика относительных деформаций ε (2) при ЭДО образцов из стали 15ХН

Следует отметить, что проводимые во всех экспериментах текущие измерения температуры металла для учета влияния нагрева образца при ЭДО показали, что она не изменяется ни в момент действия разряда, ни после завершения обработки при $T = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Проводили эксперименты по оценке влияния длительности временного промежутка воздействия разряда тока на эффективность ЭДО. С этой целью на плоском образце из стали 15ХГМР, закрепленном без растяжения, проводили серию одиночных разрядов на указанном выше режиме при $U_3 = 400$ В, при этом $t_{\text{имп}}$ изменяли от 0,01 до 0,13 мс. Критерием эффективности процесса являлись максимальные значения упругих деформаций ε , определяемых зависимостью $\varepsilon = f(t_{\text{имп}})$, представлена на рис. 4. Из рисунка видно, что увеличение длительности импульса при стабилизации прочих параметров ЭДО приводит к снижению его относительных деформаций. Это сви-

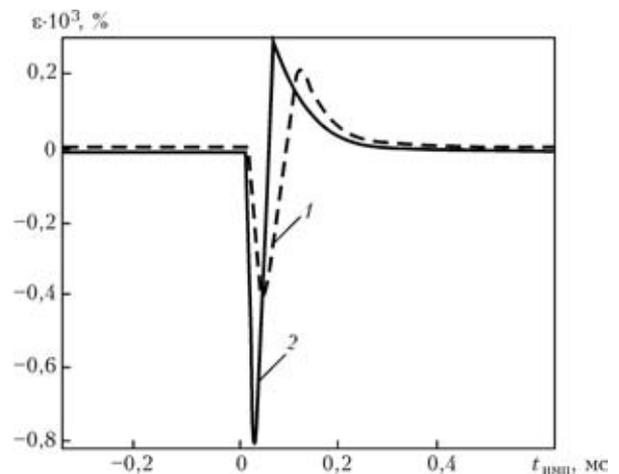


Рис. 3. Кинетика изменения относительных деформаций ε при ЭДО образца из стали 15ХН в момент действия одиночного разряда при $U_3 = 200$ (1) и 400 В (2)

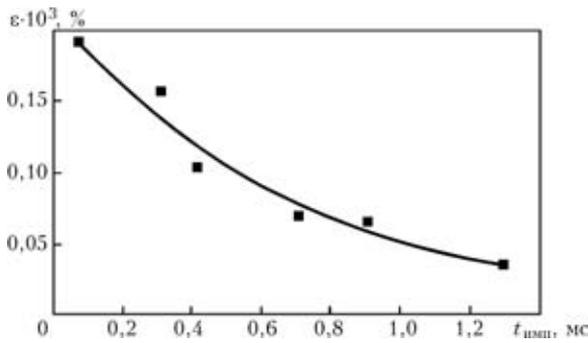


Рис. 4. Зависимость максимальных значений относительных деформаций ε в образцах из стали 15ХГМР от времени $t_{имп}$ воздействия импульса при ЭДО

детельствует о снижении энергии воздействия разряда на материал, а значит, негативно сказывается на эффективности процесса ЭДО. Следовательно, при ЭДО целесообразно минимизировать время электродинамического воздействия при сопутствующем увеличении мощности (удельной энергии q).

Проводили исследования влияния ЭДО на релаксацию продольных напряжений растяжения на образцах цилиндрической формы из стали 18ХГА (рис. 5). Образец закрепляли в захватах специализированной оснастки и подвергали растяжению вдоль продольной оси, значения которого фиксировали тензодатчиком. После достижения требуемой нагрузки в рабочей зоне проводили серию одиночных разрядов с сопутствующим тензометрированием релаксационных процессов в материале. Режим ЭДО соответствовал выбранному ранее для плоского образца из стали 15ХГА при $U_3 = 400$ В. Критерием оценки эффективности процесса служила релаксация продольных напряжений растяжения $\Delta\sigma_p$ — абсолютная величина падения уровня растяжения образца σ_p , инициируемая импульсным разрядом тока. Зависимость $\Delta\sigma_p$ от уровня предварительного растяжения представлена на рис. 6, из которого видно, что при приложении малых значений растягивающих усилий (до 50 МПа) с помощью ЭДО можно снижать уровень значений напряжений растяжения в образцах из стали 18ХГА на 50%. В то же время при более высоком уровне нагружения $\sigma_p = 200$ МПа $\Delta\sigma_p$ снижается на 10...15%. Следует также отметить, что при предварительном растяжении

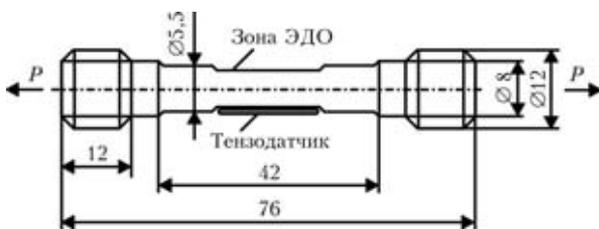


Рис. 5. Схема образца из стали 18ХГА для оценки влияния ЭДО на продольные напряжения растяжения (P — растягивающая нагрузка)

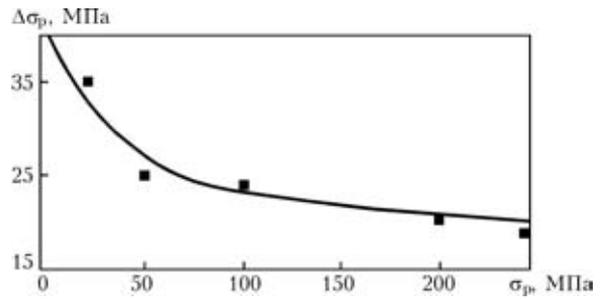


Рис. 6. Изменение напряжений растяжения $\Delta\sigma_p$ в образцах из стали 15ХГА после ЭДО при различных уровнях предварительного растяжения σ_p

образца до 25 МПа после ЭДО удалось получить незначительные (до 10 МПа) напряжения сжатия.

Для оценки влияния количества последовательно выполняемых импульсов n на снижение σ_p образец из стали 18ХГА (см. рис. 5) был подвергнут растяжению до 130 МПа. Затем его последовательно обрабатывали серией из трех разрядов на указанном выше режиме ЭДО. На основании проведенного тензометрирования установлено, что эффективность ЭДО не возрастает с увеличением количества импульсных разрядов при постоянной энергии, запасаемой батареей конденсаторов. Характер исследуемой экспериментальной зависимости представлен на рис. 7. Наибольшее снижение механических напряжений растяжения в исследуемых образцах получено при воздействии первого импульса и составляет 65...70% общего уровня падения напряжений σ_p . При повторном разряде уровень напряжений снижается не более чем на 10...15%, а после третьего — не более чем на 1...5% общего уровня растягивающих напряжений.

На основании полученных результатов можно заключить, что ЭДО является перспективным способом повышения ресурсных характеристик металлических конструкций, в том числе и сварных. Однако вопросы оценки влияния ЭДО на механические свойства сварных соединений различных конструкционных материалов требуют еще дальнейшего изучения.

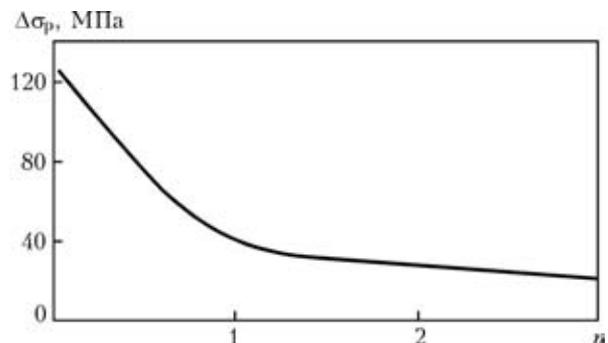


Рис. 7. Влияние количества n импульсов тока на напряжения растяжения σ_p в образцах из стали 18ХГА после ЭДО



1. *Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы* / Ю. В. Баранов, О. А. Троицкий, Ю. С. Авраамов и др. — М.: МГИУ, 2001. — 844 с.
2. *Пластичность и прочность металлических материалов при импульсном воздействии высокоэнергетического электромагнитного поля* / Н. Н. Беклемишев, Н. М. Горбунов, Н. И. Корякин и др. — М.: ИПМ АН СССР, 1989. — 560 с.
3. *Электропластическая деформация металлов* / В. И. Спицин, О. А. Троицкий. — М.: Наука, 1985. — 160 с.
4. *Александров Г. И.* Теория электрических аппаратов. — М.: Высш. шк., 1985. — 312 с.
5. *Акустическая эмиссия при электроимпульсной деформации титановых сплавов* / Н. А. Семешко, Р. Ф. Крупский, А. В. Купов и др. // *Материаловедение*. — 2004. — № 7. — С. 29–33.
6. *Финкель В. М.* Физические основы торможения разрушения. — М.: Металлургия, 1997. — 359 с.

Results of investigation into the effect of electrodynamic treatment (EDT) using single pulses on the kinetics of elastic strains and stressed state of heat-resistant steels are given. The experimental procedure is presented, and the laboratory EDT unit is described. It has been established that treatment using single discharges initiates the fields of elastic compression-tension strains in the material treated, and that the values of these strains are in direct dependence upon the discharge voltage. It is shown that EDT can be employed for relaxation of the stressed state of heat-resistant steel structures.

Поступила в редакцию 24.06.2005

Рожденная быть надежной

Любые изделия могут быть повреждены на рабочих площадках, на судостроительных заводах и даже в рабочих цехах. Необходима особая сварочная система, чтобы противостоять таким ситуациям. В идеале она должна быть портативной, удароустойчивой и долговечной. Компания «Fronius» разработала серию машин, удовлетворяющих отмеченным условиям лучше всего: в частности, установку TransPocket 2500/3500 для сварки проволочным электродом и сварки ТИГ. Она оснащена цифровым управлением, обладает резонансным искусственным интеллектом для обеспечения стабильной дуги и идеального качества швов. Установка компактна, легка, портативна.

TransPocket 2500

- Повышенная механическая устойчивость благодаря улучшенной конструкции — идеальна для наружного использования
- Мобильность: весит всего 12,5 кг
- Резонансный искусственный интеллект: стабильная длина дуги на весь период работы и, как следствие, превосходные характеристики сварочного процесса
- Оптимальные характеристики процесса сварки для всех типов электродов (с целлюлозным, рутиловым и основным видами покрытий) диаметром до 5 мм

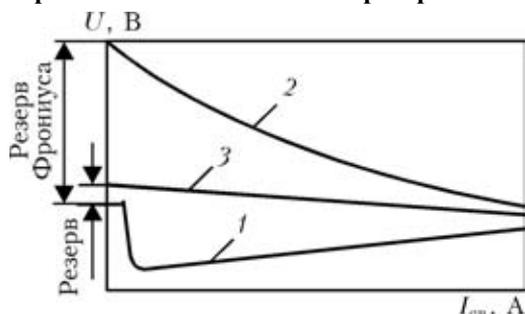
Технические данные

Напряжение сети $\pm 10\%$, В	3×380
Первичный ток, А	до 16
ПВ (при 250 А), %	35
Диапазон тока для сварки	
проволочным электродом, А	10...250
Диапазон тока для сварки ТИГ, А	10...250
Напряжение холостого хода, В	90
Класс защиты	IP23
Тип охлаждения	AF
Масса, кг	12,5



Характеристика дуги:

1 — типичная; 2, 3 — характерные соответственно для резонансного и обычного преобразователя



Характеристики сварки

- Управление мощностью на основе искусственного интеллекта
- Резонансный искусственный интеллект определяет мощность
- Оптимальная адаптация выходных характеристик к процессу сварки
- Специальная характеристика, оптимальная для электродов с целлюлозным покрытием
- Неограниченное использование электродов с целлюлозным покрытием вплоть до диаметра 5 мм
- Специальная характеристика, оптимальная для электродов с основным покрытием (SoftStar)



ВЛИЯНИЕ ФОСФОРА НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

И. И. РЯБЦЕВ, инж., Ю. М. КУСКОВ, д-р техн. наук, Д. П. НОВИКОВА, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследований влияния фосфора при его содержании 0,3...3,5 мас. % на трещиностойкость углеродистого низколегированного наплавленного металла системы Fe–Mn–Si–Cr. Показано, что холодные трещины в наплавленном металле исследованного типа образуются при содержании фосфора > 1,2 %. Очагами зарождения и распространения холодных трещин являются хрупкие фосфидные эвтектики. В многослойном наплавленном металле трещины могут распространяться из слоя в слой, но не переходят в основной металл.

Ключевые слова: дуговая наплавка, низколегированный наплавленный металл, легирование фосфором, трещиностойкость, технологическая проба, фосфидные эвтектики

На триботехнические характеристики низкоуглеродистого низколегированного наплавленного металла фосфор оказывает положительное влияние [1, 2]. Однако широкому применению фосфора в качестве легирующего элемента в наплавочных материалах препятствует устойчивое мнение о его отрицательном влиянии на трещиностойкость наплавленного металла, хотя, как правило, речь идет о материалах с относительно низким содержанием фосфора — не более 0,05 % [3–6]. Цель настоящих исследований — проведение оценки влияния фосфора при его содержании 0,3...3,5 мас. % на трещиностойкость низкоуглеродистого наплавленного металла системы легирования Fe–Mn–Si–Cr. Содержание марганца, кремния и хрома в наплавленном металле не изменялось, а общее содержание этих элементов не превышало 5 %.

Для исследования склонности наплавленного металла к образованию трещин разработано значительное количество методик и технологических проб [7]. В наших исследованиях для оценки трещиностойкости наплавленного металла использована жесткая технологическая проба, предложенная Центральным институтом сварочной техники (ЦИС) в г. Галле (рис. 1) [8]. Она проста в использовании и позволяет установить отличие в трещиностойкости металлов, имеющих в структуре хрупкие составляющие. По этой методике производят наплавку одного – трех валиков в один или несколько слоев без или с подогревом. После охлаждения до комнатной температуры по заданным режимам охлаждения при необходимости производится зачистка или шлифовка поверхности наплавленного металла. Обнаружение трещин производится контролем с использованием лупы с четырехкратным увеличением, применяется так-

же цветная дефектоскопия или магнитопорошковый метод. При этом подсчитывают количество трещин и замеряют их длину и ширину. Для оценки склонности наплавленного металла к образованию трещин разработана шкала баллов: наименьшую склонность имеет металл без трещин (балл 1); при наличии трещин (ширина более 0,1 мм), доходящих до основного металла и имеющих общую протяженность более 60 мм, наплавленный металл оценивается баллом 5. Промежуточными баллами (2...4) оценивается металл с трещинами меньшей ширины ($\leq 0,1$ мм) и меньшей общей длины.

Для экспериментов использовали пластины из стали Ст3 размером 40×150×250 мм, на которых производили дуговую автоматическую наплавку опытными порошковыми проволоками под флюсом АН-348. Пластины перед наплавкой не подогревали. На них наплавливали одиночные валики длиной примерно 200 мм в четыре слоя. После наплавки пластины остывали на воздухе. Для наплавки использовали порошковые проволоки диаметром 2,0 мм при следующем режиме: ток 220...240 А; напряжение 26...28 В; скорость наплавки 20 м/ч.

После полного остывания образцы контролировали на наличие трещин с использованием лупы с четырехкратным увеличением. Горячих трещин при наплавке всеми опытными проволоками не обнаружено. По-видимому, значительное количество легкоплавких фосфидных эвтектик, содер-

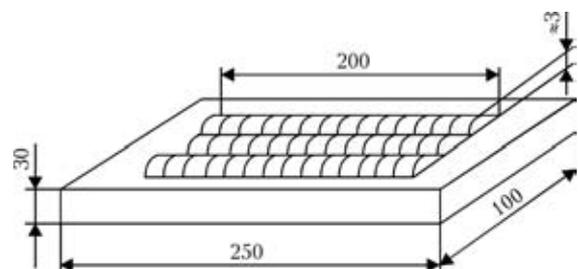


Рис. 1. Схема технологической пробы для оценки трещиностойкости наплавленного металла [8]



Оценка склонности наплавленного металла к образованию трещин

Марка порошковой проволоки	Массовая доля фосфора в наплавленном металле, %	Твердость наплавленного металла <i>HB (HRC)</i>	Количество трещин шириной, мм		Балл трещиностойкости металла в зависимости от ее общей длины, мм				
			>0,1	≤0,1	0	1...20	21...40	41...60	>60
ПП-0-Ф	0,035	229	0	0	1	—	—	—	—
ПП-0.3-Ф	0,32	229	0	0	1	—	—	—	—
ПП-0.6-Ф	0,59	302	0	0	1	—	—	—	—
ПП-0.9-Ф	0,98	302	0	0	1	—	—	—	—
ПП-1.2-Ф	1,23	321	0	0	1	—	—	—	—
ПП-1.6-Ф	1,58	(38)	0	8	—	—	3	—	—
ПП-2.0-Ф	2,02	(41)	2	8	—	—	—	—	5
ПП-2.5-Ф	2,46	(44)	2	11	—	—	—	—	5
ПП-3.5-Ф	3,35	(46)	2	12	—	—	—	—	5

жащихся в наплавленном металле, способствует «залечиванию» зародышей горячих трещин [9].

Первые поперечные холодные трещины зафиксированы в наплавленном металле, содержащем 1,58 % фосфора (таблица, ПП-1.6-Ф). При наплавке образцов порошковыми проволоками с более высоким содержанием фосфора количество и общая длина трещин соответственно увеличивались. В наплавленных валиках подсчитывали трещины, их максимальную ширину оценивали с помощью шупов, а длину замеряли штангенциркулем. Затем проводили балльную оценку склонности наплавленного металла к образованию трещин (таблица).

После визуального осмотра и подсчета трещин наплавленные пластины разрезали анодно-механической резкой по центру вдоль оси наплавленных валиков. Полученные образцы шлифовали и травили с целью более точного определения количества трещин и установления характера их распространения в наплавленных слоях металла (рис. 2), производили также цветную дефектоскопию шлифов. Новых трещин по сравнению с первичной оценкой выявлено не было. Не было также отмечено распространения трещин из наплавленного в основной металл.

При содержании фосфора примерно 1,2 % трещин в наплавленном металле не было и его склонность к их образованию оценивали баллом 1 (таблица, рис. 2, макрошлифы № 2...5). Первые холодные трещины в наплавленном металле появились при содержании фосфора 1,58 %. На длине примерно 200 мм обнаружено восемь трещин шириной не менее 0,1 мм, не переходящих из основного металла в наплавленный (таблица и рис. 2, макрошлиф № 6). В соответствии с рекомендациями используемой методики склонность к трещинам такого металла оценена баллом 3. В наплавленном металле, содержащем 2,02, 2,46 и 3,35 % фосфора, отмечено появление трещин шириной более 0,1 мм и общей длиной более 60 мм. Склонность такого металла к трещинам оценива-

ется баллом 5 (таблица, рис. 2, макрошлифы № 7...9).

Для определения причин образования трещин проведены металлографические исследования металла, наплавленного всеми опытными порошковыми проволоками (рис. 3), а также металла с содержанием фосфора 2,46 и 3,35 % в местах образования трещин (таблица, проволоки ПП-2.5-Ф и ПП-3.5-Ф; рис. 4, а-г). Как показали металлографические исследования, структура наплавленного металла без фосфора (рис. 3, а) состоит из

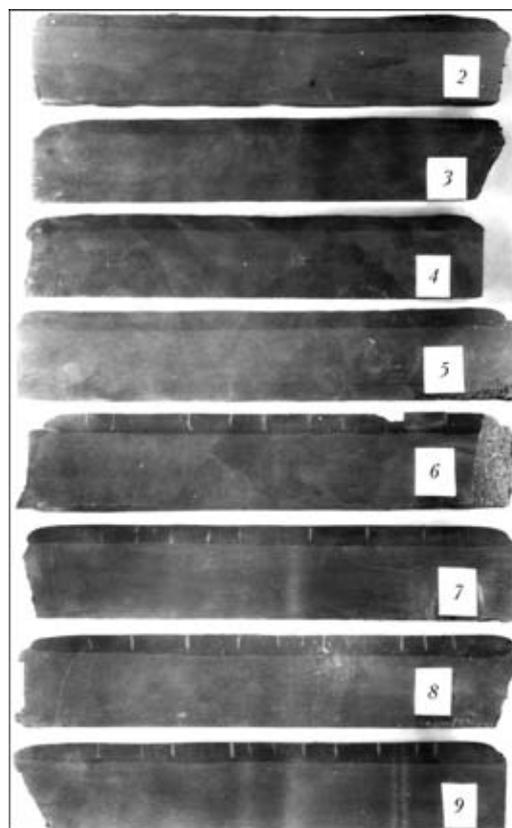


Рис. 2. Макрошлифы продольного сечения пластин, наплавленных порошковыми проволоками с различным содержанием фосфора, мас. %: № 2 — 0,32; 3 — 0,59; 4 — 0,98; 5 — 1,23; 6 — 1,58; 7 — 2,02; 8 — 2,46; 9 — 3,35

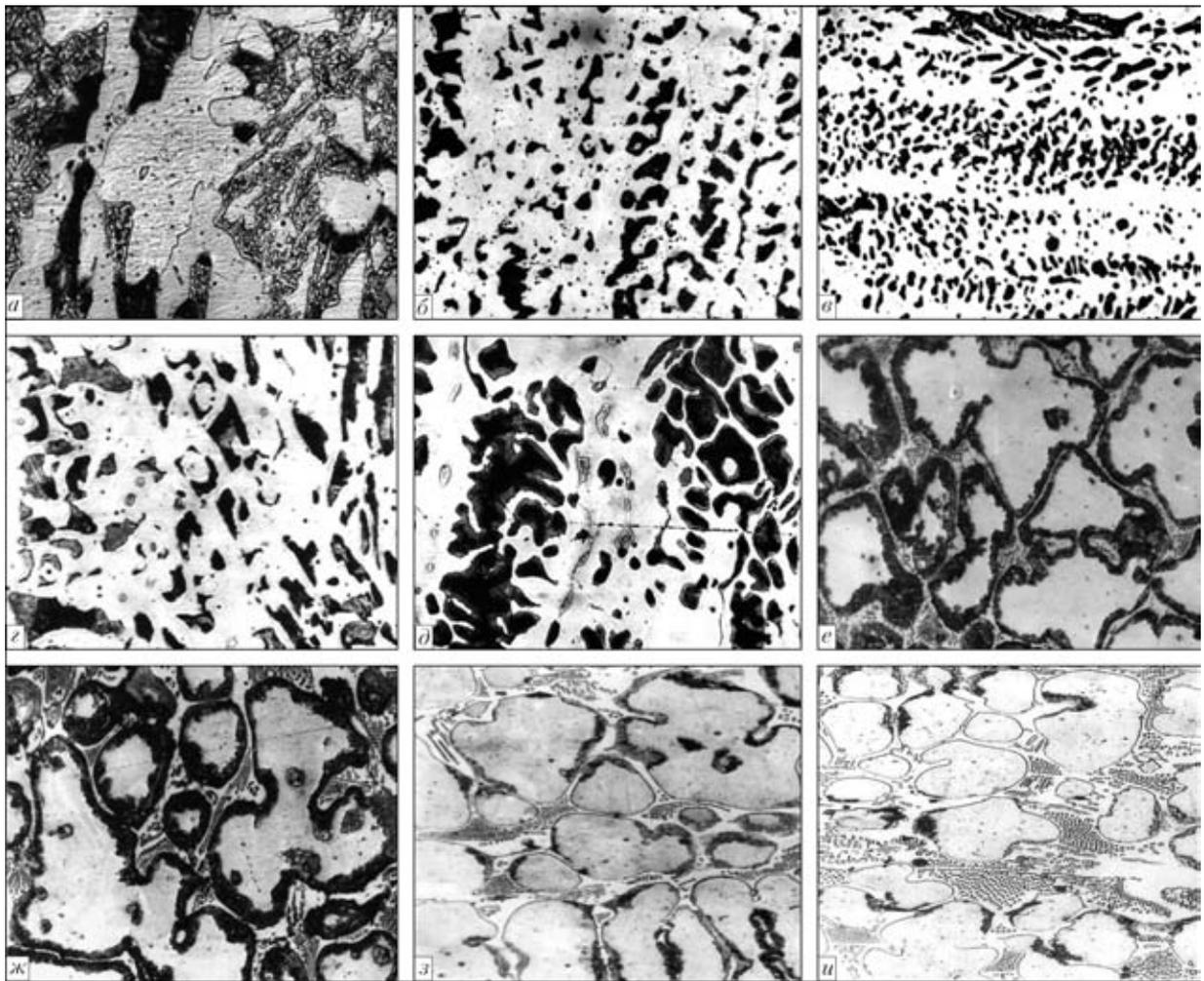


Рис. 3. Микроструктуры наплавленного металла 20ХГСП с различным содержанием фосфора: а — без фосфора; б — 0,32; в — 0,59; г — 0,98; д — 1,23; е — 1,58; ж — 2,02; з — 2,46; и — 3,35; а-в, $\times 400$; г-и, $\times 800$

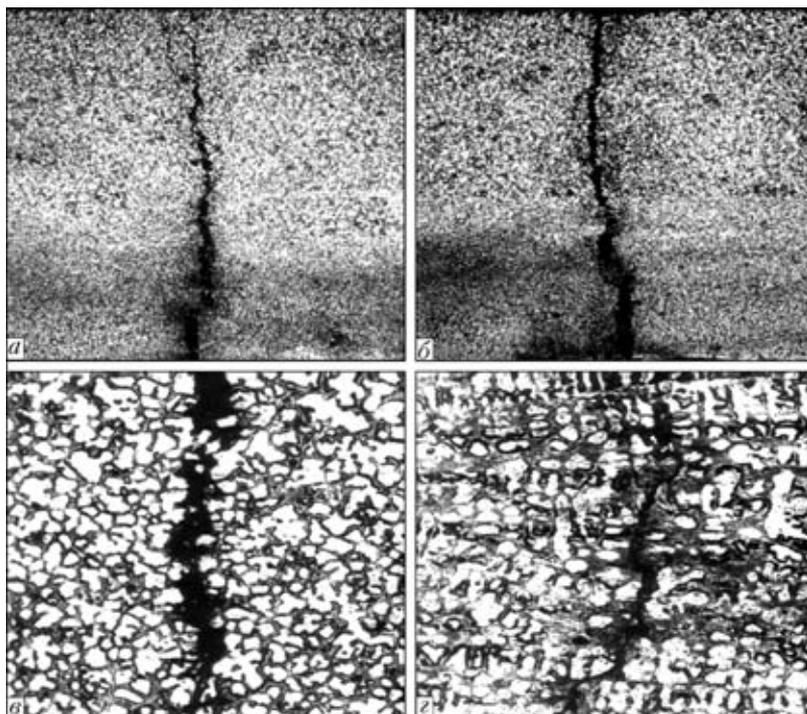


Рис. 4. Макро- (а, б) и микроструктуры (в, г) наплавленного металла типа 20ХГСП с содержанием фосфора: 2,46 (а, в) и 3,35 % (б, г); а, б — $\times 50$; в, г, $\times 250$

феррита (микротвердость HV 0,01–185...199), перлита (HV 0,01–205...228) и участков бейнита (HV 0,01–205...254). При содержании фосфора 0,32 % структура наплавленного металла измельчается (рис. 3, б). Как и в предыдущем случае, она состоит из смеси феррита (HV 0,01–201...205), перлита (HV 0,01–257...290) и бейнита (HV 0,01–257...290). Кроме того, появляются участки, которые идентифицированы как бейнитно-мартенситная смесь с микротвердостью HV 0,01–378. Свободных фосфидов не обнаружено, по-видимому, весь фосфор растворен в матрице наплавленного металла.

С увеличением содержания фосфора до 0,59 % (рис. 3, в) структура наплавленного металла еще более измельчается. Микротвердость отдельных структурных составляющих увеличивается: HV 0,01–205...239 (феррит), HV 0,01–283



(перлит), HV 0,01–482...515 (бейнитно-мартенситная смесь). Одновременно до HV 302 увеличивается макротвердость (см. таблицу). При содержании 0,98 % фосфора существенных изменений в структуре наплавленного металла не происходит (рис. 3, *з*). Однако увеличивается микротвердость структурных составляющих: HV 0,01–299...309 (феррит), HV 0,01–330...378 (перлит), HV 0,01–591...613 (бейнитно-мартенситная смесь). При металлографических исследованиях включений свободных фосфидов при содержании 0,59 и 0,98 % фосфора не обнаружено. Строчечные включения фосфидов зафиксированы при содержании в наплавленном металле 1,23 % фосфора (рис. 3, *д*). Микротвердость основных структурных составляющих (феррита, перлитно-бейнитной и бейнитно-мартенситной смесей) осталась на прежнем уровне, микротвердость фосфидных включений составляет HV 0,01–330...378. Существенно изменяется структура наплавленного металла при содержании фосфора 1,58 % (рис. 3, *е*). В структуре наблюдается сплошная сетка фосфидной эвтектики с высокой микротвердостью HV 0,01–876...916. Увеличилась микротвердость ферритной матрицы (HV 0,01–358), макротвердость наплавленного металла возросла до HRC 38. Аналогичный характер имела структура наплавленного металла, содержащего 2,02 % фосфора (рис. 3, *ж*).

С дальнейшим увеличением содержания фосфора до 2,46 (рис. 3, *з*), а затем до 3,35 % (рис. 3, *и*) наблюдается утолщение сетки фосфидной эвтектики по границам зерен и изменение ее строения. Ее микротвердость сохраняется на достаточно высоком уровне (HV 0,01–860...916), а макротвердость наплавленного металла составляет HRC 44...46.

В местах образования трещин в наплавленном металле с содержанием фосфора 2,46 и 3,35 % провели металлографический анализ, который подтвердил (рис. 4, *а–з*) образование холодных трещин. Трещины появлялись в верхнем наплавленном слое, проходили через все наплавленные слои, но не распространялись в основной металл (рис. 4, *а, б*). Разрушение шло по границам зерен (рис. 4, *в, з*) и, видимо, образование и распространение таких трещин связано с выделением по границам первичных зерен сплошной сетки хрупкой фосфидной эвтектики достаточно высокой твердости.

Таким образом, при содержании фосфора в пределах 0,3...3,5 % в низкоуглеродистом наплавленном металле типа Fe–Mn–Si–Cr горячие трещины не образуются. При содержании фосфора менее 1,0 % трещины также не образуются, поскольку весь фосфор растворен в матрице и свободных фосфидов, которые могли бы служить зародышами горячих трещин в структуре наплавленного металла, практически нет. При более высоком содержании фосфора (>1,2 %) легкоплавкие фосфидные эвтектики «залечивают» образующиеся микропустоты и трещины также не образуются.

Холодные трещины в наплавленном металле исследованного типа образуются при содержании фосфора свыше 1,2 %. Исследования показали, что очагами зарождения и распространения холодных трещин являются хрупкие фосфидные эвтектики, выделяющиеся при таком содержании фосфора по границам зерен. В многослойном наплавленном металле трещины могут распространяться из слоя в слой, но не переходить в основной металл.

1. *Рябцев И. И., Кусков Ю. М.* Перспективы использования фосфора в наплавочных материалах на основе железа // Автомат. сварка. — 2003. — № 1. — С. 12–16.
2. *Влияние* фосфора на триботехнические характеристики и структуру наплавленного металла системы легирования Fe–Cr–Si–Mn / И. И. Рябцев, Ю. М. Кусков, В. Ф. Грабин и др. // Там же. — 2003. — № 6. — С. 20–24.
3. *Кирьяков В. М., Дегтярь А. А., Подгаецкий В. В.* Влияние содержания серы и фосфора в проволоке Св-08Г2С на свойства швов // Там же. — 1970. — № 12. — С. 19–21.
4. *Потапов Н. Н.* Влияние серы и фосфора на пластичность и ударную вязкость металла шва // Там же. — 1973. — № 1. — С. 8–11.
5. *Влияние* фосфора на структуру и свойства металла швов при сварке низколегированных сталей / А. А. Алексеев, И. Р. Явдошин, В. Г. Войткевич, Ю. Д. Морозов // Там же. — 1989. — № 4. — С. 7–10.
6. *Влияние* фосфора на ударную вязкость и химическую микронеоднородность металла сварных швов / И. К. Походня, В. Г. Войткевич, А. А. Алексеев и др. // Там же. — 1992. — № 2. — С. 3–7.
7. *Шоршоров М. Х., Чернышова Т. А., Красовский А. И.* Испытания металлов на свариваемость. — М.: Металлургия, 1972. — 240 с.
8. *Кречмар Э.* Методы испытаний наплавленного металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1979. — С. 3–22.
9. *Особенности* плавления и кристаллизации наплавленного металла типа стали 20ХГС, легированного фосфором / Ю. М. Кусков, И. И. Рябцев, Л. К. Дорошенко, В. Г. Васильев // Автомат. сварка. — 2002. — № 8. — С. 24–27.

The paper presents the results of studying the influence of phosphorus at its content of 0.3...3.5wt. % on crack resistance of carbon low-alloyed deposited metal of Fe–Mn–Si–Cr system. It is shown that cold cracks in the deposited metal of the studied type are formed at phosphorus content of less than 1.2%. Brittle phosphide eutectics are the sites of cold crack initiation and propagation. In a multilayer deposited metal the cracks can propagate from layer to layer, but do not go over into the base metal.

Поступила в редакцию 31.03.2005



ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРА С РАЗВИТЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОТОКАМИ РАССЕЯНИЯ И МАГНИТНЫМ ШУНТОМ

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

Предложена оптимизационная модель однофазного трансформатора с развитыми поперечными магнитными потоками рассеяния и подвижным магнитным шунтом для обеспечения плавного регулирования сварочного тока. Модель позволяет рассчитывать оптимальные по массе, объему и стоимости трансформаторы при обеспечении заданных минимальных и максимальных значений индуктивности рассеяния.

Ключевые слова: трансформаторы, оптимизационная модель, потоки рассеяния, магнитный шунт, индуктивность рассеяния, параметры сварки, сварочная техника

Однофазные трансформаторы с развитыми поперечными магнитными потоками (далее потоками рассеяния), проходящими от стержня к стержню магнитопровода, и магнитным шунтом широко применяются в источниках питания для сварки штучными электродами. Достоинством трансформатора является его компактность и возможность плавного регулирования индуктивности рассеяния самой конструкцией. Теория расчета трансформатора разработана в ИЭС им. Е. О. Патона В. К. Лебедевым [1]. Развитием теории индуктивности рассеяния стала работа [2]. Оптимизация трансформаторов с поперечным рассеянием с возможным учетом магнитного шунта рассмотрена в [3], однако для этого требуется рассчитать большое количество промежуточных вариантов.

Известно, что при полном разделении зависимых и независимых переменных в оптимизационной модели оптимальный вариант трансформатора определяется однозначно. При аналитическом подходе оптимизации трансформатора с жесткой внешней характеристикой такая задача решена в работах [4–7], но применительно к рассматриваемому трансформатору оптимизационная модель не гарантирует получения оптимального варианта трансформатора с необходимым уровнем индуктивности рассеяния. Введение в указанную модель жесткозакрепленного параметра — заданного значения индуктивности рассеяния — приводит к возникновению проблемы при дифференцировании оптимизационной функции. Поэтому аналитическим методом эта задача не решалась. Ее удалось решить с помощью разработанной оптимизационной модели, предназначенной для численных методов оптимизации.

Целью настоящей работы является описание разработанной оптимизационной модели однофаз-

ного трансформатора с развитыми поперечными потоками рассеяния и магнитным шунтом, с жестким ограничением заданных минимального и максимального значений индуктивности рассеяния и полным разделением зависимых и независимых переменных. Модель позволяет однозначно рассчитать оптимальный трансформатор с минимумом массы, объема или стоимости его активных материалов. Эта статья является завершающей в ряде публикаций [8, 9] по оптимизации основных типов однофазных сварочных трансформаторов.

Развитые поперечные потоки рассеяния в рассматриваемом трансформаторе образуются путем разнесения первичной и вторичной обмоток по длине стержней магнитопровода, а плавное регулирование индуктивности рассеяния происходит за счет того, что магнитный шунт вдвигается и выдвигается между обмотками (рисунок). При этом потоки рассеяния проходят от стержня к стержню магнитопровода и через магнитный шунт. Если шунт вдвигается, то индуктивность рассеяния увеличивается (сварочный ток уменьшается), а при выдвигении — уменьшается (сварочный ток увеличивается).

Рассмотрим двухобмоточный трансформатор, питающийся от промышленной сети с синусоидальным напряжением. Примем, что вытеснение тока к поверхности проводников обмоток отсутствует и магнитный шунт не насыщен. При оптимизации учтем только активные материалы трансформатора — электротехническую сталь магнитопровода, медь или алюминий проводников обмоток.

Оптимизационная модель трансформатора с поперечным рассеянием и магнитным шунтом во многом повторяет аналогичную с поперечным рассеянием [9]. Поэтому приведенные здесь формулы и блоки оптимизационной модели читатель может найти в работе [9].



Оптимизационная модель представляет собой процедуру глобального цикла, которая начинается с присвоения промежуточной переменной F' стартового значения оптимизационной функции F , а при последующих обращениях к данной величине выполняется присвоение значения оптимизационной функции, вычисленной на предыдущем шаге прохождения цикла:

$$F' = F. \quad (1)$$

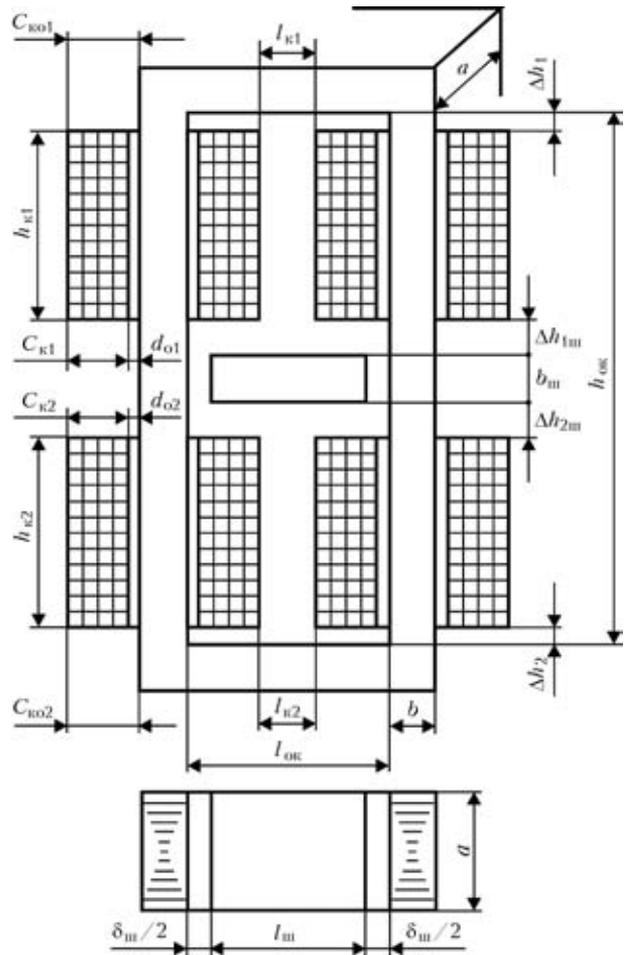
Далее без изменений следует блок формул (2)–(14) первого локального цикла из работы [9]; причем значения индуктивности рассеяния трансформатора при полностью выдвинутом шунте L_k^{\min} , L_s^{\min} и ΔL_{Δ} вычисляются так же, как и в [9] при заданном расстоянии между обмотками $\Delta h_{1,2} = \Delta h_{1ш} + b_{ш} + \Delta h_{2ш}$.

Для обеспечения наибольшего заданного значения индуктивности рассеяния $L_{к.3}^{\max}$ необходимо определить немагнитный зазор $\delta_{ш}$ между стержнями магнитопровода и полностью вдвинутом магнитном шунте. Для этого используется второй локальный цикл.

Стартовое значение $\delta_{ш}$ принимается равным 2 мм, а задаваемое начальное значение шага этой величины по зазору составляет $\Delta\delta_{ш} = 0,3\delta_{ш}$.

По формулам (1), (23)–(26) из работы [9] (без учета индуктивности цепи тока намагничивания магнитного шунта $L_{шш}$) и (21) из работы [2] при полностью вдвинутом шунте вычисляются максимальные значения индуктивности рассеяния трансформатора L_k^{\max} , а также индуктивность рассеяния L_s^{\max} , обусловленная потоками рассеяния, проходящими между стержнями магнитопровода в зоне первичной и вторичной обмоток $L_{s1,2}$, индуктивности рассеяния, обусловленной потоками рассеяния, проходящими в зоне магнитного шунта $L_{sш}$, индуктивность рассеяния между стержнями магнитопровода и магнитным шунтом $L_{\delta,ш}$ и индуктивность ΔL_{Δ} .

Если значение L_k^{\max} оказывается меньше заданного, то наибольшее значение индуктивности L_k^{\max} в рассчитываемом трансформаторе получить не представляется возможным, и тогда значение $\delta_{ш}$ принимается равным 2 мм, а значение L_k^{\max} получается меньше заданного. Данная рекомендация основана на том, что на практике при немагнитном зазоре $\delta_{ш}/2 < 1$ мм возникают значительные усилия между магнитным шунтом и стержнем магнитопровода, приводящие к вибрациям магнитного шунта и повышению уровня шума. К тому же, выполнить зазор меньше 1 мм для подвижного шунта очень сложно.



Однофазный трансформатор с поперечными магнитными потоками рассеяния и магнитным шунтом: $\Delta h_{1ш}$, $\Delta h_{2ш}$ — заданное расстояние между торцами катушек соответственно с первичной и вторичной обмотками и магнитным шунтом; $l_{ш}$, $b_{ш}$ — соответственно длина и ширина шунта; $\delta_{ш}$ — немагнитный зазор между стержнями магнитопровода и магнитным шунтом; остальные обозначения — см. рисунок из работы [9]

Немагнитный зазор между стержнями магнитопровода и магнитным шунтом будет составлять

$$\delta_{ш} = \begin{cases} \delta_{ш} + \Delta\delta_{ш}, & \text{если } L_k^{\max} > L_{к.3}^{\max}; \\ \delta_{ш} - \Delta\delta_{ш}, & \text{если } L_k^{\max} < L_{к.3}^{\max} \text{ и } \delta_{ш} \geq 2 \text{ мм.} \end{cases} \quad (2)$$

Выражение (2) образует подцикл, при входе в который программа работает только с одним из его текущих условий и неизменным значением $\Delta\delta_{ш}$ с пересчетом значений L_k^{\max} на каждом шаге. Подцикл выполняется до тех пор, пока истинно текущее условие подцикла. После этого уменьшается шаг $\Delta\delta_{ш} = 0,2\Delta\delta_{ш}$ и проверяется выполнение условия по выходу из второго локального цикла:

$$|L_{к.3}^{\max} - L_k^{\max}| / L_{к.3}^{\max} < \varepsilon_2 \text{ или } \delta_{ш} < 2 \text{ мм,} \quad (3)$$

где ε_2 — задаваемая точность вычислений во втором локальном цикле, состоящем из (2) и (3).

Затем вычисляется длина магнитного шунта



$$l_{ш} = l_{ок} - \delta_{ш} \quad (4)$$

и высота окна магнитопровода

$$h_{ок} = \Delta h_1 + h_{к1} + \Delta h_{1ш} + b_{ш} + \Delta h_{2ш} + h_{к2} + \Delta h_2. \quad (5)$$

Средняя длина магнитной силовой линии в магнитопроводе l_c определяется по (18) из [9].

Объем активного материала магнитопровода составляет

$$V_c = l_c S_c + l_{ш} S_{ш}, \quad (6)$$

где $S_{ш} = k_c ab_{ш}$ — активное поперечное сечение магнитного шунта; $b_{ш} = k_{ш} b$ — ширина шунта; $k_{ш} \leq 1$ — коэффициент ширины шунта.

Объем, масса и стоимость активных материалов магнитопровода, обмоток и всего трансформатора рассчитываются по (19)–(21) из [9].

Оптимизационная функция трансформатора имеет вид [4]

$$F = M_c + k_g M_o, \quad (7)$$

где k_g — обобщенный весовой коэффициент, задающий соотношение между массами активного материала магнитопровода и обмоток. Значение k_g выбирают в зависимости от того, для какого критерия оптимизации ведется расчет [4, 8, 9].

Условие по выходу из глобального цикла имеет следующий вид:

$$|F - F'| / F < \varepsilon, \quad (8)$$

где ε — задаваемая точность вычислений в глобальном цикле.

В оптимизационной модели трансформатора (1)–(8) (и входящих в нее формул из [2, 9]) независимыми переменными являются две величины — b и $C_{к1}$, все остальные являются заданными или зависимыми. Независимые переменные определяются при оптимизации функции F . Минимальные значения оптимизационной функции могут быть найдены любыми численными методами оптимизации, например методом покоординатного спуска, при заданных начальных значениях независимых переменных b и $C_{к1}$. В результате оптимизации функции F определяются оптимальные значения переменных b , $C_{к1}$ и остальных величин, входящих в оптимизационную модель. Причем оптимальный вариант для какого-либо из значений коэффициента k_g может быть только один для одних и тех же заданных параметров трансформатора.

Разработанная оптимизационная модель применялась для расчета трансформаторов сварочных источников питания, созданных в ИЭС им. Е. О. Патона. Приведем данные о сварочном трансформаторе с магнитным шунтом, рассчитанном с помощью разработанной оптимизационной модели на минимум массы активных материалов. Эти данные

могут быть использованы при изготовлении предназначенного для ремонтных мастерских и бытовых целей трансформатора для сварки штучными электродами с плавным регулированием тока.

Трансформатор имеет следующие параметры (обозначения величин см. выше и в [9]): $U_1 = 220$ В; $U_2 = 60$ В; $f_c = 50$ Гц; $X = 30$ %; $k_{тр} = 3,674$; $L_k^{min} = 9,925$ мГн; $L_k^{max} = 31,28$ мГн (приведены к первичной обмотке). Трансформатор дает возможность регулировать сварочный ток в диапазоне $I_2 = 75 \dots 160$ А. Значения параметров для номинального тока 160 А следующие: $I_1 = 45,7$ А; $I_{1дл} = 25$ А; $J_{1дл} = 2,847$ А/мм²; $J_{2дл} = 2,883$ А/мм²; ток холостого хода — 2,154 А (4,71 %); мощность трансформатора — 9,6 кВ·А; напряжение на дуге — 26,4 В; КПД — 94,2 %; $B_m = 1,63$ Тл; $k_{ш} = 0,5$; электротехническая сталь 3414 толщиной 0,35 мм; $c_c = 1,4$ у.е./кг; обмотки из меди; $c_o = 3,3$ у.е./кг; $M_c = 17,5$ кг; $M_o = 8,7$ кг; $M = 26,2$ кг; $C_c = 24,5$ у.е.; $C_o = 28,7$ у.е.; $C = 53,2$ у.е.

Обмотки имеют следующие параметры: соединение катушек первичной обмотки — параллельное, $w_1 = 169$ (число витков в одной катушке — 169, в слое — 19, в последнем слое — 17, слоев — 9); соединение катушек вторичной обмотки параллельное, $w_2 = w_1/k_{тр} = 46$ (число витков в одной катушке — 46, в слое — 10, в последнем слое — 6, слоев — 5); проводник первичной обмотки размером 1,7×2,8 мм (толщина изоляции на две стороны — 0,27 мм); проводник вторичной обмотки размером 3,1×5,0 мм (толщина изоляции на две стороны — 0,50 мм); толщина межслойной изоляции — 0,15 мм; длина провода первичной обмотки — 115 м, вторичной — 32 м.

Геометрические размеры трансформатора: $a = 85$ мм; $b = 45$ мм; $h_{ок} = 155$ мм; $l_{ок} = 60$ мм; $h_{к1} = 61$ мм; $C_{к1} = 18$ мм; $C_{кo1} = 21$ мм; $h_{к2} = 61$ мм; $C_{к2} = 19$ мм; $C_{кo2} = 22$ мм; $l_{к1} = 16$ мм; $l_{к2} = 15$ мм; $d_{o1} = d_{o2} = 3$ мм; $\Delta h_1 = \Delta h_2 = 3$ мм; $\Delta h_{1ш} = \Delta h_{2ш} = 3$ мм; $b_{ш} = 23$ мм; $l_{ш} = 56,8$ мм; $\delta_{ш} = 3,2$ мм; размеры трансформатора 195×130×245 мм.

Тепловые характеристики: средняя температура первичной обмотки — 140 °С; вторичной — 130 °С; магнитопровода — 75 °С при температуре окружающей среды 40 °С, класс изоляции «F» [10].

Отметим, что для простоты изложения в настоящей работе и в [8, 9] рассмотрены простейшие оптимизационные модели однофазных сварочных трансформаторов. При необходимости модели можно модифицировать, вводя в них блоки расчета других параметров.

Таким образом, разработана оптимизационная модель однофазного трансформатора с развитыми поперечными потоками рассеяния и подвижным



магнитным шунтом, с полным разделением зависимых и независимых переменных. Она позволяет однозначно оптимизировать трансформатор на минимум массы, объема или стоимости его активных материалов при обеспечении заданных значений индуктивности рассеяния. Оптимизационная модель будет полезна разработчикам новых сварочных источников питания.

Приведенные данные сварочного трансформатора с магнитным шунтом, рассчитанного на минимум массы по разработанной оптимизационной модели, могут быть использованы при изготовлении трансформатора с плавным регулированием тока для сварки штучными электродами, предназначенного для ремонтных мастерских и бытовых целей.

1. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 360 с.
2. Пентегов И. В., Рымар С. В. Особенности расчета индуктивностей рассеяния трансформаторов с развитыми магнитными потоками рассеяния // Электротехника і електромеханіка. — 2004. — № 2. — С. 38–45.

An optimization model is proposed for a single-phase transformer with developed transverse leakage flows and mobile magnetic shunt to ensure a smooth adjustment of welding current. The model enables designing transformers of optimum weight, volume and cost, while providing the specified minimum and maximum values of leakage inductance.

3. Федер Е. С., Песенсон А. Е. К расчету трансформаторов с подвижными обмотками для дуговой сварки // Автомат. сварка. — 1965. — № 7. — С. 7–10.
4. Пентегов И. В., Рымар С. В., Стемковский Е. П. Оптимизационная математическая модель трехфазного трансформатора и выбор его расчетного варианта при многокритериальной оптимизации // Техн. электродинамика. — 2002. — № 1. — С. 22–28.
5. Пентегов И. В., Стемковский Е. П., Шейковский Д. А. Определение оптимальных параметров сварочных трансформаторов контактных машин с заданным сопротивлением обмоток // Автомат. сварка. — 1983. — № 11. — С. 35–40.
6. Пентегов И. В., Стемковский Е. П., Шейковский Д. А. Определение оптимального числа вторичных витков трансформаторов для контактной сварки на переменном токе и для конденсаторной сварки // Там же. — 1981. — № 4. — С. 11–15.
7. Пентегов И. В., Стемковский Е. П., Шейковский Д. А. Расчет сварочного трансформатора для контактной конденсаторной сварки // Там же. — 1980. — № 3. — С. 26–30.
8. Рымар С. В. Оптимизация трансформатора с развитыми ярмовыми магнитными потоками рассеяния // Там же. — 2005. — № 7. — С. 32–35.
9. Рымар С. В. Оптимизация трансформатора с развитыми поперечными магнитными потоками рассеяния // Там же. — 2005. — № 9. — С. 21–24.
10. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 528 с.

Поступила в редакцию 02.05.2005

ARCWELDSYS ДУГОВАЯ СВАРКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ. СИСТЕМА ВЫБОРА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНЕНИЯ

Разработанная компьютерная система предназначена для сокращения объема экспериментов на образцах при выборе альтернативных сварочных материалов для конкретного сварного соединения путем использования средств математического моделирования и соответствующего информационного обеспечения.

В качестве исходной информации в системе используются следующие паспортные данные фирмы-изготовителя сварочных материалов: варианты сварочных материалов, рекомендуемые для дуговой сварки данного типа конструкционной стали; режимы дуговой сварки; коэффициенты наплавки; химический состав наплавляемого металла.

Эти данные вводятся в систему пользователем одновременно с указанием типа свариваемой конструкционной стали (основного материала) и ее химического состава. В обмен система выдает пользователю для каждого альтернативного варианта следующую информацию:

- размер и форма зоны проплавления для корневого шва и последующих проходов (размер непровара, риск прожога);
- химический состав металла зоны проплавления;
- микроструктурный состав металла зоны проплавления и зоны термического влияния;
- механические свойства зоны проплавления и зоны термического влияния (твердость, временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость (KCV) при температурах $-30...70$ °С);
- степень риска образования горячих и холодных трещин.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 34
Тел./факс: (38044) 287 65 57; e-mail: d34@paton.kiev.ua



РАЗРАБОТКА И АТТЕСТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ААрДС В УЗКУЮ РАЗДЕЛКУ ЭЛЕМЕНТОВ ГЦТ Ду850 НА АЭС

А. К. ЦАРЮК, В. Ю. СКУЛЬСКИЙ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
И. Л. КАСПЕРОВИЧ, А. И. БЫВАЛЬКЕВИЧ, Т. В. ОСТАШКО, В. В. ЖУКОВ,
С. Н. ДУДКИН, Н. А. ИВАНОВ, инженеры (ОП «Атомремонтсервис» НАЭК «Энергоатом», г. Славутич),
А. П. МИРОШНИЧЕНКО, Н. В. НЕМЛЕЙ, А. В. БАЖУКОВ, инженеры
(ОП «Южно-Украинская АЭС» НАЭК «Энергоатом», г. Южно-Украинск)

Для соединения элементов главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) Ду850 из плакированной стали 10ГН2МФА с патрубками парогенераторов применена автоматическая аргонодуговая сварка (ААрДС) в узкую разделку в смеси 70 % He + 30 % Ar с использованием сварочной проволоки Св-08Г1НМА диаметром 0,8...0,9 мм. Предложенная технология успешно прошла исследовательскую и производственную аттестацию, согласована с Государственной инспекцией Государственного комитета по ядерному регулированию Украины и рекомендована для выполнения соединений элементов ГЦТ Ду850 при замене парогенераторов на АЭС. Технология ААрДС в узкую разделку позволит существенно снизить трудоемкость сварочных работ, повысить производительность, уменьшить количество наплавленного металла и уровень остаточных сварочных напряжений, а также обеспечит высокое качество сварных соединений и значительно снизит дозу радиационного воздействия на персонал при выполнении сварочных работ.

Ключевые слова: автоматическая аргонодуговая сварка, технология сварки, узкая разделка кромок, неплавящийся электрод, гелий, аргон, металл шва, сварные соединения, физико-механические свойства металла, парогенератор, трубопроводы

Как показал анализ существующих способов механизированной сварки, для соединения элементов главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) с патрубками парогенератора (ПГ) наиболее эффективным является применение автоматической аргонодуговой сварки (ААрДС) [1]. При выполнении ААрДС в стандартную разделку кромок рекомендуется использовать присадочную проволоку Св-08Г1НМА (ТУ 14-15-373-95). При-

менение стандартной [2] разделки кромок (рис. 1, а) обусловлено отсутствием специализированного оборудования для механической обработки кромок патрубков ПГ под узкую разделку в условиях АЭС (завод-изготовитель поставляет ПГ со стандартной разделкой кромок на патрубках). Благодаря разработке в настоящее время специализированного портативного оборудования для механической обработки появилась реальная возможность применения узкой разделки кромок (рис. 1, б) при соединении элементов ГЦТ с патрубками ПГ. Осуществление ААрДС в узкую разделку кромок позволит существенно снизить трудоемкость сварочных работ, повысить их произ-

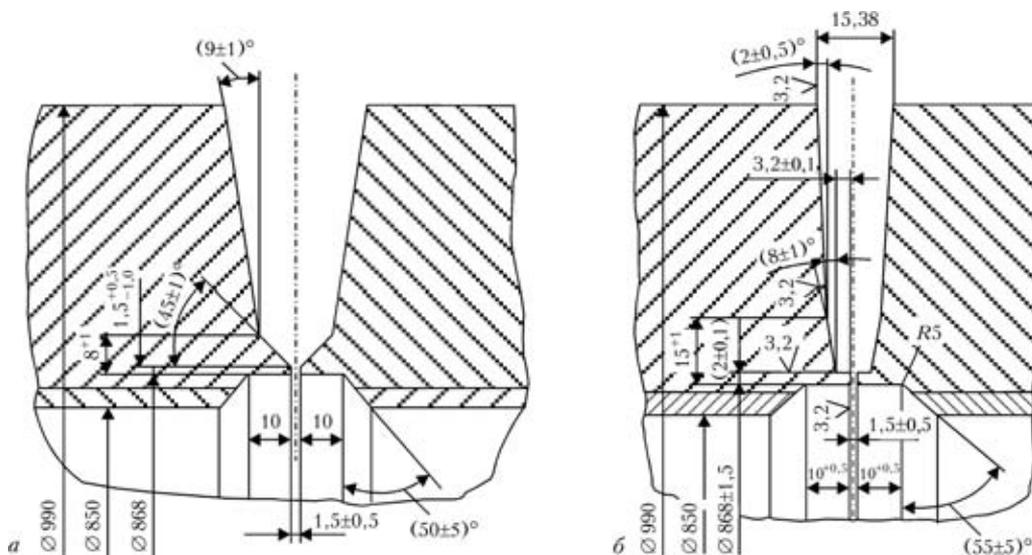


Рис. 1. Схемы стандартной (а) и узкой (б) разделки кромок соединений, полученных ААрДС неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки

водительность, уменьшить количество наплавленного металла и уровень остаточных сварочных напряжений, при этом обеспечит высокое качество сварных соединений и значительно снизит дозу радиационного воздействия на персонал при выполнении сварочных работ. Разработка и аттестация технологии ААрДС в узкую разделку кромок при замене ПГ является важной и актуальной задачей для решения вопросов продления ресурса оборудования АЭС Украины.

Проектом TACIS U2.02/96 «Применение автоматической сварки в узкую разделку при замене парогенераторов» предложена французская технология ААрДС в узкую разделку кромок в смеси 70 % He + 30 % Ag трубопроводов Ду850, а также выполнена поставка аппаратуры для сварки. Однако рекомендации указанного проекта относятся исключительно к технике сварки в случае использования поставленного сварочного оборудования. Что же касается свойств сварных соединений, выполненных ААрДС в узкую разделку, то сведения по этому вопросу отсутствуют. Кроме того, использование ААрДС в узкую разделку не предусмотрено правилами и нормами, действующими в атомной энергетике. В связи с этим для внедрения предложенной разработки необходимо провести комплекс работ по аттестационным испытаниям сварных соединений стали 10ГН2МФА, выполненных ААрДС в узкую разделку кромку, в соответствии с требованиями к применению и аттестации новых технологий и материалов [3].

Предварительные исследования. Для получения исходных данных для отработки технологии ААрДС в узкую разделку кромок и оценки физико-механических свойств сварных соединений проведены предварительные исследования. С этой целью сваривали кольцевые стыковые образцы с узкой разделкой кромок (см. рис. 1, б) элементов ГЦТ Ду850 из стали 10ГН2МФА диаметром 990 мм с толщиной стенки 70 мм. Сварку выполняли при вертикальном расположении оси соединения (сварка горизонтального шва на вертикальной плоскости). В качестве присадочного материала при ААрДС в смеси 70 % He + 30 % Ag использовали сварочную проволоку Св-08Г1НМА (ТУ 14-1-2869-79) диаметром 0,9 мм [1].

Особенностью сварки неплавящимся электродом в смеси гелия и аргона [4, 5] является изменение глубины проплавления. Так, при сварке в смеси 70 % He + 30 % Ag глубина проплавления больше, чем при сварке в чистом аргоне или смеси 70 % Ag + 30 % He. Это обусловлено более высоким потенциалом ионизации гелия ($U_1 = 24,5$ В) по сравнению с аналогичным показателем у аргона ($U_1 = 15,7$ В). Значительное (до 70 %) содержание гелия в смеси приводит к увеличению напряжения на дуге, в результате чего

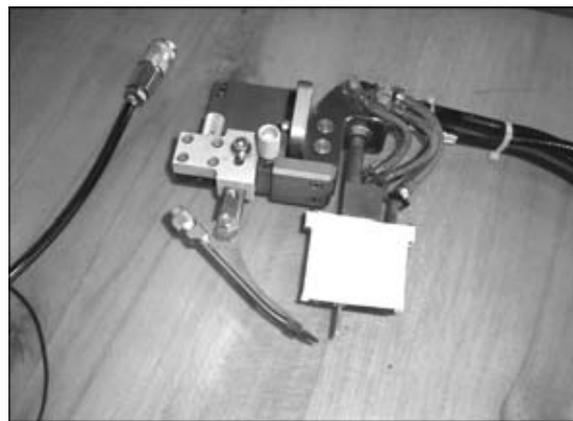


Рис. 2. Общий вид горелки для ААрДС в узкую разделку кромок

повышается температура сварочной ванны. При этом увеличивается проплавление основного металла. Поэтому для гарантированного сплавления наплавленного металла с кромками узкой разделки целесообразно выполнять ААрДС в смеси 70 % He + 30 % Ag. При ААрДС в стандартную разделку кромок (рис. 1, а) такая смесь не может быть эффективной из-за плохой защиты сварочной ванны от окружающего воздуха. При сварке в узкую разделку свариваемые кромки непосредственно способствуют хорошей защите сварочной ванны. Кроме того, для обеспечения надежной и эффективной газовой защиты сварочной ванны при ААрДС кольцевых стыковых соединений из стали 10ГН2МФА применяли специальную сварочную горелку для сварки в узкую разделку кромок (рис. 2). Сварку выполняли с предварительным и сопутствующим подогревом до 170 °С [2].

ААрДС корневой части выполняли с минимальным осевым зазором с подачей сварочной проволоки в хвост ванны, что обеспечило требуемые провар и обратное формирование корневого шва. Режим сварки был следующим: сварочный ток $I_{св} = 150$ А; напряжение на дуге $U_d = 11$ В; скорость сварки $v_{св} = 6,0$ м/ч; скорость подачи присадочной проволоки $v_{пр} = 152$ м/ч; расход смеси защитного газа 1000...1200 л/ч. Режимы сварки при заполнении разделки выбирали с учетом обеспечения надежного сплавления шва со стенками разделки и формирования валиков, а также в зависимости от диаметра изделия, на котором выполняется данный слой. В результате отработки технологии установлены оптимальные режимы ААрДС в узкую разделку кромок кольцевых толстостенных стыков Ду850 из стали 10ГН2МФА (табл. 1).

В процессе сварки стыков проводили послойный 100%-й визуальный и измерительный контроль (ВИК). После заполнения корневой части разделки на высоту 8...10 мм осуществляли термический «отдых» при температуре 150 °С продолжительностью 8 ч с последующим ВИК и рентгенографическим контролем (РГК), а также капиллярным контролем (КК) изнутри. После за-



Таблица 1. Режимы сварки кольцевых стыковых соединений из стали 10ГН2МФА

№ прохода	№ программы	Время, мкс	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость подачи сварочной проволоки, мм/мин	Скорость сварки, мм/мин
1	1	225/275	150/50	11	2540/1000	99
2	2	125/375	160/90	10	Без сварочной проволоки	86
		Сплавление нижней кромки (изогнутый электрод направлен вниз)				
3	3	125/375	175/100	10	Без сварочной проволоки	86
		Сплавление верхней кромки (изогнутый электрод направлен вверх)				
4	4	225/275	220/130	11,5	2000/1000	91
5	5	225/275	250/150	11,5	2600/1300	89
6	6	225/275	300/180	11,5	3400/1620	89
7–11	7	225/275	350/170	12,1	2100/920	84
		Ширина шва 7,5...8,5 мм				
12–29	8	225/275	360/180	11,5	2290/1020	84
		Ширина шва 8,5...9,5 мм				
30–34	12	225/275	370/190	11,5	2450/1150	84
		Ширина шва 9,5...10,5 мм				
35–43	13	225/275	330/140	11,5	2050/850	89
		Финишный слой (последние 10...15 % разделки кромки)				
44–45	14	175/325	260/110	11,5	1520/760	89
		Облицовочные слои				

Примечание. В числителе приведены значения показателей в импульсе, в знаменателе — в паузе.

полнения 50 % разделки и термического «отдыха» вновь выполняли 100%-й ВИК и РГК. По окончании заполнения разделки и последующего термического «отдыха» проводили 100 %-й ВИК, КК, РГК и ультразвуковой контроль (УЗК).

После сварки и контроля сварные соединения подвергали термической обработке по режиму окончательного высокого отпуска [2]: нагрев до 650 °С, выдержка при 650 °С в течение 8 ч, охлаждение до 450 °С со скоростью 40 °С/ч, до температуры 250 °С со скоростью не более 80 °С/ч. Дальнейшее охлаждение до температуры окружающей среды происходило под слоем изоляции.

После проведения термической обработки выполняли 100%-й ВИК, КК, РГК и УЗК, а также

ВИК, КК наплавки аустенитного слоя и УЗК наплавки (на отслоение плакировки). Результаты контроля показали, что в термообработанных сварных соединениях дефекты отсутствуют.

Из выполненных стыков сварных соединений стали 10ГН2МФА вырезали заготовки образцов для определения химического состава, механических свойств и структуры металла шва. Результаты спектрального анализа металла шва (через 14...15 мм начиная от корня шва) с оценкой распределения легирующих элементов по высоте соединения приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что металл шва сварного стыка отличается равномерным химическим составом по всей высоте сварного соединения. Весьма интересны данные

Таблица 2. Химический состав (мас. %) сварочной проволоки, основного металла и металла шва сварного соединения стали 10ГН2МФА

Объект исследования	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	S	P	[O]	[N]	H _{ост}
Проволока Св-08Г1НМА	0,06	0,40	1,60	0,70	0,80	0,01	—	—	—	—	—
Сталь 10ГН2МФА	0,11	0,24	0,78	1,89	0,52	0,01	0,003	0,010	—	—	—
Часть металла шва:											
корневая	0,098	0,268	1,11	0,85	0,62	0,01	0,009	0,011	0,0032	0,0050	0,22
промежуточная	0,087	0,290	1,17	0,80	0,64	0,01	0,011	0,010			
	0,086	0,288	1,17	0,68	0,64	0,01	0,010	0,010			
	0,081	0,302	1,21	0,72	0,63	0,01	0,010	0,010			
верхняя	0,078	0,305	1,22	0,70	0,63	0,01	0,009	0,011			

Таблица 3. Механические свойства металла шва сварного соединения стали 10ГН2МФА

$T_{исп}, ^\circ C$	$\sigma_B, МПа$	$\sigma_T, МПа$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
20	447,2...486,7 465,2	568,9...591,6 538,4	27,0...28,0 27,4	75,0...76,6 76,0
350	609,6...638,8 626,0	473,0...497,6 488,8	18,8...21,3 20,0	65,7...72,0 69,2

Примечание. В знаменателе приведены средние значения, полученные после испытаний трех образцов.

газового анализа о содержании кислорода. Оно оказалось очень низким (0,0032 мас. %), что свидетельствует о минимальном содержании неметаллических включений в металле шва и его высокой ударной вязкости и объясняется рафинирующим воздействием гелия на расплавленный металл. Известно, что при продувке жидкого металла гелием извлекаются растворенные в металле газы и удаляются в виде шлака неметаллические примеси [4, 5].

Результаты выполненных механических испытаний наплавленного металла при комнатной температуре и 350 °С представлены в табл. 3. Как видно из таблицы, прочностные характеристики и показатели пластичности металла шва при комнатной и рабочей температурах значительно выше существующих требований [6].

Определение критической температуры хрупкости металла шва осуществляли путем испытаний на ударный изгиб образцов Шарпи с V-образным острым надрезом по центру шва (тип IX по ГОСТ 6996–66). Результаты испытания на ударный изгиб приведены в табл. 4. На рис. 3 показано изменение ударной вязкости (KCV) и доли вязкого волокна B в изломе в зависимости от температуры испытания. В соответствии с работой [7] в качестве критической температуры T_K хрупкости принимают температуру, для которой выполняются следующие условия:

при T_K среднеарифметическое значение ударной вязкости должно быть не ниже 59 Дж/см², а минимальное — не ниже 70 % указанного, т. е. не менее 41,3 Дж/см²;

при $T_K + 30$ °С среднеарифметическое значение ударной вязкости должно быть не ниже 89 Дж/см², а минимальное — не ниже 70 % указанного, т. е. не менее 62,3 Дж/см². Минимальное значение вязкой составляющей в изломе при этом должно составлять не менее 50 %.

При рассмотрении полученных данных видно, что, как следует из работы [7], критическая температура хрупкости соответствует -72 °С.

Таким образом, механические свойства и критическая температура хрупкости металла шва сварных соединений стали 10ГН2МФА, выполненных ААрДС в смеси 70 % He + 30 % Ar в узкую

Таблица 4. Результаты испытаний на ударный изгиб образцов Шарпи с V-образным острым надрезом

№ образца	$T_{исп}, ^\circ C$	KCV, Дж/см ²	KCV, Дж/см ² (среднее значение)	B, %
1	20	304,8	292,8	70
2		284,3		89
3		289,4		85
4	-20	299,6	301,5	89
5		303,5		88
6		301,4		98
7	-40	277,0	253,4	86
8		199,6		87
9		283,7		81
10	-60	225,6	217,8	75
11		174,0		85
12		254,0		88
13	-80	31,6	57,0	21
14		51,2		17
15		88,2		33

разделку, вполне удовлетворяют существующим требованиям [6].

Исследования макро- (рис. 4) и микроструктуры сварных соединений показали, что в металле шва отсутствуют поры, трещины, несплавления, шлаковые включения и другие дефекты. Наплавленный металл имеет бейнитную структуру, которая наряду с требуемыми механическими свойствами отличается высокой вязкостью и трещиностойкостью. Неметаллические включения в металле шва мелкодисперсные и имеют произвольное расположение. Анализ металла ЗТВ показал, что его структура характеризуется в основном бейнитной составляющей. Ферритно-перлитная составляющая почти всегда располагается на границе раздела фаз, причем содержание ее незначительное. Металл шва имеет твердость HV 240...250, что характерно для структуры отпущенного бей-

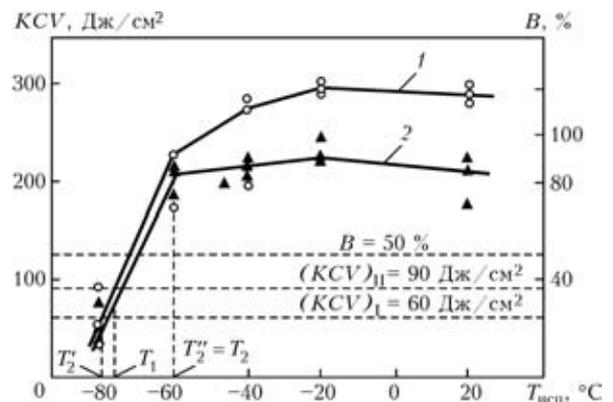


Рис. 3. Влияние температуры испытаний металла шва сварных соединений, выполненных ААрДС в узкую разделку, на ударную вязкость KCV (1) и долю вязкого волокна B в изломе (2); O, ▲ — экспериментальные точки; остальные обозначения см. в работе [7]

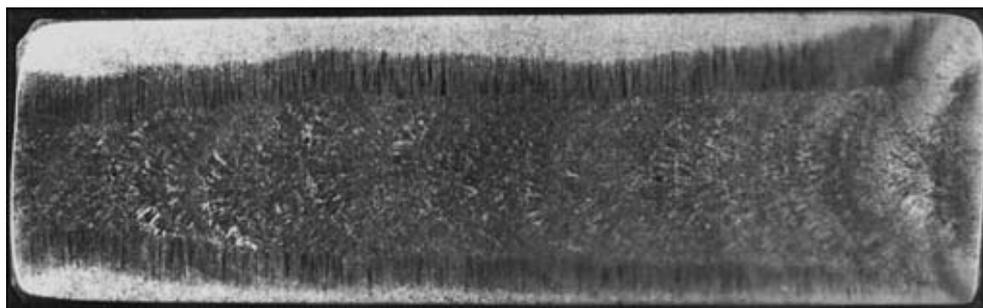


Рис. 4. Макроструктура (X1,7) металла шва сварного соединения стали 10ГН2МФА, полученного ААрДС в узкую разделку кромок в смеси 70 % He + 30 % Ar с использованием сварочной проволоки Св-08Г1НМА

Таблица 5. Механические свойства металла шва и сварных соединений стали 10ГН2МФА, полученных ААрДС с использованием сварочной проволоки Св-08Г1НМА

Объект исследования	$T_{исп}, ^\circ C$	$\sigma_b, МПа$	$\sigma_t, МПа$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
Шов	20	$\frac{66,4...71,8}{69,0}$	$\frac{58,8...63,9}{61,5}$	$\frac{23,0...25,6}{24,2}$	$\frac{71,7...74,6}{73,3}$
	350	$\frac{59,5...64,4}{61,7}$	$\frac{49,0...56,4}{52,2}$	$\frac{21,3...22,4}{22,0}$	$\frac{69,8...71,7}{70,8}$
Сварное соединение	20	$\frac{55,3...56,0}{55,6}$	—	—	$\frac{75,5...77,9}{76,9}$
	350	$\frac{50,3...50,9}{50,5}$	—	—	$\frac{74,9...76,1}{75,3}$

По мере удаления от линии сплавления твердость несколько уменьшается ($HV\ 225...235$). Твердость основного металла составляет $HV\ 215...220$. Провалов по твердости в металле ЗТВ не наблюдается. Из полученных данных видно, что характер микроструктуры металла шва и ЗТВ сварных соединений стали 10ГН2МФА хорошо согласуется с данными о распределении твердости и механических свойствах металла шва.

Таким образом, результаты предварительных испытаний свидетельствуют о высоком качестве и наличии требуемых механических свойств сварных соединений стали 10ГН2МФА, полученных ААрДС в узкую разделку кромок в смеси 70 % He + 30 % Ar, и полном соответствии существующим требованиям и нормам [6].

Исследовательская аттестация. Для возможности включения узкой разделки в перечень основных типов сварных соединений [2], полученных ААрДС, необходимо пройти определенные аттестационные испытания, предусмотренные в работе [3].

Для проведения аттестационных испытаний в ОП «Атомремонтсервис» (г. Славутич) подготовлен кольцевой стык с наружным диаметром 990 мм и толщиной стенки 70 мм из плакированной стали 10ГН2МФА. Форма разделки кромок соответствовала представленной на рис. 1, б. Для сварки применяли специализированную сварочную аппаратуру «Autotig 600РС» французской фирмы «Polysoude». Перед сваркой проводили предварительный подогрев соединений до температуры

150...200 °С со скоростью не более 150 °С/ч с применением установки «Стандарт Европа 82/6» (фирма «Велдотерм»). При выполнении корневого шва подачу сварочной проволоки Св-08Г1НМА диаметром 0,9 мм осуществляли в хвост ванны, благодаря чему обеспечивался требуемый провар и обратное формирование металла корневого шва.

Режимы сварки корневого шва и последующих слоев при заполнении разделки соответствовали указанным в табл. 1. При заполнении разделки кро-

мок сварочную проволоку подавали в голову сварочной ванны. В процессе заполнения разделки выполняли зачистку поверхности металла шва металлической щеткой и осуществляли внешний осмотр каждого прохода. По окончании сварки стыка был проведен термический «отдых» при температуре 150 °С в течение 8 ч (в соответствии с [2]). Осуществляли 100%-й УЗК, РГК и КК сварных соединений. После неразрушающего контроля качества сварной стык подвергали термообработке по режиму окончательного высокого отпуска при температуре 650 °С в течение 6 ч [2, 8].

В соответствии с ПМ-Т. 38.001-04 «Программой аттестационных испытаний сварных соединений трубопроводов Ду850 из стали 10ГН2МФА (плакированной), выполненных ААрДС в узкую разделку» из сваренного стыка отбирали пробы и вырезали заготовки образцов для изучения физико-механических свойств сварных соединений, характеристик сопротивления хрупкому разрушению, показателей циклической прочности, стойкости против межкристаллитной коррозии, а также шлифы для металлографических исследований.

Исследование распределения легирующих элементов по высоте металла шва сварного соединения стали 10ГН2МФА, выполненного ААрДС в узкую разделку в смеси 70 % He + 30 % Ar с применением сварочной проволоки Св-08Г1НМА, показало, что он имеет практически постоянный химический состав (см. табл. 2) по всей высоте поперечного сечения металла шва.

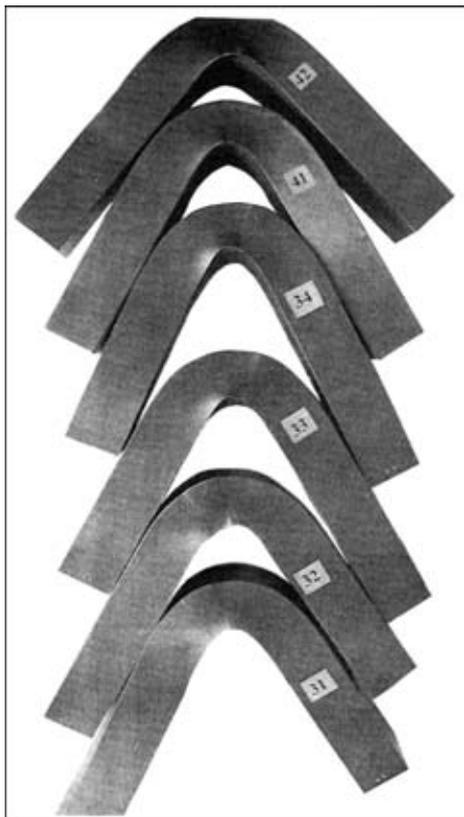


Рис. 5. Вид образцов контрольного соединения после испытаний на статический изгиб

Результаты испытаний механических свойств металла шва и сварного соединения стали 10ГН2МФА (табл. 5) свидетельствуют о том, что прочностные характеристики и показатели пластичности сварных соединений выше, чем у основного металла. Разрушение всех образцов сварных соединений происходило по основному металлу.

Угол загиба испытываемых образцов сварных соединений сечением 35×45 мм составлял не менее 120°, что превышает требуемые значения (согласно [6] он должен быть не ниже 40°). Следует отметить, что испытываемые образцы при этом не только не разрушались, но и не имели трещин (рис. 5).

Определение критической температуры хрупкости металла шва и ЗТВ осуществляли в соответствии с [7] при испытании металла шва на ударный изгиб образцов Шарпи с V-образным острым надрезом по центру шва и по зоне сплавления (тип IX по ГОСТ 6996–66). На основании выполненного расчета критическая температура хрупкости металла шва должна составлять -77 °С, а ЗТВ — ниже -100 °С (рис. 6), что полностью отвечает предъявляемым требованиям [6].

Испытания на малоцикловую усталость проводили в Институте проблем прочности НАН Украины на стандартной универсальной электрогидравлической машине 3201 УЭ-20 при осевом растяжении-сжатии (деформировании) с контролем

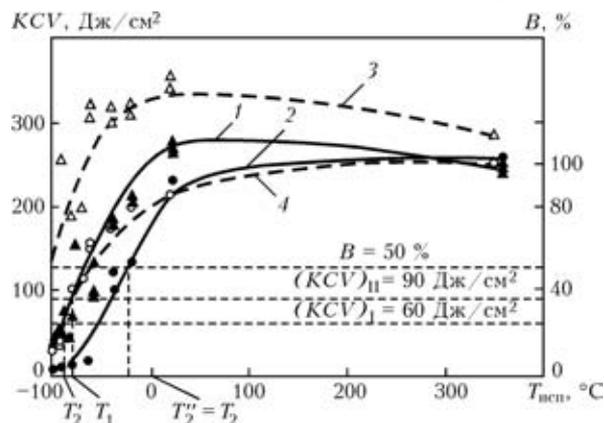


Рис. 6. Влияние температуры испытаний $T_{исп}$ металла контрольного сварного соединения на ударную вязкость KCV (1, 3) и долю вязкого волокна B в изломе (2, 4): сплошные кривые — металл шва; штриховые — ЗТВ; ●, ▲, ○, △ — экспериментальные точки

амплитуды полной деформации рабочей части образца. Основные геометрические размеры образца были выбраны в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25.502–79 «Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость». Нагружение образцов осуществляли по симметрическому циклу (коэффициент асимметрии цикла деформации $R_\epsilon = -1$), т. е. испытания проводили в жестком режиме. В процессе циклического нагружения образцов продольные деформации задавали и измеряли с помощью специального тензометра. Испытания проводили при частоте циклического нагружения $f = 0,3$ Гц. Критерием циклической долговечности образца в соответствии с [7] принято появление и развитие на поверхности образца трещины усталости длиной от 0,5 до 2,0 мм. При достижении трещины усталости указанной длины образец снимали с испытаний.

На рис. 7 приведены результаты испытаний на малоцикловую усталость сварных соединений стали 10ГН2МФА, выполненных ААрДС в узкую разделку кромок, при комнатной и рабочей температуре, а для сравнения — полученные при испытании основного металла. Из рисунка видно, что как при комнатной, так и при рабочей температуре имеет место незначительное снижение

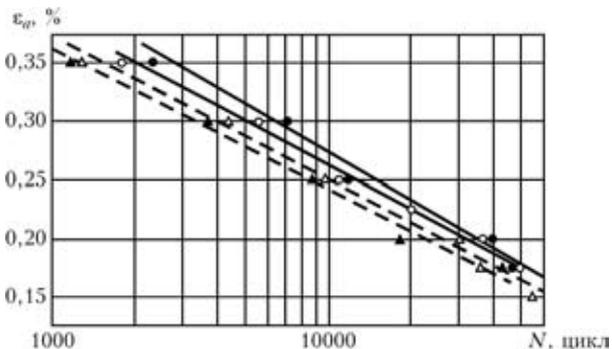


Рис. 7. Кривые усталости основного металла (сплошные кривые) и сварных соединений (штриховые), полученные по результатам испытаний контрольного сварного соединения на малоцикловую усталость: ●, ▲ — 350; ○, △ — 20 °С

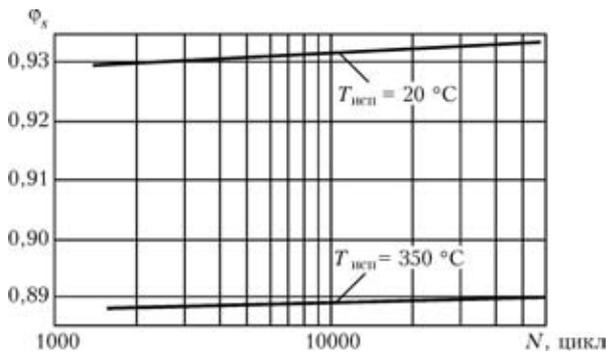


Рис. 8. Кривые изменения коэффициента ϕ_s циклической прочности сварных соединений

амплитуды разрушающей деформации ϵ_a при заданной долговечности сварных соединений в сравнении с основным металлом — сталью 10ГН2МФА. При этом снижение циклической прочности незначительно при длительности испытаний свыше $1 \cdot 10^4$ циклов, а в области меньшей долговечности, где в основном на сопротивление малоциклового усталости оказывают влияние пластические свойства сварных соединений, кривые усталости сварных соединений при 20 и 350 °С расположены близко друг к другу и к кривым основного металла. На рис. 8 приведены кривые изменения коэффициента ϕ_s циклической прочности сварных соединений в зависимости от количества циклов до появления трещины, которые определяли в соответствии с методикой, рекомендуемой в работе [7]. Для исследования диапазона долговечности в интервале от $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^8$ циклов при комнатной температуре минимальное значение $\phi_s = 0,93$, при рабочей температуре $\phi_s = 0,88$. Таким образом результаты исследования малоциклового усталости показали, что сварные соединения стали 10ГН2МФА, выполненные ААрДС в узкую разделку, имеют несущественное (5...7 %) снижение циклической прочности при комнатной температуре и 350 °С по сравнению с основным металлом.

Испытания сварного соединения стали 10ГН2МФА на стойкость против межкристаллитной коррозии проводили согласно ГОСТ 6032–89 по методу АМ без провоцирующего нагрева на образцах типа 1. Выявление межкристаллитной коррозии осуществляли методом загиба на угол 90°. Результаты испытаний полностью удовлетворяли предъявляемым требованиям [6].

Для исследования макроструктуры использовали темплеты, вырезанные поперек сварного соединения. Изучали слоистое строение металла шва для выявления межслойных и межваликовых дефектов, а также его кристаллическую макроструктуру для оценки сплошности и однородности. Анализ макроструктуры металла сварного соединения показал, что в металле шва валики имеют однородное строение и приблизительно одинако-

вое сечение, а в ЗТВ — постоянную ширину по всей высоте шва. Это дает основание считать, что режим сварки на протяжении всего процесса получения сварного соединения был стабильным, дефектов между валиками и слоями в металле шва, а также в зоне сплавления не выявлено, металл шва плотный. Не обнаружено также дефектов в виде трещин, пор, недопустимых скоплений шлаковых включений и непроваров. При исследовании микроструктуры металла сварного соединения обращает внимание очень высокий уровень чистоты по неметаллическим включениям. Имеющиеся неметаллические включения типа сложных оксисульфидов марганца отличаются мелкой (не более 0,001 мм) дисперсностью и являются одиночными. Структура металла шва состоит из отпущенного бейнита и ферритной составляющей, для которой характерна мелкозернистость (размер зерна № 8–9 баллов).

В микроструктуре металла ЗТВ вблизи границы сплавления сварного соединения участки крупного зерна отсутствуют, вместо них формируется мелкодисперсная бейнитно-ферритная структура. По мере удаления от границы сплавления размер зерна несколько уменьшается, структура металла представляет собой мелкодисперсный бейнит.

Металл шва отличается твердостью $HV 235 \dots 240$, характерную для структуры отпущенного бейнита. Твердость металла ЗТВ возле границы сплавления несколько повышена (до $HV 250 \dots 255$), а по мере удаления от границы сплавления она снижается до уровня твердости основного металла — $HV 180 \dots 185$.

Из приведенных данных видно, что характер структуры металла шва и ЗТВ сварных соединений стали 10ГН2МФА хорошо согласуется с показателями распределения твердости и механическими характеристиками наплавленного металла и сварных соединений.

Таким образом, результаты выполненных исследований свидетельствовали о том, что физико-механические свойства, сопротивление хрупкому разрушению, циклическая прочность, коррозионная стойкость, а также данные металлографических исследований сварных соединений стали 10ГН2МФА, выполненных ААрДС в узкую разделку с применением сварочной проволоки Св-08Г1НМА, полностью отвечают предъявляемым требованиям.

На основании полученных результатов принято техническое решение ТР-Н.1234.АРС.72–04 о возможности применения ААрДС неплавящимся электродом в узкую разделку кромок при ремонте (монтаже) главных циркуляционных трубопроводов Ду850 энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000.

Производственная аттестация. С целью проверки возможности практического выполнения ААрДС в узкую разделку кромок для соединения

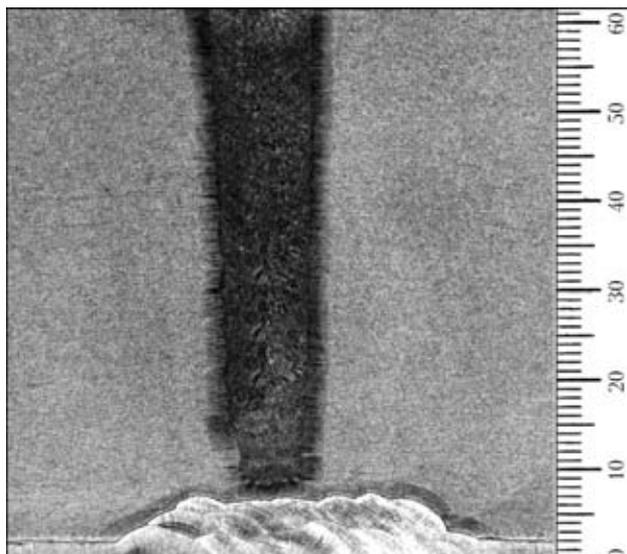


Рис. 9. Макрошлиф контрольного сварного соединения стали 10ГН2МФА, полученного ААрДС в узкую разделку кромок в смеси 70 % He + 30 % Ar

элементов ГЦТ Ду850 применительно к Южно-Украинской АЭС проведена первичная производственная аттестация технологии выполнения сварных соединений (в аттестации участвовали также сотрудники ОП «Атомремонтсервис» В. Н. Адаменко, В. И. Подъячев, Ф. Ф. Мельник, А. В. Бегун и сотрудники ОП «Южно-Украинская АЭС» С. И. Шмалько и И. Д. Долматов.). В соответствии с разработанной технологической инструкцией по ААрДС в узкую разделку кромок элементов трубопроводов Ду850 из плакированной стали 10ГН2МФА в производственных условиях получен контрольный кольцевой стык обечаек диаметром 990 мм с толщиной стенки 70 мм. Сваренный стык был подвергнут термообработке по режиму, рекомендованному в [5]. Результаты неразрушающего контроля показали высокое качество контрольного сварного соединения. Все применяемые методы 100 %-го контроля (ВИК, травление, КК, УЗК, РГК) подтвердили отсутствие дефектов и соответствие качества сварных соединений существующим требованиям [6].

Разрушающий контроль выполняли на образцах, вырезанных из контрольного сварного соединения. При этом в соответствии с [6] определены прочность сварного соединения, стойкость

против межкристаллитной коррозии, а также проведены испытания на статический изгиб и металлографические исследования.

Результаты разрушающего контроля показали, что контрольное сварное соединение по всем показателям полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям [6]. Вид макрошлифа производственного контрольного сварного соединения стали 10ГН2МФА, полученного ААрДС в узкую разделку кромок в смеси 70 % He + 30 % Ar, представлен на рис. 9.

Исходя из изложенного выше можно заключить, что для соединения элементов ГЦТ Ду850 из стали 10ГН2МФА с патрубками ПГ рекомендуется ААрДС в узкую разделку кромок в смеси 70 % He + 30 % Ar с применением сварочной проволоки Св-08Г1НМА диаметром 0,8...0,9 мм. Указанная технология обеспечивает высокое качество и необходимые служебные свойства сварных соединений стали 10ГН2МФА. Разработанная и аттестованная технология ААрДС в узкую разделку кромок согласована с Государственным комитетом по ядерному регулированию Украины и рекомендована для применения на АЭС.

1. *К вопросу* выбора технологии сварки элементов ГЦТ Ду850 при замене парогенераторов ПГВ-1000М на АЭС / А. К. Царюк, В. Ю. Скульский, В. В. Волков, и др. // Автомат. сварка. — 2005. — № 10. — С. 41–47.
2. ПН АЭГ-7-009–89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения. — М.: Энергоатомизд, 1990. — 190 с.
3. ПН АЭГ-7-008–89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. — М.: Энергоатомизд, 1990. — 169 с.
4. Бродский А. Я. Технология дуговой электросварки в инертной среде. — М.: Машгиз, 1951. — 166 с.
5. Бродский А. Я. Аргодуговая сварка вольфрамовым электродом. — М.: Машгиз, 1956. — 396 с.
6. ПН АЭГ-7-010–89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля. — М.: Энергоатомизд, 1990. — 124 с.
7. ПН АЭГ-7-002–89. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. — М.: Энергоатомизд, 1989. — 525 с.
8. Куран Р. И., Цыба В. И., Царюк А. К. Термообработка сварных соединений главного циркуляционного трубопровода Ду850 при замене парогенераторов ПГВ-1000М на Южно-Украинской АЭС // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 32–34.

Automatic narrow-gap argon-arc welding in a gas mixture of 70 % He + 30 % Ar, using 0.8-0.9 mm diameter welding wire Sv-08G1NMA, was employed to join elements of the main circulation piping (MCP) Dn850 of clad steel 10GN2MFA to steam generator branch pipes. The technology suggested passed the research and industrial certification to advantage, was approved by the State Inspection Body of the State Nuclear Control Committee of Ukraine, and is recommended for joining the Dn850 MCP elements in replacement of steam generators at NPS. The automatic narrow-gap argon-arc welding technology will allow a substantial reduction of labour intensity in welding operations, increase in productivity, decrease in the amount of deposited metal and level of residual welding stresses, assurance of the high quality of welded joints, and a considerable decrease in a dose of the radiation effect on the personnel performing welding operations.

Поступила в редакцию 06.11.2005,
в окончательном варианте 12.12.2005



СТОЙКОСТЬ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Cu–Fe, СОДЕРЖАЩИХ КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ ФАЗУ, В УСЛОВИЯХ ГАЗОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Ю. С. БОРИСОВ, А. Л. БОРИСОВА, доктора техн. наук, В. Ф. ГОЛЬНИК, канд. хим. наук, З. Г. ИПАТОВА, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследована износостойкость в условиях газоабразивного изнашивания при разных углах атаки абразива детонационных и плазменных покрытий из порошков на основе сплава Al–Cu–Fe, легированных скандием и хромом. Установлена зависимость износа покрытий от угла атаки абразива, метода нанесения и состава покрытий, а также содержания в нем квазикристаллической фазы.

Ключевые слова: газотермические покрытия, сплав системы Al–Cu–Fe, квазикристаллическая фаза, газоабразивное изнашивание

С момента открытия квазикристаллического состояния вещества важной проблемой является практическое применение этого класса материалов, сочетающих комплекс таких уникальных свойств, как высокие твердость и износостойкость, низкие значения коэффициента трения и поверхностной энергии, способность к упругому восстановлению, сверхпластичность при высоких температурах и др.

На сегодня открыто более 200 квазикристаллических сплавов, которые не нашли пока широкого применения на практике, в том числе и по причине недостаточного исследования свойств, представляющих практический интерес. Одной из важных служебных характеристик является их поведение в различных условиях изнашивания. Сведения о таких характеристиках квазикристаллических материалов ограничены и относятся в основном к материалам системы Al–Cu–Fe.

Высокую износостойкость газотермических покрытий из сплава системы Al–Cu–Fe в условиях абразивного изнашивания в первую очередь связывают с содержанием в них квазикристаллической ψ -фазы, твердость которой может превышать $HV\ 1000\ \text{МПа}$ [1]. В то же время в зависимости от условий триботехнических испытаний большое значение приобретают такие характеристики покрытий, как трещиностойкость, пористость, размер зерна, наличие оксидных включений. В работе [2] приведены результаты исследования триботехнических свойств плазменных покрытий из сплава $\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$ в условиях абразивного изнашивания (закрепленный абразив из шлифовальной шкурки, содержащей SiC, зернистостью 400, $P =$

$= 10\ \text{кПа}$, $v = 240\ \text{об/мин}$). В этих условиях размер зерна порошка ($d_{\text{ср}} = 25...45$ и $45...75\ \text{мкм}$) незначительно повлиял на износостойкость, в то время как отжиг при температуре $700\ \text{°C}$ в течение 2 ч в аргоне существенно (в 4...5 раз) повысил износостойкость покрытия, при этом коэффициент трения также возрос с 0,1 до 0,4. Повышение износостойкости покрытий в результате отжига связано с практически полным превращением двухфазной ($\psi + \beta$) в однофазную ψ структуру с одновременным снижением пористости и «залечиванием» трещин. Возрастание коэффициента трения после отжига покрытия авторы связывают с увеличением адгезионного износа и снижением роли продуктов изнашивания (вторичных структур), играющих роль смазки в зоне трения.

В работе [3] приведены результаты исследования изнашивания газотермических покрытий из сплава системы Al–Cu–Fe в условиях сухого трения. Испытания проводили методом «пин-он диск» при нагрузке 50 Н и скорости скольжения 0,01 м/с, в качестве контртела использовали стальной шарик с твердостью $HV1-750$. Были испытаны три типа покрытий: плазменные (APS), содержащие смесь ψ - и β -фаз; APS-покрытия, отожженные при температуре $700\ \text{°C}$ в течение 4 ч, содержащие только ψ -фазу, и сверхзвуковые газоплазменные (HVOF) покрытия, полностью состоящие из β -фазы. Максимальную твердость имели отожженные APS, минимальную — HVOF-покрытия, т. е. наблюдалась корреляция твердости покрытий с содержанием в них ψ -фазы. Коэффициент трения покрытий отличался незначительно и находился в диапазоне 0,09...0,11. Однако наиболее высокая износостойкость отмечена в HVOF-покрытиях, состоящих из более мягкой, чем ψ -, β -фазы. Как показали металлографические

исследования, эти покрытия наиболее плотные и практически не содержали трещин. При отжиге двухфазных ($\psi + \beta$) плазменных покрытий их плотность возросла, однако при этом увеличилось и количество трещин, что связано с объемными изменениями в результате ψ - β -превращения. Поэтому отожженные APS-покрытия, состоящие из ψ -фазы, показали более низкую стойкость к изнашиванию, чем однофазные HVOF-покрытия, содержащие более мягкую β -фазу.

Авторы работы [4] отмечают, что изнашивание покрытий в условиях сухого трения-скольжения ($P = 250$ г, линейная скорость 2,5 см/с) существенно зависит от их плотности и топографии поверхности и в меньшей мере от их химического состава. Такой вывод подтверждают результаты испытаний покрытий, полученные методами APS, вакуумного плазменного (VPS) и сверхзвукового газоплазменного (HVOF) напыления. Покрытия отличались по содержанию ψ -фазы, плотности и твердости. Максимальные твердость и содержание ψ -фазы наблюдались у VPS-, а максимальная плотность — у HVOF-покрытий. В порядке возрастания коэффициента трения покрытия можно расположить следующим образом: APS \rightarrow VPS \rightarrow HVOF, причем значения f почти на порядок отличаются от данных, приведенных в работе [3] (0,6...1,2 по сравнению с 0,09...0,11). При исследовании триботехнических свойств газотермических покрытий из сплавов $Al_{65}Cu_{20}Fe_{15}$, $Al_{64}Cu_{18}Fe_8Cr_8$ и $Al_{67}Cu_9Fe_{10,5}Cr_8Si_3$ методом склерометрии при постоянной нагрузке 20 Н установили зависимость коэффициента трения от материала и диаметра шарового индентора, а также степени шероховатости поверхности покрытия. При этом повышение последней уменьшает коэффициент трения в случае алмазного и увеличивает в случае стального индентора [5].

Рассмотренные работы, посвященные исследованию триботехнических свойств газотермических покрытий, содержащих квазикристаллическую фазу, свидетельствуют о перспективности применения для защиты от изнашивания деталей из легких сплавов и необходимости продолжения исследований с целью расширения областей их практического применения. Так, полностью отсутствуют данные о поведении этих покрытий в условиях газоабразивного изнашивания, являющегося весьма распространенным в практических условиях.

На механизм газоабразивного изнашивания покрытий влияет целый ряд факторов. В этих условиях износостойкость покрытий зависит не только от твердости и хрупкости материала покрытия, но и от их структуры, в том числе пористости, размера и распределения структурных составляющих. Прямой зависимости между износостойкостью и твердостью газотермических пок-

рытий (так же, как и пористых порошковых материалов) не наблюдается. Так, в работе [6] отмечалось, что при малых углах атаки с увеличением твердости покрытия относительная износостойкость повышается, а при больших снижается. В то же время увеличение модуля упругости материала покрытия приводит к повышению относительной износостойкости как при малых, так и при больших углах атаки. Такая закономерность характерна для материалов, которые имеют остаточную пористость. Для практически беспористых материалов (например, наплавленных покрытий) увеличение модуля упругости при малых углах атаки приводит к возрастанию, а при больших — к уменьшению износостойкости покрытий. Любая пористость в материале снижает его износостойкость при воздействии абразивной струи, при этом степень ее влияния зависит от угла атаки.

В начале при изнашивании пористых материалов в абразивном потоке возможно их шаржирование частицами абразива, что не только компенсирует износ образца, но и увеличивает его массу. Поэтому в данной работе при испытаниях измерения проводили после окончания некоторого инкубационного периода, после установления стационарной скорости износа. Вместе с тем поры в материале, являющиеся концентраторами напряжений, при ударе абразивных частиц могут служить источниками зарождения трещин.

По степени сопротивления газоабразивному воздействию (в зависимости от угла атаки α абразивных частиц) порошковые материалы и покрытия условно делятся на две группы [6]: $\alpha < 35^\circ$ — максимальное изнашивание для пластичных и $\alpha > 45^\circ$ — для хрупких материалов.

Проведены исследования износостойкости в условиях газоабразивного изнашивания детонационных и плазменных покрытий из порошков нелегированного сплава системы Al-Cu-Fe ($Al_{63}Cu_{25}Fe_{12}$), а также из порошков сплавов, легированных скандием (0,265 и 0,44 ат. % Sc) или хромом (8 ат. % Cr). Порошки для нанесения покрытий получены методом диспергирования расплава аргоном или водой высокого давления (таблица). Детонационные покрытия* наносили при следующих технологических режимах на установке «Перун-С»: расход рабочих газов, м³/ч: — 0,35 (пропан-бутан); 0,95 (кислород); 0,4 (воздух); дистанция напыления — 110 мм. Размер частиц порошка 40...63 мкм.

Плазменные покрытия наносили при следующих технологических параметрах на установке «Киев-7»: сила тока 200 А, напряжение 340 В, дистанция напыления 200 мм, расход плазмооб-

* Детонационные покрытия получены под руководством д-ра техн. наук Е. А. Астахова, плазменные — М. Коломыцевым.



разующего газа (воздуха) $20 \text{ м}^3/\text{ч}$. Размер частиц порошка 40...63 и 25...40 мкм. Покрытие нанесли на стальную основу при комнатной температуре и на основу, подогретую до 270 и 400 °С.

Покрытия системы Al–Cu–Fe и Al–Cu–Fe–Sc состояли из смеси твердой и хрупкой квазикристаллической ψ - и более мягкой кристаллической β -фаз. Содержание ψ -фазы во всех случаях, за исключением плазменного напыления порошка сплава системы Al–Cu–Fe на подогретую до 400 °С основу (поз. 5 таблицы), было ниже по сравнению с исходным порошком. В случае детонационного напыления порошка $\text{Al}_{66}\text{Cu}_{18}\text{Fe}_8\text{Cr}_8$ (поз. 9 таблицы) в результате нагрева происходит не только увеличение содержания β -фазы, но и образование вместо ψ -фазы кристаллического аппроксиманта декагонального квазикристалла — фазы O_1 . Четкой корреляции между количеством квазикристаллической ψ -фазы и микротвердостью покрытия не наблюдалось и это связано с тем, что она определяется не только фазовым составом, но и размером зерна, а также плотностью покрытия, которые, в свою очередь, зависят от характеристик исходного порошка, метода и режима нанесения.

Исследования газоабразивного изнашивания покрытий выполнены на центробежном ускорителе твердых частиц модели ЦУК-3М [6, 7] в соответствии с ГОСТ 23.201–78. В качестве абразивного материала использовали кварцевый песок с размером частиц 0,5...0,9 мм и относительным содержанием влаги не более 0,15 %. Частота вращения ротора установки была постоянной и составляла 3000 ± 50 об/мин, что соответствует линейной скорости потока абразивных частиц

38 м/с. Исследования выполняли при фиксированных углах атаки абразива: 30, 45, 60 и 90°.

В качестве показателя износостойкости приняли интенсивность изнашивания в миллиграммах на килограмм (средняя потеря массы образцов на 1 кг абразива, попавшего на образец). Общее количество абразива, израсходованного для каждой серии образцов, составляло 30 кг, а количество образцов с покрытием одного типа (толщина покрытия ~ 500 мкм) — не менее трех.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы о влиянии характеристик исходного порошка и метода нанесения покрытий на их стойкость в условиях газоабразивного изнашивания.

Для всех исследованных покрытий, независимо от их состава и метода получения, наблюдается снижение износостойкости при увеличении угла атаки. Наиболее существенное влияние угла атаки на износостойкость покрытий наблюдается у детонационного покрытия из сплава системы Al–Cu–Fe, легированного 0,265 ат. % скандием (снижение износостойкости при увеличении угла от 30 до 90° в 3,8 раза), а наименее — для плазменного покрытия, полученного при напылении на основу, подогретую до 400 °С — снижение всего в 1,5 раза (соответственно поз. 6 и 4 таблицы).

Четкой корреляции между газоабразивной износостойкостью покрытий и содержанием в них ψ -фазы не наблюдается. Однако для покрытий, полученных одним и тем же методом напыления из порошка одинаковой дисперсности, наблюдается снижение износостойкости с повышением содержания ψ -фазы, что связано с увеличением хрупкости покрытий. Так, для детонационного

покрытия с 36 % ψ -фазы по сравнению с 17 % (поз. 1 и 2 таблицы) износостойкость в зависимости от угла атаки ниже в 1,1...1,5 раза.

Вместе с тем применение подогрева основы до 400 °С при плазменном напылении, которое наряду с повышением содержания ψ -фазы приводит к повышению когезионной прочности и плотности покрытий, повышает также и их износостойкость (поз. 3 и 4 таблицы).

Детонационные покрытия в целом превосходят плазменные по стойкости в условиях газоабразивного изнашивания. Так, например, детонационные покрытия из порошка системы Al–Cu–Fe с размером частиц 40...63 мкм по износостойкости

Износостойкость газотермических покрытий, содержащих квазикристаллическую фазу, в условиях газоабразивного изнашивания

№ позиции	Напыляемый порошок	Метод нанесения ¹ покрытия	Температура основы, °С	Характеристика порошка		
				Метод получения ²	Размер частиц, мкм	Содержание квазикристаллической фазы ψ , мас. %
1	$\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$	ДН	20	АР	40...63	45
2	$\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$	ДН	20	ВР	40...63	53
3	$\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$	ПН	20	АР	40...63	45
4	$\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}$	ПН	400	АР	40...63	45
5	$\text{Al}_{63}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{Sc}_{0,265}$	ПН	270	АР	25...40	50
6	$\text{Al}_{62,735}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{Sc}_{0,265}$	ДН	20	ВР	40...63	72
7	$\text{Al}_{62,735}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{Sc}_{0,265}$	ПН	20	ВР	40...63	72
8	$\text{Al}_{62,256}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{Sc}_{0,44}$	ДН	20	ВР	40...63	73
9	$\text{Al}_{66}\text{Cu}_{18}\text{Fe}_8\text{Cr}_8$	ДН	20	ВР	40...63	42

¹ДН — детонационное, ПН — плазменное напыление. ²АР — порошок, распыленный аргоном, ВР — водой.

Окончание таблицы

№ позиции	Характеристика покрытия		Средний износ при разных углах (град) атаки абразива, мг/кг			
	Содержание квазикристаллических фаз (ψ), мас. %	HV, ГПа	30	45	60	90
1	36	6,4 ± 1,0	49,9	104,4	113,7	118,2
2	17	5,5 ± 1,0	33,4	87,6	88,4	103,6
3	36	5,5 ± 0,9	148,0	220,9	227,9	238,2
4	45	6,6 ± 1,9	142,5	147,7	156,3	206,5
5	36	6,9 ± 1,5	105,2	186,4	260,6	269,4
6	35	5,7 ± 1,2	29,4	65,1	86,2	111,8
7	38	5,9 ± 1,7	75,2	140,6	149,0	236,8
8	32	5,6 ± 1,5	47,8	78,4	91,8	123,8
9	37 (O ₁)	5,8 ± 2,3	93,2	115,8	152,6	186,8

в 2...3 раза превышают плазменные из того же порошка, при этом содержание в них ψ -фазы также одинаковое — 36 мас. % (поз. 1 и 3 таблицы).

Легирование скандием в количестве 0,265 ат. % повышает износостойкость детонационных покрытий, особенно при малых углах атаки (поз. 6 и 1), а при увеличении в покрытии содержания легирующего элемента до 0,44 ат. % эффект его влияния на износостойкость намного ниже и проявляется при углах атаки до 60° (поз. 8 таблицы).

Наименьшую износостойкость среди детонационных покрытий в условиях газоабразивного изнашивания при всех углах атаки имеют покрытия, легированные хромом. Это связано с тем, что они отличаются наиболее высокой хрупкостью и низкой когезионной прочностью, что приводит, как показывает металлографический анализ, к частичному отслоению покрытия от основы.

Таким образом, покрытия с квазикристаллической фазой изнашиваются как хрупкие материалы: с увеличением угла атаки износостойкость снижается, достигая минимальных значений при лобовом столкновении абразивных частиц с поверхностью покрытия ($\alpha = 90^\circ$). При малых углах атаки кинетическая энергия абразивных частиц, которые попали на поверхность, вызывает микрорезание и выделение продуктов износа. При больших углах происходит образование лунок, которые охватывают несколько зерен покрытия вследствие отрыва слабо связанных частиц. Основным критерием износостойкости таких хрупких покрытий является трещиностойкость, кото-

Wear resistance was studied under the conditions of gas-abrasive wear at different angles of incidence of the abrasive of detonation and plasma coatings from Al-Cu-Fe based powders, alloyed with scandium and chromium. A relationship is established between coating wear and abrasive angle of incidence, coating deposition method and composition, as well as quasicrystalline phase content.

рую можно увеличить при получении непористой или малопористой структуры с равномерно распределенными равновесными порами в мелкозернистой структуре покрытия. Кроме того, другим важным фактором структурного состояния газотермических покрытий является когезионная прочность, отражающая прочность связи между отдельными структурными элементами покрытия (ламелями). Такая структура покрытия обеспечивается путем выбора оптимальных технологических вариантов и режимов нанесения.

Исходя из результатов данной работы, максимальная износостойкость в условиях газоабразивного изнашивания газотермического покрытия, содержащего квазикристаллическую фазу, была достигнута при использовании детонационного метода нанесения нелегированных порошков сплава системы Al-Cu-Fe или порошков, легированных небольшим количеством скандия (~0,3 мас. %). Увеличение содержания в покрытии ψ -фазы или легирование хромом не оказывает заметного влияния на износостойкость сплава системы Al-Cu-Fe в условиях газоабразивного изнашивания.

Коллектив авторов выражает благодарность Научно-техническому центру Украины за финансовую поддержку при выполнении данной работы в рамках проекта 1630.

1. Газотермічні покриття, що містять квазікристалічну фазу, властивості і застосування (Огляд) / Ю. С. Борисов, А. Л. Борисова, Л. І. Адеєва та ін. // Фіз. і хімія твердого тіла. — 2005. — № 1. — С. 124–136.
2. Friction and wear behavior of thermally sprayed Al-Cu-Fe quasicrystal coatings / S. De Palo, S. Usmani, S. Sampath et al. // Therm. Spray: A. United forum for scientific and technolog. advances. — Publ. by ASM Intern., Materials Park, Ohio, USA. — 1997. — P. 135–139.
3. Thermal spray quasicrystalline coatings Pt II: Relationships among processing, phase assemblage, and tribological response / S. De Palo, S. Usmani, K. Kishi et al. // Proc. of the 15th Intern. thermal spray conf., 25–29 May, 1998, Nice, France. — P. 705–710.
4. Microstructure and wear behavior of quasicrystalline thermal sprayed coatings / D. J. Sordelet, P. D. Krotz, R. L. Jr. Daniel, M. F. Smith // Proc. of the 8th Nation. thermal spray conf., 11–15 Sept., 1995, Houston, Texas. — P. 627–632.
5. Dubois J.-M., Kang S. S., Massiani Y. Application of quasicrystalline alloys to surface coating of soft metals // J. of Non-Crystalline Solids. — 1993. — 153-154. — P. 443–445.
6. Кулу П. Износостойкость порошковых материалов и покрытий. — Таллин: Валгус, 1988. — 120 с.
7. Клейс И. Р. Центробежный ускоритель ЦУК-3М для определения относительной износостойкости материалов при абразивной эрозии // Тр. Таллин. политехн. ин-та. — 1970. — Сер. А. — С. 23–33.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ*

Д. А. ЗАВАЛИНИЧ, инж. (ОАО «Черномортранснефть», г. Новороссийск, РФ),
В. М. ДЗЮБА, инж., В. Г. ЛОЗОВОЙ, канд. техн. наук (ООО «НПЦ «Сварочные материалы», г. Краснодар, РФ),
Д. Л. СТОРОЖИК, инж. (НСРЗ, г. Новороссийск, РФ)

Приведены результаты сравнительных испытаний покрытых электродов российского и импортного производства, применяемых в процессе ремонта магистральных нефтепроводов. Даны рекомендации по использованию электродов с учетом опыта, накопленного АК «Транснефть».

Ключевые слова: дуговая сварка, магистральные нефтепроводы, ремонт, группа прочности сталей, покрытые электроды, аттестационные испытания, опыт применения, рекомендации

В России и странах СНГ для сварки металлоконструкций широко используют электроды общего назначения, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 9466–75. Однако последний не учитывает технологические особенности сварки и ремонта нефтепроводов, что не позволяет применять такие электроды без специальной проверки и аттестации. В России аттестация импортных и отечественных электродов для использования в АК «Транснефть» проводится во ВНИИСТе (г. Москва), а в РАО «ГАЗПРОМ» и «Стройтрансгаз» — во ВНИИГАЗе (г. Москва). Дополнительно аттестуемые для ремонта и трубопроводного строительства отечественные электроды испытываются на соответствие требованиям РД 03-613-03 Национальной ассоциации контроля и сварки России. Такая перекрестная система аттестации ужесточает оценку и обеспечивает большую объективность результатов испытаний.

В процессе аттестационных испытаний сварочных материалов определяется уровень сварочно-технологических свойств, оценивается соответствие сварочных материалов специальным требованиям к качеству их изготовления и обеспечению необходимого комплекса механических свойств.

В настоящей работе обобщается опыт капитального ремонта магистральных трубопроводов с использованием импортных и отечественных электродов, на основании которого приводятся некоторые рекомендации.

Выбор сварочного материала для каждого конкретного случая осуществляется с учетом класса прочности и типоразмера свариваемых труб; требований к механическим свойствам сварных соединений; условий прокладки нефтепровода и наличия специальных требований к сварным соединениям; сварочно-технологических свойств конкретных марок электродов; схемы организации сварочно-монтажных работ и требуемого темпа их выполнения.

В табл. 1 приведен указатель регламента на электроды для сварки стыков труб нефтепроводов в зависимости от класса прочности сталей.

В случае сварки стыков труб из сталей различных групп прочности сварочные материалы должны выбираться исходя из следующего: при различных значениях толщин стенок — по толщине трубы из стали более высокого класса прочности; при одинаковых значениях толщин стенок стыкуемых труб — по толщине трубы из стали менее высокого класса прочности.

Из табл. 1 следует, что для выполнения корневого слоя шва стыков труб из сталей 1...4 групп прочности должны применяться электроды с основным видом покрытия, соответствующие типу Э50А (Е7016), либо электроды с целлюлозным видом покрытия типа Э42А, Э46А (Е6010 и Е6010+);

для сварки «горячего прохода» (первого заполняющего слоя при сварке корневого слоя шва) используются следующие типы электродов с целлюлозным видом покрытия: Э42А, Э46А (Е6010 и Е6010+) — для выполнения «горячего прохода» стыков труб первой и второй групп прочности; Э50А (Е7010 по AWS А5.1 и Е6010+) — для выполнения «горячего прохода» стыков труб третьей группы прочности.

Сварочные материалы для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва должны обеспечивать равнопрочность металла шва с основным

*Публикуется по материалам доклада, представленного на 2-м научно-практическом семинаре «Дуговая сварка. Материалы и качество» (26–30 сент. 2005 г., г. Магнитогорск).

Таблица 1. Регламент на электроды для сварки нефтепроводов в зависимости от класса прочности сталей

Назначение	Вид покрытия, тип по ГОСТ 9467–77 (AWS A5.1)	Группа прочности свариваемой стали; нормативный предел прочности, МПа (кгс/мм ²)
Сварка корневого слоя шва	Основной, Э50А (Е7016)	1...4; до 637 (65)
	Целлюлозный, Э42А, Э46А (Е6010)	
Сварка «горячего прохода»	Целлюлозный, Э42А, Э46А (Е6010)	1, 2; до 530 (54)
	Целлюлозный, Э50А (Е7010)	3; 539 (55)...588 (60)
Сварка заполняющих и облицовочного слоев шва	Основной, Э50А (Е7016, Е7018)	1, 2; 530 (54)
	Основной, Э60 (Е8018, Е8016, Е8015 — по AWS А5.5)	3; 539 (55)...588 (60)
	Основной, Э70 (Е9016, Е9018 — по AWS А5.5)	4; 637 (65)
	Целлюлозный, Э42А, Э46А (Е6010)	1; до 490 (50)
	Целлюлозный, Э50А (Е7010)	2; 490 (50)...530 (54)
	Целлюлозный, Э55 (Е8010 — по AWS А5.5)	530 (54)...550 (56)
	Целлюлозный, Э60 (Е9010 — по AWS А5.5)	3; 539 (55)...588 (60)

металлом. Для их выполнения в России преимущественно используются следующие электроды с основным покрытием (см. табл. 1):

типа Э50А (Е7016, Е7018) — для сварки стыков труб первой и второй групп прочности;

типа Э60 (Е8015, Е8016, Е8018) — для сварки стыков труб третьей группы прочности;

типа Э70 (Е9016, Е9018) — для сварки стыков труб четвертой группы прочности.

Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва могут быть использованы электроды с целлюлозным видом покрытия, однако при этом обязательным условием является разработка и согласование соответствующих технологических карт и инструкции по сварке применительно к каждому конкретному объекту строительства, аттестационные испытания технологии сварки, специальная подготовка и аттестация сварщиков. При этом следует использовать следующие электроды с целлюлозным видом покрытия:

типа Э42А, Э46А (Е6010 и Е6010+) — для сварки стыков труб первой группы прочности;

типа Э50А (Е7010) — для сварки стыков труб второй группы прочности;

типа Э55 (Е8010) — для сварки стыков труб с прочностью от 530 (класс прочности трубной стали К54) до 550 МПа (класс К56);

типа Э60 (Е9010) — для сварки стыков труб третьей группы прочности.

Перечень аттестованных и рекомендованных для ручной дуговой сварки электродов с основным покрытием для труб из сталей различных прочностных групп и их изготовители приведены в табл. 2, а электродов с целлюлозным покрытием — в табл. 3.

В ОАО «Черномортранснефть» проведены также испытания новых электродов марки ЛБ-52TRU (ТУ 1272-018-01627014-2002) производства Краснодарского электродного предприятия ООО «НПЦ «Сварочные материалы», сертифицирова-

нные Морским регистром судоходства РФ, Lloyd's Register (Великобритания) и DNV (Норвегия). Разнотолщинность покрытия электродов диаметром 3,0 мм находится в пределах 0,04...0,08; 4,0 — 0,06...0,10 мм. При падении с высоты 1 м на чугунную плиту покрытие электродов обоих диаметров не разрушалось. Сварочно-технологические свойства электродов проверяли при сварке корневого, заполняющего и облицовочного слоев соединения катушек труб диаметром 530×9 и 720×10 мм из стали 17ГС1. Рентгенодефектоскопический контроль не выявил недопустимых дефектов, шлак легко удалялся из разделки. Обратный валик корневого шва без подрезов с минимальными перепадами между чешуйками, внутренняя (лицевая) поверхность корневого валика — без наплывов и большого усиления. Облицовочный слой мелкочешуйчатый и отвечает самым высоким требованиям. При соблюдении качества изготовления электроды ЛБ-52TRU составят серьезную конкуренцию лучшим зарубежным образцам трубных электродов, резко уменьшив зависимость стран СНГ от импорта при значительно меньшей их цене. Испытания электродов ЛБ-52TRU в Тюменском учебном центре ОАО «Сибнефтепровод» подтвердили заключение о результатах испытаний в ОАО «Черномортранснефть».

При аттестации технологии сварки трубопровода Россия—Турция «Голубой поток» на участке 56...92 км были испытаны новые российские целлюлозные электроды «Кубань 6010» и «Кубань 7010» соответственно серии Е6010 и Е7010 по AWS А5.1. Электродами «Кубань 6010» диаметром 4,0 мм сваривали корневой шов пробного стыка плетей труб диаметром 1420×18,7 мм, а «Кубань 7010» диаметром 4,0 мм — «горячий проход» этого стыка. Параллельно сваривали корневой шов и «горячий проход» такого же стыка электродами «Fleetweld 5P+» диаметром 4,0 мм. Заполнение разделки и облицовочный слой в том



Таблица 2. Электроды с основным покрытием для сварки и ремонта неповоротных и поворотных стыков труб при строительстве, реконструкции и ремонте нефтепроводов

Назначение	Марка электрода	Диаметр, мм	Фирма-производитель
Для сварки и ремонта корневого слоя шва и выполнения подварочного слоя* стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно (1–4 группы прочности)	ЛБ-52У	2,6; 3,2	«Kobe Steel» (Япония)
	Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	2,5; 3,2	«Boehler-Thyssen» Schweisstechnic (Германия)
	ОК 53.70	2,5; 3,2	«ESAB АВ» (Швеция)
	ОК 53.70	2,5; 3,0	«ЕСАБ-СВЭЛ» (г. Санкт-Петербург, Россия)
	ОК 53.70**	2,5; 3,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	2,5; 3,2	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
	Линкольн 16П (Lincoln 16P)	2,5; 3,2	«Lincoln Electric» (США)
	МТГ-01К	2,5; 3,0	Сычевский электродный завод (г. Сычевка, Россия)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 530 МПа включительно (1, 2-я группы)	ЛБ-52У	3,2; 4,0	«Kobe Steel» (Япония)
	Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Schweisstechnic» (Германия)
	ОК 53.70	3,2; 4,0	«ESAB АВ» (Швеция)
	ОК 53.70	3,0; 4,0	«ЕСАБ-СВЭЛ» (г. Санкт-Петербург, Россия)
	ОК 53.70**	3,0; 4,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
	Линкольн 16П (Lincoln 16P)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
	МТГ-01К	3,0	Сычевский электродный завод (г. Сычевка, Россия)
	МТГ-02	4,0	То же
	ОК 48.04	3,0; 4,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	ЛБ-52TRU	3,0; 4,0	ООО «НПП «Сварочные материалы» (г. Краснодар, Россия)
	ОК 48.04**	3,2; 4,0	«ESAB АВ» (Швеция)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности от 539 до 588 МПа включительно (3-я группа)	ОК 74.70	3,2; 4,0	»»
	Линкольн 18П (Lincoln 18P)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
	Кессель 5520 Мо Kessel 5520 Мо	3,2; 4,0	«Boehler Schweisstechnic Deutschland» (Германия)
	ОК 74.70**	4,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	МТГ-03	3,0; 4,0	Сычевский электродный завод (г. Сычевка, Россия)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности 637 МПа	Шварц-3К Мод (Schwarz-3K Mod)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Schweisstechnic» (Германия)
	ОК 74.78**	4,0	«ESAB АВ» (Швеция)

* Сварку подварочного слоя рекомендуется выполнять электродами № 1–8 диаметром 3,0; 3,2 или 4,0 мм.
 ** Электроды ОК 53.70 («СИБЭС»), ОК 74.70 («СИБЭС»), ОК 48.08 и ОК 74.78 могут быть допущены к применению только после их периодической аттестации в установленном порядке.

и другом случаях выполняли самозащитной проволокой NR-202 (фирма «Lincoln Electric», США). Установлено, что в технологическом плане электроды «Кубань 6010» и «Кубань 7010» превосходят «Fleetweld 5P+». К их достоинствам отно-

сится, в частности, меньший допустимый огарок при сварке по сравнению с импортными электродами, что обеспечивает экономию достаточно дорогих целлюлозных электродов, 100%-й радиографический контроль не выявил в стыках не-

Таблица 3. Электроды с целлюлозным покрытием для сварки неповоротных и поворотных стыков труб при строительстве, реконструкции и ремонте нефтепроводов

Назначение	Марка электрода	Диаметр, мм	Фирма-производитель
Для сварки корневого слоя шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности ≤ 588 МПа (1–3 группы прочности) и «горячего прохода» стыков труб с нормативным пределом прочности ≤ 530 МПа (1, 2 группы прочности)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
Для сварки «горячего прохода» стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности ≤ 588 МПа (3 группа прочности), заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 490...530 МПа (1, 2 группы прочности)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	4,0	«Lincoln Electric» (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	4,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности < 490 МПа (1 группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	»»
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности < 530 МПа (1, 2 группы)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
Для сварки «горячего прохода», заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 530...550 МПа (K54 – K56)	Шилд Арк 80 (Shield Arc 80)	4,0	»»
Для сварки «горячего прохода», заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 539...588 МПа (3 группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	4,0; 5,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)

допустимых дефектов. По общему мнению специалистов и сварщиков, при освоении промышленного выпуска электродов «Кубань 6010» и «Кубань 7010» и их аттестации во ВНИИСТ и ВНИИГАЗ они с полным основанием найдут достаточно широкое применение при сварке трубопроводов, обеспечат, учитывая значительно меньшую их стоимость, экономию средств в трубопроводном строительстве и снижение зависимости в целлюлозных электродах от импорта.

Определенный интерес представляет экспериментальная оценка сварочно-технологических свойств импортных электродов для трубопроводного строительства, показателей механических свойств сварных соединений и химического состава наплавленного металла, полученных при аттестационных испытаниях электродов и обобщении опыта их применения в организациях АК «Транснефть» при сварке неповоротных стыков трубопроводов различных диаметров, толщин стенок и условий сборки. Такая оценка (табл. 4–7) может служить ориентировкой для разработчиков сварочных материалов России и стран СНГ, специалистов и сварщиков всех трубопроводных организаций.

Приведенные в табл. 4–7 данные свидетельствуют о том, что электроды с наиболее высоким баллом по сварочно-технологическим свойствам имеют при этом довольно низкий уровень вяз-

кости и пластичности металла шва. В свою очередь высокие значения ударной вязкости металла шва, характерные для некоторых марок электродов, не сочетаются с такими же показателями по сварочно-технологическим свойствам. Таким образом, выбор электродов должен осуществляться исходя из конкретных задач и условий ремонта, вида прокладки нефтепровода, климатических условий проведения работ, наличия или отсутствия специальных требований к сварным соединениям нефтепровода по уровню вязкости и пластичности (например, ударной вязкости) и т. д.

Опыт выполнения сварочных работ в АК «Транснефть» позволяет выделить также ряд технологических особенностей применения электродов с основным и целлюлозным видами покрытий при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. Ниже приведены основные из них.

Сварка корневого слоя шва электродами с основным покрытием должна осуществляться на постоянном токе прямой или обратной полярности при минимально возможной длине дуги. Лучшие результаты достигаются при прямой полярности, так как при ней повышается проплавливающее действие дуги, обеспечивается более полное проплавление кромок.

При соблюдении рекомендуемых условий сборки (величины зазора и притупления) по периметру стыка сварка на токе обратной поляр-



Таблица 4. Сварочно-технологические свойства электродов с основным видом покрытия диаметром 3,2 мм для сварки корневого слоя шва*

Сварочно-технологические показатели	Марка электродов					
	ЛБ-52У	Феникс К50Р Мод	Линкольн 16П	ОК 53.70	Фирма 5520Р Мод	УОНИ-13/55М (для сравнения)
Технологичность электрода	5	4	5	4	4	3
Проплавляющая способность дуги, отсутствие склонности к образованию непроваров и подрезов	5	4	4	4	4	3
Мягкость и стабильность горения дуги	5	5	5	5	5	3
Форма и поверхность корневого слоя шва со стороны разделки	5	4	5	5	4	3
Отделимость шлака	5	5	5	5	5	3
Склонность к образованию пор при колебаниях величины зазора	5	4	5	4	3	3

* Экспертная балльная оценка проведена при принятом за эталон (5 баллов) электроде ЛБ-52У («Kobe Steel», Япония).

Таблица 5. Химический состав и механические свойства наплавленного металла, выполненного электродами с покрытием основного вида для сварки корневого, заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей 1-2 групп прочности

Марка электрода, тип по ГОСТ (AWS)	Типичный химический состав наплавленного металла	Типичные механические свойства металла					
		σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	ψ , %	KCV , Дж/см ² , при температуре, °С	
						-20	-40
ЛБ-52У, Э50А (E7016)	0,08 С; 0,86 Мн; 0,64 Si	563	447	24	65	40	40
Линкольн 16П, Э50А (E7016)	0,07С; 1,15 Мн; 0,60 Si	530	417	29	70	88	48
Феникс К50Р Мод, Э50А (E7016)	0,07 С; 1,28 Мн; 0,51 Si	520	418	28	63	73	47
ОК 53.70, Э50А (E7016)	0,05 С; 1,34 Мн 0,29 Si	524	420	32	75	121	59
Фирма 5520Р Мод, Э50А (E7018)	0,05 С; 1,07 Мн; 0,56 Si	525	410	27	76	72	35
ОК 48.04*, Э50А (E7018)	0,06 С; 1,15 Мн; 0,5 Si	504	418	30	79	90	55

* Сварка только заполняющих слоев.

Таблица 6. Сварочно-технологические свойства электродов с целлюлозным видом покрытия диаметром 4,0 мм для сварки корневого слоя шва*

Сварочно-технологические показатели	Марка электрода				
	Фокс Цель	Тиссен Цель 70	Флитвелд 5П+	Пайпвелд 6010	Кобе 6010
Проплавляющая способность дуги, формирование обратного валика	5	5	5	4	5
Форма обратного валика	5	5	5	5	4
Отсутствие склонности к образованию непроваров и подрезов	5	5	5	4	4
Склонность к залипанию дуги в процессе сварки	4	4	5	3	3

* Экспертная балльная оценка проведена при принятом за эталон электроде Фокс Цель («Boehler-Thyssen Welding», Австрия).

ности также позволяет обеспечить качественное выполнение корневого слоя, но требует при этом большей квалификации сварщика для достаточного проплавления кромок, чем при сварке на токе обратной полярности. Проплавление при сварке на обратной полярности можно повысить изменением угла наклона электрода (ближе к перпендикулярному по отношению к поверхности тру-

бы), увеличением тока на 10...20 А, поперечными колебаниями. Рекомендуемые для основных электродов значения сварочного тока при наложении корневого слоя шва постоянным током обратной полярности приведены в табл. 8.

При толщине стенки трубы до 7 мм для наложения корневого слоя шва должны использо-

Таблица 7. Типичные механические свойства наплавленного металла, выполненного электродами с покрытием целлюлозного вида для сварки корневого, заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей 1-2 группы прочности

Марка электрода, тип по ГОСТ (AWS)	σв, МПа	σт, МПа	δ, %	ψ, %	KCV, Дж/см ² , при температуре, °С	
					-20	-40
Фокс Цель, Э46 (E6010)	495	425	26	66	65	—
Флитвелд 5П+, Э46 (E6010)	520	410	29	67	72	46
Пайпвелд 6010, Э42 (E6010)	450	360	30	58	45	30
Пайпвелд 7010, Э50 (E7010)	565	435	25	57	48	27
Тиссен Цель 70, Э46 (E6010)	505	385	25	61	25	13

ваться только электроды диаметром 2,5 мм, при большей толщине — 3,0 и 3,2 мм.

Сварку корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием следует осуществлять методом «сверху-вниз» на постоянном токе обратной или прямой полярности от источников питания, имеющих специальные характеристики. Применение тока прямой полярности дуги позволяет уменьшить вероятность образования подрезов и исключить образование вытянутой поры в обратном валике.

Для труб диаметром 530 мм и выше с толщиной стенки более 7 мм при сварке корневого слоя шва следует использовать целлюлозные электроды диаметром 4,0 мм.

Сварку «горячего прохода» следует выполнять только на токе обратной полярности.

Значение силы тока при сварке зависит от конкретной марки и диаметра электрода, толщины стенки свариваемой трубы, пространственного положения при сварке и навыков сварщика.

Рекомендуемые значения сварочного тока для сварки корневого слоя шва и «горячего прохода» электродами с целлюлозным покрытием диаметром 4,0 мм представлены в табл. 9.

Техника манипулирования электродом при положении корневого слоя шва способом «сверху-вниз» предусматривает отсутствие колебательных движений при опирании «втулочки» электрода на свариваемые кромки. При этом в свариваемых кромок образуется отверстие (технологическое окно), соответствующее диаметру электродного стержня.

Скорость сварки должна быть максимально возможной (14...18 м/ч), позволяющей избежать прожогов и формировать валик шва над технологическим окном.

При правильном осуществлении процесса сварочная дуга проникает сквозь зазор между свариваемыми кромками таким образом, что газовый поток дуги и брызги шлака направлены внутрь трубы и видны с наружной поверхности, при этом обеспечивается сквозное проплавление свариваемых кромок.

Таблица 8. Значение силы тока при сварке корневого слоя шва электродами с основным видом покрытия

Диаметр электрода, мм	Пространственное положение		
	нижнее	вертикальное	потолочное
2,50	50...80	70...90	80...90
3,25	80...90	80...100	90...110

Угол наклона электрода при сварке должен быть близок к перпендикулярному к поверхности трубы в месте сварки (10°, рисунок). При этом легко формируется валик шва. При угле наклона свыше 10° образуется отверстие овальной формы большего размера, что приводит к нарушению процесса образования валика стабильного размера.

Для сварки корневого слоя целлюлозными электродами характерно образование зашлакованных подрезов по обеим сторонам шва. Валик шва с наружной стороны имеет значительное усиление по центру.

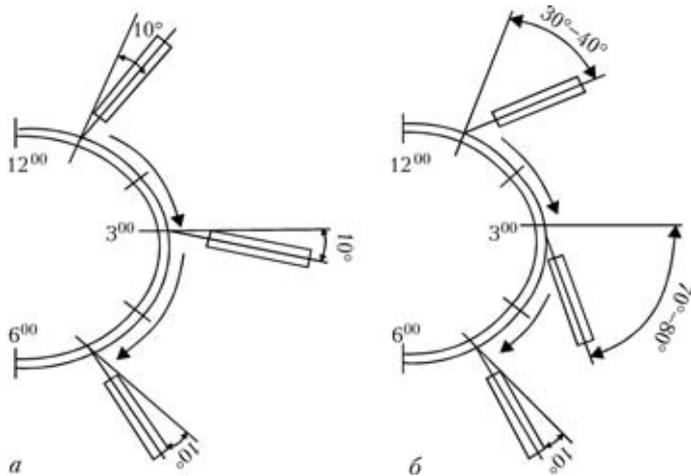
Для обеспечения надлежащего качества сварного шва после завершения сварки корневого слоя требуется шлифовка, раскрывающая зашлакованные подрезы (карманы) и снимающая чрезмерное усиление валика шва.

Сварка «горячего прохода» должна осуществляться не позднее 5 мин после окончания сварки корневого слоя. Это связано с тем, что для сварных швов, выполненных электродами с целлюлозным видом покрытия, характерно высокое содержание диффузионного водорода, увеличиваю-

Таблица 9. Режимы сварки электродами с покрытием целлюлозного вида

Марка электрода	Корневой слой		«Горячий проход»	
	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Род тока, полярность	Сварочный ток, А
Флитвелд 5П	= (+)	130...150	= (+)	150...170
Флитвелд 5П+	= (+)	120...140	= (+)	140...160
Тиссен Цель 70	= (+)	130...160	= (+)	170...190
Пайпвелд 6010	= (+)	120...140	= (+)	140...160
Фокс Цель	= (+)	120...150	= (+)	150...180

Примечание. (= +) — постоянный ток прямой (обратной) полярности.



Угол наклона электрода при сварке электродами с целлюлозным видом покрытия: а — корневой слой; б — «горячий проход»

шего опасность образования холодных трещин в металле шва и ЗТВ. В связи с высокой скоростью диффузии водорода в различные (потенциально опасные для зарождения трещин) участки металла ЗТВ диффузионно-подвижный водород необходимо в максимальной мере удалить из металла корневого слоя шва. Этому способствует выполнение «горячего прохода», который выполняется непосредственно после окончания сварки корневого слоя шва.

Таким образом, основной целью «горячего прохода» является удаление диффузионно-подвижного водорода из металла предыдущего слоя и выплавка шлака из карманов, раскрытых после шлифовки корневого слоя шва.

Особенность техники сварки «горячего прохода» состоит в следующем:

сварка должна выполняться на максимальных допустимых для конкретной марки электродов сварочном токе;

электрод не должен опираться на свариваемые кромки, а должен быть оторван от сварочной ванны, на короткое время погружаться в нее снова в месте нижней границы кратера;

в течение манипуляции, описанной выше, электроду придается вращательное движение при переменной длине дуги, позволяющее выплавить шлак из зоны сварки;

угол наклона электрода зависит от пространственного положения сварки и составляет в вертикальном положении 70...80 (3 ч), в горизонтальном 30...40 и в потолочном 10° (рисунок).

При правильной технике сварки «горячего прохода» сварщик легко выплавляет шлак из «раскрытых» при шлифовке корневого шва зашлакованных подрезов (карманов) и обеспечивает плоскую ровную поверхность шва для последующей сварки.

Основные дефекты, возникающие при сварке корневого слоя шва при сварке «горячего прохода» электродами с целлюлозным видом покрытия приведены в табл. 10.

Электроды, предназначенные для сварки заполняющих и облицовочного слоев, также должны отвечать специальным требованиям по сварочно-технологическим показателям, механическим свойствам соединений, производительности наплавки.

Из сварочно-технологических характеристик основными следует считать:

Таблица 10. Дефекты и причины их возникновения при сварке корневого слоя шва и «горячего прохода»

Дефект	Причины возникновения дефекта
Непровар по кромкам в корневом слое	Небольшой зазор между кромками Большое притупление Наличие смещения кромок Низкий ток Высокая скорость сварки
Подрез в корневом слое	Большой зазор между кромками Большой ток Слишком длинная дуга Неправильная техника сварки Неправильно выбранная полярность тока
Образование продольной плоскости в обратном валике (усадочные раковины)	Слишком мал зазор (дегазация затруднена интенсивным растворением наплавленного металла в металле основы) Слишком велик зазор между кромками
Шлаковые включения между корневым слоем и «горячим проходом»	Недостаточно сошлифовано усиление шва Остаток шлака в «карманах» Слишком низкий ток Неправильный угол наклона электрода
Пористость при сварке «горячего прохода»	Слишком большое усиление корневого слоя шва Остался шлак в «карманах» Слишком высокий ток Слишком длинная дуга

Таблица 11. Химический состав и механические свойства электродов с покрытием основного вида для сварки заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей повышенной прочности (3 группа)

Марка электрода, тип по ГОСТ (AWS)	Типичный химический состав наплавленного металла	Типичные механические свойства металла шва					
		σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	ψ , %	KCV , Дж/см ² , при температуре, °С	
						-20	-40
Кессель 5520 Мо, Э60 (E8018-A1)	0,08 С 1,2 Мн 0,3 Si 0,5 Мо	640	523	24	66	—	38
ОК 74.70, Э60 (E8016-03)	0,07 С 1,43 Мн 0,41 Si 0,38 Мо	625	525	27	72	79	51
Линкольн 18П, Э60 (E8018-0)	0,05 С 1,33 Мн 0,3 Si 0,77 Ni 0,32 Мо	645	535	27	71	85	66
Шварц 3К Мод, Э60 (E8015-A1)	0,08 С 1,20 Мн 0,30 Si 0,45 Мо	620	530	23	68	53	39

проплавляющую способность электродов и способность выплавлять дефекты предыдущего слоя;

производительность наплавки;

отделимость шлака;

мелкочешуйчатость шва;

технологичность электрода при сварке облицовочного слоя;

коэффициент разбрызгивания.

Основным требованием по механическим свойствам являются обеспечение равнопрочности металла шва с основным металлом. Это означает, что фактический предел прочности металла должен быть не ниже нормального временного значения прочности свариваемой трубной стали, обозначенного в соответствующих технических условиях на трубы или детали трубопроводов.

Дополнительным требованием является обеспечение требуемого уровня вязкости и пластичности металла шва, если к сварным соединениям конкретного нефтепровода таковые предъявляются. Данные по химическому составу наплавленного металла и механическим свойствам металла шва электродов с основным покрытием для сварки заполняющих и облицовочных слоев шва стыков труб из сталей повышенной прочности представлены в табл. 11.

Производительность наплавки электродов для сварки заполняющих слоев стыков труб из сталей

1-3 групп прочности для электродов диаметром 4,0 мм при сварочном токе 160 А составляет: 1,34 (ОК 53.70); 1,27 (Линкольн 16П); 1,45 (Феникс К50Р Мод); 1,54 (ОК 48.04). При токе 180 А: 1,50 (Кессель 5520Мо); 1,40 (ОК 74.70); 1,65 (Линкольн 18П); 1,50 (Шварц 3К Мод); 1,42 (ВСФ-65М).

Сварку заполняющих слоев следует осуществлять без перерывов. При этом необходимо контролировать межслойную температуру, которая должна находиться в пределах 20...120 °С. Послойную зачистку слоев следует осуществлять с помощью шлифовальных машинок с круглыми металлическими щетками. Облицовочный слой должен иметь усиление 1...3 мм. Ширина облицовочного слоя определяется шириной раскрытия кромок +1,0...1,5 мм перекрытия основного металла с каждой стороны.

Реализация представленных данных по выбору электродов для строительства и капитального ремонта магистральных нефтепроводов, реконструкций по особенностям их применения в сочетании с обязательной аттестацией сварщиков и жестким контролем качества соединений позволяет организациям АК «Транснефть» с высокой гарантией проводить безаварийную эксплуатацию нефтепроводов в России и за рубежом, способствует поднятию общего уровня трубопроводного строительства в России и СНГ.

Results of comparative tests of Russian and imported covered electrodes applied to repair of main oil pipelines are presented. Recommendations are given on application of the electrodes allowing for the experience gained at the Joint Stock Company «Transneft».

Поступила в редакцию 22.03.2006

Англо-український словник зварювальної термінології. Українсько-англійський словник зварювальної термінології / За ред. канд. техн. наук В. М. Бернадського. — Київ: Екотехнологія, 2005. — 256 с.

Двухязычный словарь терминов по сварке и родственным технологиям на украинском и английском языках подготовлен Институтом электросварки им. Е.О. Патона и Институтом украинского языка НАН Украины. Словарь состоит из двух самостоятельных разделов: «Англо-украинского словаря сварочной терминологии» и «Украинско-английского словаря сварочной терминологии». Англо-украинский раздел словаря содержит около 8000, а украинско-английский — 5000 простых и составных терминов, относящихся к сварке и родственным технологиям. Рассчитан на научных и инженерно-технических работников, переводчиков и специалистов информационных служб, аспирантов и студентов. Стоимость словаря — 40 грн. Для студентов по заявкам предоставляется скидка.



ПРИМЕНЕНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ)

А. М. ЖАДКЕВИЧ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Отмечены успехи в области создания технологий сварки, пайки, нанесения покрытий для восстановления изделий горячего тракта газотурбинных двигателей. Приведены причины, сдерживающие широкомасштабное внедрение новых технологий. Обоснованы перспективы организации ремонтных работ по восстановлению лопаток газоперекачивающих агрегатов в газовой отрасли СНГ.

Ключевые слова: пайка, сварка, нанесение покрытий, лопатки турбин, литейные сплавы, дефекты литья и эксплуатации, восстановительный ремонт, новые технологии, экономическая эффективность, перспективы применения

В последней трети прошлого столетия научно-технический прогресс был неразрывно связан с разработкой и созданием новой техники в различных областях промышленности: авиакосмической, судостроительной, энергетической, машиностроительной, электронной, приборостроительной и пр. То время характеризуется разработкой и внедрением в производство технологических процессов и оборудования для пайки различных металлических материалов, керамики, стекла, графита, алмазов, полупроводников и других материалов. Технологические возможности пайки огромны. Этим способом можно получать неразъемные соединения в самых различных сочетаниях без существенного изменения их исходных структур и физических свойств, с возможностью одновременного соединения нескольких узлов и деталей сложной геометрической формы со значительной протяженностью паяных швов, в том числе и в труднодоступных местах. Высокая производительность и низкая себестоимость по сравнению с другими способами соединения ставят технологический процесс пайки в разряд перспективных, экономически выгодных и конкурентоспособных процессов [1–6]. Несмотря на эти преимущества, пайка не заняла надлежащего места в технологиях создания изделий новой техники из-за недостаточно полной оценки возможностей. К недостаткам пайки обычно относят пониженную прочность паяного шва, по сравнению со сварным, необходимость тщательной подгонки соединяемых поверхностей, использование в припоях дорогостоящих металлов и низкую коррозионную стойкость шва по отношению к основному металлу. К объективным недостаткам, тормозящим широкомасштабное внедрение пай-

ки, следует отнести отсутствие специализированных предприятий, производящих материалы и оборудование для пайки.

Разработанные в последние два десятилетия новые марки припоев на основе никеля обеспечивают коррозионную стойкость паяных соединений на уровне основного металла. Применение пайки под давлением и специальных видов термообработки позволяют обеспечить прочность соединения, удовлетворяющую условиям эксплуатации [7–9].

Существенный вклад в развитие и внедрение пайки в производство и ремонтные технологии изделий горячего тракта газотурбинных двигателей (ГТД) внесли ученые и специалисты научно-исследовательских институтов, турбо-, двигателестроительных объединений и предприятий, авиационных и судостроительных КБ, высших технических заведений, а в последние годы и предприятий газовой отрасли [9]. Ряд предприятий и организаций на протяжении 30 лет были и являются лидерами в разработке и внедрении новых технологических процессов, материалов и оборудования для пайки изделий в турбостроении и в ремонтном производстве.

Особо следует отметить большой вклад ученых и специалистов ФГУП «ВИАМ», РТТУ «МАТИ» им. К. Э. Циолковского, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НПО «Техномаш», ИЭС им. Е. О. Патона, НУК им. Адмирала Макарова, ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, ФГУПП МПП «Салют», ГП НПКГ «Заря-Машпроект», ОАО НИАТ, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ОАО «Силовые машины», ОАО «А. Люлька-Сатурн», ОАО «СНТК им. Н. Д. Кузнецова» и др. Результаты научно-исследовательских, проектно-конструкторских и прикладных работ, выполненных в этих организациях в направлениях разработки новейших технологий пайки для авиационной, ракетной и машиностроительной техники, нанесения защитных покрытий и восстановления деталей турбин пайкой, широко

известны и используются на производстве не только в Украине и в России, но и в странах дальнего зарубежья [10].

В 1984 г. в ИЭС им. Е. О. Патона был пущен в эксплуатацию Опытный завод специальной электрометаллургии (завод новых технологий), в состав которого, кроме цехов электрошлаковой и ионно-плазменной технологии, вошли в строй цеха электронно-лучевой технологии — сварки и напыления. Инициатором, идейным и научным руководителем создания этого предприятия [11] в системе Академии наук УССР был академик Б. Е. Патон, научными руководителями отдельных технологических направлений — академики Б. А. Мовчан, Б. И. Медовар, Д. А. Дудко и д-р техн. наук О. К. Назаренко, избранный в 1992 г. членом-корреспондентом Национальной академии наук Украины.

За период 1985–1992 гг. заводом был выполнен большой объем работ по электронно-лучевой сварке блоков лопаток ГТД и агрегатов, восстановлены десятки тысяч лопаток ГТД после их плановой наработки в процессе эксплуатации. Применение специальной термической обработки и нанесение защитных жаростойких покрытий, осаждаемых из паровой фазы в вакууме из сплавов на основе никеля и кобальта с добавками алюминия, хрома и иттрия, позволили в несколько раз повысить ресурс эксплуатации лопаток многих сотен ГТД, агрегатов, компрессоров и энергетических турбин.

В процессе эксплуатации ГТД наиболее подвержены выходу из строя лопатки турбин. Основной причиной этого является усталостное разрушение и нарушение геометрических размеров и формы лопаток, работающих в условиях высоких температур, при агрессивном воздействии продуктов сгорания топлива и высокотемпературной газовой (сульфидно-оксидной) коррозии [12]. Несмотря на использование при изготовлении лопаток дисперсно-твердеющих литейных сплавов на никелевой основе, ресурс эксплуатации турбины ограничен предельным расчетным сроком эксплуатации, обусловленным процессами старения оборудования в результате накопления уста-

лостных повреждений в конструкционных материалах. Процесс старения состоит обычно из двух стадий. Первая связана с накоплением обратимых явлений и характеризуется постепенным изменением свойств материала, а вторая — с протеканием необратимых повреждений, приводящих к ускоренному разрушению материала [5, 9, 12, 13].

Усталостное разрушение наиболее ответственных деталей ГТД — лопаток — возникает из-за погрешностей механической обработки, монтажа и сборки; воздействия не учтенных расчетом изгибных и крутящих переменных нагрузок; износа и коррозии металла. В процессе ремонта рабочих лопаток ГТД решаются две основные задачи: восстановление геометрической формы (размеров) лопатки и структуры (прочностных свойств) материала лопатки.

В табл. 1 с учетом данных [14] представлена упрощенная классификация основных технологий (с учетом уровня сложности), применяемых при ремонте лопаток.

Восстановление деталей горячего тракта ГТД пайкой является перспективным и ресурсосберегающим процессом [9, 15–17]. Экономическая эффективность применения пайки в технологиях изготовления и ремонта деталей горячего тракта ГТД была доказана опытом работы передовых отечественных и зарубежных турбо-, двигателестроительных компаний и предприятий во второй половине 1970-х годов. В то время на многих предприятиях было организовано ремонтное производство для устранения дефектов на литых лопатках ГТД и восстановления изношенных в процессе эксплуатации форм и размеров изделий горячего тракта авиационных турбин: лопаток, контактных поверхностей бандажных полок, сопловых агрегатов, колец сотовых уплотнений, герметизации знаковых отверстий и т. п. [15–20].

Устранение дефектов литья и эксплуатации на изделиях ГТД из деформируемых никелевых жаропрочных сплавов не вызывает трудностей. Для этого применяют АДС с использованием присадочных проволок, близких по химическому составу основному металлу [21, 22].

Таблица 1. Классификация основных технологий, применяемых при ремонте лопаток

Уровень сложности	Вид ремонта	
	Восстановление геометрических размеров	Восстановление структуры металла и прочностных свойств лопатки
I	Наварка в местах утонений и полочек, устранение мелких дефектов аргонодуговой сваркой (АДС)	Термообработка в атмосфере (отжиг)
II	Пайка в вакууме Микроплазменная сварка Аргонодуговая сварка Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) Нанесение жаростойких покрытий	Термопластическое упрочнение Ультразвуковое упрочнение Гидродробеструйное упрочнение Термообработка в вакууме или защитных средах Горячее изостатическое прессование (ГИП) Металлографический контроль



При восстановлении изделий ГТД из дисперсно-твердеющих сплавов на никелевой основе с суммарным содержанием алюминия и титана свыше 5 % наиболее распространенным технологическим процессом ремонта является высокотемпературная пайка с нагревом в вакууме при контролируемой атмосфере [15, 19, 20]. Эта технология позволяет обеспечить дальнейшую эксплуатацию большого количества дорогостоящих изделий ГТД различного назначения. Структурные превращения в жаропрочных литейных сплавах на никелевой основе происходят при температуре 1225...1260 °С с изменением не только исходной структуры, но и эксплуатационных характеристик изделий. В связи с этим использование пайки с локальным нагревом (1170...1220 °С) дает возможность минимизировать влияние термического воздействия на основной металл [8, 9, 16, 20, 22–24].

Восстановительный ремонт лопаток ГТД позволяет продлить срок службы и сохранить в допустимых пределах базовые технические характеристики турбины — мощность и коэффициент полезного действия. По данным работы [14], с некоторыми допущениями можно провести оцен-

ку экономической эффективности восстановительного ремонта лопаток турбин с использованием показателей: $C_{\text{рем}}$ — стоимость ремонта; $\Delta T_{\text{рем}}$ — увеличение срока службы (ресурса) в результате проведения ремонта; $C_{\text{пр}}$ — суммарная стоимость программы поставки лопаток при проведении ремонта; $C_{\text{п}}$ — суммарная стоимость программы поставки лопаток без ремонта; $T_{\text{рес}}$ — назначенный ресурс лопатки; $C_{\text{нл}}$ — стоимость новой лопатки; $\Delta T_{\text{рем}}/T_{\text{рес}}$ — относительное увеличение службы лопаток после ремонта.

Условие $C_{\text{пр}}/C_{\text{п}} < 1$ ограничивает область, в которой ремонт лопаток будет давать экономический эффект. Отношение $C_{\text{рем}}/C_{\text{нл}}$ не должно превышать относительного увеличения срока службы $\Delta T_{\text{рем}}/T_{\text{рес}}$, обусловленного проведением ремонта. Если срок службы лопаток увеличивается на 20 % по отношению к назначенному ресурсу новой лопатки, то стоимость ресурса не должна превышать 20 % стоимости новой лопатки. В противном случае ремонт будет стоить дороже приобретения новой лопатки [14].

Таблица 2. Технологические возможности предприятий авиационной промышленности

Перечень технологий	СП «Альстон Пауэр Унитурбо», г. С.-Петербург	ОАО «А. Люлька-Сатурн», г. Москва	ФГУП ММП «Салют», г. Москва	ОАО «УМ-ПО», г. Уфа	ОАО «МПЗ», г. Пермь	СП «Пратт и Уитни-Патон», г. Киев	ОАО «СНТК», г. Самара	ГП НПКГ «Заря-Машпроект», г. Николаев	ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье	ОАО «Силовые машины», г. С.-Петербург
Очистка										
ультразвуковая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
пескоструйная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Термообработка										
ГИП	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
в вакууме	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
в среде инертного газа	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сварка, пайка										
АДС	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
микроплазменная	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+
ЭЛС	+	–	+	+	–	+	+	+	+	+
пайка в вакууме	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Нанесение покрытия										
диффузионное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
электронно-лучевое испарение и осаждение в вакууме	+	–	–	–	–	+	+	+	–	–
плазменное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
электронное	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+
Упрочнение										
термопластическое	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+
ультразвуковое	–	–	–	–	–	+	+	+	+	–
гидродробеструйное	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+

В настоящее время предприятия авиационного, энергетического и судового турбо-, двигателестроения располагают технологиями восстановления структуры металла и геометрических размеров лопаток. Эти технологии были разработаны с участием предприятий и отраслевых институтов, базирующихся на результатах обширных исследований и испытаний. Ремонтная технология, успешно применяемая около трети столетия, предусматривает устранение дефектов структуры металла, приобретенных в процессе эксплуатации и существенных повреждений (более 25 % площади пера лопатки).

Данные о технологических возможностях предприятий авиационной, энергетической и судостроительной промышленности по ремонту лопаток ГТД приведены в табл. 2.

Высокоэффективные и прогрессивные технологии продления ресурса работы за счет восстановительного ремонта высоконагруженных деталей и узлов горячего тракта авиационных и судовых ГТД с использованием пайки подробно изложены в работах [7–13, 15–20, 22–24].

Используя богатый научный, исследовательский, экспериментальный и промышленный потенциал на рынке авиационного и судового турбо-, двигателестроения, передовые компании и предприятия Rolls Royce, Boeing, General Electric, Pratt&Whitney, ФГУП ММПП «Салют», ГП НПКГ «Заря-Машпроект», ОАО «Рыбинские моторы», ОАО «Уфимское машиностроительное производственное объединение», ОАО «СНТК имени Н. Д. Кузнецова», ОАО «Авиадвигатель», ОАО «Мотор Сич», ОАО «ПМЗ», ОАО «А. Люлька-Сатурн», ЗМКБ «Прогресс» имени А. Г. Ивченко («Ивченко-Прогресс») и другие начали успешно работать по конверсионной программе создания комплексов ГТД для энергетической и нефтегазовой отраслей [25–28].

В настоящее время газоперекачивающий комплекс стран СНГ имеет в эксплуатации несколько сотен турбин стационарных газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Общее количество рабочих лопаток турбин стационарных ГПА только в ОАО «Газпром» превышает 205 тыс. шт. Средняя годовая потребность в лопатках, заменяемых в ходе ремонтно-технического обслуживания, достигает около 30 тыс. шт. Стоимость лопаток в общем объеме ежегодных поставок запасных частей для ГПА составляет примерно третью часть. В эксплуатации только в ОАО «Газпром» находится более 105 установок ГКТ-25И производства итальянской компании «Nuovo Pignone». Нарботка 75 % этих газотурбинных компрессоров к началу текущего столетия составила 70...80 тыс. ч, что существенно превышает предельный расчетный срок эксплуатации — 50 тыс. ч [29].

При эксплуатации лопаток газотурбинных компрессоров (ГТК) в результате эрозионного воздействия среды происходит частичное или полное удаление с рабочей поверхности лопатки защитных покрытий, что влечет за собой ускорение процессов коррозии рабочих и направляющих лопаток с нулевой по третью степень, поворотных лопаток входного направляющего агрегата и направляющих лопаток последних ступеней (16-й и 17-й).

Основным видом износа компрессорных лопаток является питтинговая коррозия, приводящая в процессе эксплуатации к «язвинам» и «оспинам» на поверхности лопаток и разупрочнению поверхностного слоя, что является опасным с точки зрения усталостной прочности в околословной части пера лопатки.

Приведенные выше примеры состояния дел с эксплуатируемыми в ОАО «Газпром» лопатками ГПА и ГТК говорят о том, что своевременное и правильное проведение системы ремонтно-восстановительных работ первого и второго уровня сложности (см. табл. 1) может вернуть к повторной эксплуатации значительное количество дорогостоящих лопаток турбин и получить внушительный экономический эффект за счет снижения объемов поставки новых лопаток. Очистка лопаток после эксплуатации, проведение термообработки, сварки и пайки, нанесение защитных покрытий и упрочнение лопаток позволяют при затратах на ремонт от 20 до 30 % стоимости новых лопаток увеличить ресурс эксплуатации восстановленных лопаток до 70 %.

Выполненный анализ [14] производственных возможностей ремонтных предприятий дочерних газотранспортных предприятий показал, что в настоящее время они располагают технологиями, производственными мощностями и оборудованием для проведения работ первого уровня сложности. Кроме того, на этих предприятиях производится шлифование, полирование и фрезерование поверхности лопаток, имеется входной люминисцентный контроль и замер твердости, а также развеска лопаток.

Несмотря на то, что вот уже более 20 лет технология сварки и пайки для ремонта лопаток ГПА и ГТК стала использоваться в газовой отрасли, проведение ремонта второго уровня сложности вызывает и сейчас большие трудности. Серьезным недостатком в организации ремонта является «обезличивание» лопаток ремонтных комплектов с потерей информации о суммарной наработке и количестве ранее выполненных ремонтов, а также ограниченные возможности ремонтных предприятий обеспечить надлежащий уровень восстановления прочностных свойств металла [30]. Вследствие этого нередки случаи аварий, связанных с разрушением отремонтированных лопаток. Про-



Таблица 3. Технологические возможности специализированных предприятий «Газпрома» в части проведения ремонта

Вид ремонтных работ	Перечень технологических операций	«Турборемонт», г. Брянск	«Ротор», г. Камышин, Волгоградской обл.	«Турбодеталь», г. Наро-Фоминск, Московской обл.	Щекинский завод РТО, г. Щекино, Московской обл.	ПТУ «Самарагазэнергоремонт», г. Самара	ПРТЛ «Газэнергосервис», пгт. Боярка, Киевской обл.
Восстановление структуры металла	Термообработка						
	ГИП	+	–	–	–	–	–
	ТО в вакууме	+	+	+	+	–	–
	ТО в защитной среде (аргон)	+	+	+	+	+	–
	ТО в атмосфере	+	+	+	+	+	+
	Поверхностное упрочнение						
	ультразвуковое	+	–	–	–	–	–
гидродробеструйное	+	+	+	+	+	+	
Восстановление геометрических размеров	АДС	+	+	+	+	+	+
	АДС в камере	+	–	–	–	–	–
	микроплазменная	+	–	–	–	+	+
	пайка в вакууме	+	+	–	+	–	–

ведение сравнительно простого ремонта рабочих лопаток должно быть сосредоточено на дочерних предприятиях газовой промышленности, а для ремонта второго уровня сложности требуется внедрение более сложных технологий и дорогостоящего оборудования, которое целесообразно сконцентрировать на базовых специализированных предприятиях Газпрома и Трансгаза России, Украины, Туркмении и Узбекистана.

Технологические возможности с учетом данных [14] специализированных предприятий Газпрома в части проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ указаны в табл. 3.

Внедрение прогрессивных технологий восстановительного ремонта лопаток газоперекачивающих турбин требует разработки и осуществления ряда технических и организационных мероприятий в газовой отрасли стран СНГ [14], в том числе:

разработки условий и критериев для принятия решений о месте проведения ремонта лопаток в части допустимых дефектов формы (размеров) с учетом суммарной наработки лопаток и количества предшествующих ремонтов;

введения специальных паспортов (формуляров) на лопатки для ремонтных и сборных комплектов с указанием суммарной наработки, количества ремонтов и видов проведенных ремонтов;

установление ремонтного фонда лопаток на специализированных предприятиях с обеспечением качества при приемлемой стоимости восстановительного ремонта;

обоснования технико-экономической целесообразности восстановительного ремонта лопаток турбин и создание специализированных предприятий по восстановительному ремонту лопаток, об-

ладающих технологиями и оборудованием для сложного ремонта, включая и восстановление структуры металла.

Газовая отрасль является экономически стабильной и успешно развивающейся отраслью. Создание инновационных проектов по ремонту деталей, узлов и конструкций газотурбинных двигателей считается весьма эффективным делом. Практика инновационной деятельности показывает, что наиболее распространенным видом национальных и региональных инновационно-технологических центров в газовой отрасли могут стать региональные заводы по ремонту ГТД, центры нововведений, технологические инкубаторы, инновационно-консалтинговые центры и технопарки. Центры передачи инноваций должны оказывать содействие в приобретении технологии, выполнять технологический аудит, помощь в заключении технологического партнерства, предоставлять консультации по управлению и финансированию предприятия [31]. Передача инноваций — это подача систематизированных знаний для выпуска и применения современных наукоемких технологий в ремонтном производстве.

Выводы

1. Авиационные, судовые и энергетические турбо-, двигателестроительные предприятия оснащены необходимым оборудованием и технологиями восстановления изделий горячего тракта ГТД.

2. Отсутствие предприятий, выпускающих оборудование и припои, сдерживает широкомасштабное внедрение высокоэффективной технологии пайки для восстановительного ремонта лопаток после их эксплуатации.

3. Газовая отрасль стран СНГ должна иметь широкую сеть ремонтных дочерних предприятий, обладающих возможностями проводить ремонты лопаток первого уровня сложности. Более сложные ремонты лопаток, связанные с использованием сварки, пайки, термообработки и упрочнения должны осуществляться на региональных специализированных предприятиях газовой отрасли, оснащенных необходимым оборудованием, технологиями и высококвалифицированными кадрами.

4. Конверсионная программа использования авиационных ГТД в энергетике и газовой отрасли должна резко поднять качество, технологическую дисциплину и ответственность исполнителей за выполненные ремонтно-восстановительные работы.

5. Инновационная деятельность в ремонтном производстве газовой отрасли позволит оснастить региональные и дочерние предприятия необходимыми высокими технологиями и оборудованием и получить большой экономический эффект от внедрения в промышленность.

1. *Машиностроение*. Энциклопедия / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 2002. — Т. IV.6, Оборудование для сварки. — С. 443–465.
2. *То же*. 2006. — Т. III-4, Технология сварки, пайки и резки. — С. 324–340.
3. *Пайка*. Опыт, искусство, наука: Сб. докл. науч.-техн. конф. за 1967–2002 гг. / Составители: В. П. Фролов, В. П. Плавун, И. Ю. Маркина, И. И. Ильина. — М.: Альфа Доминанта, 2005. — Т. 1. — 239 с.
4. *Космос*: Технологии, материаловедение, конструкции: Сб. науч. тр. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — С. 257–276.
5. *Квасницкий В. Ф.* Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении. — Л.: Судостроение, 1986. — 224 с.
6. *Хорунов В. Ф.* Пайка: достижения и перспективы // Автомат. сварка. — 1998. — № 11. — С. 51–53.
7. *Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Иванченко В. Г.* Разработка припоев для пайки жаропрочных сплавов на основе никеля и титана // Там же. — 2004. — № 9. — С. 27–32.
8. *Хорунов В. Ф., Кудашев А. В.* Пайка под давлением высокотемпературных сталей и жаропрочных сплавов // Материалы и технологии пайки: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — С. 14–17.
9. *Жадкевич А. М.* Пайка дефектов лопаток авиационных и судовых турбин — прогрессивная технология продления их ресурса (Ретроспективный анализ состояния и перспективы развития) // Современ. электрометаллургия. — 2005. — № 1. — С. 38–45.
10. *Жадкевич А. М.* К 45-летию комитета пайки секции сварки ЦП НТО «Машпром» // Автомат. сварка. — 2006. — № 2. — С. 65–67.
11. *Жадкевич М. Л.* ОЗ СЭМ — база МНТК «ИЭС им. Е. О. Патона» по ускорению внедрения в промышленность новейших технологий специальной металлургии // Спец. электрометаллургия. — 1989. — Вып. 67. — С. 42–51.
12. *Жаропрочность* литейных никелевых сплавов и их защита от окисления / Б. Е. Патон, Г. Б. Строганов, С. Т. Кишкин и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
13. *Высокотемпературная* коррозия и применение покрытий для защиты лопаточного агрегата ГТУ / В. И. Ники-

- тин, И. П. Комисарова, Б. А. Мовчан, И. С. Малащенко // Энергомашиностроение. — 1981. — № 9. — С. 44–52.
14. *Организация* и экономическая эффективность ремонта рабочих лопаток турбин стационарных ГПА / С. Жданов, А. Хороших, Б. Грабовский и др. // Газотурбин. технологии. — 2001. — Июль-август. — С. 24–26.
 15. *Ключников И. П., Гейкин В. А.* Ремонт высоконагруженных деталей и узлов горячего тракта ГТД методом высокотемпературной пайки // Пайка. Современные технологии, материалы, конструкции. — М.: ЦРДЗ, 2001. — Сб. 2. — С. 19–24.
 16. *Неровный В. М., Ямпольский В. М., Рогов Р. М.* Ремонт газовых турбин дуговой пайкой в вакууме // Энергомашиностроение. — 1989. — № 2. — С. 22–24.
 17. *Корниенко А. Н., Жадкевич А. М.* Состояние и проблемы пайки для ремонта лопаток газотурбинных двигателей // Заготовительное производство в машиностроении. — 2005. — № 9. — С. 9–12.
 18. *Ключников И. П.* Ремонт деталей и узлов газотурбинных двигателей методом высокотемпературной пайки с локальным нагревом // Пайка и создание изделий современной техники. — М.: ЦРДЗ, 1997. — С. 151–155.
 19. *Ямпольский В. М., Неровный В. М.* Упрочнение и восстановление лопаток газотурбинных двигателей пайкой // Тр. МВТУ им. Н. Э. Баумана. — 1981. — № 383. — С. 72–78.
 20. *Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Самохин С. М.* Пайка современных и перспективных жаропрочных материалов для газотурбостроения // Тр. IV сессии Научного совета по новым материалам МААН «Проблемы современного материаловедения». — Киев-Гомель: ИММС АН Белоруси, 2000. — С. 77–81.
 21. *Характер* образования горячих трещин при сварке литых жаропрочных сплавов / К. А. Ющенко, В. С. Савченко, Н. О. Червяков, Н. В. Звягинцева // Автомат. сварка. — 2004. — № 8. — С. 35–40.
 22. *Квасницкий В. Ф.* Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении // Там же. — 1985. — № 6. — С. 26–30.
 23. *Жадкевич А. М.* Прогрессивные технологии пайки для ремонта газотурбинных двигателей // Пробл. металлургии, сварки и материаловедения. — 2005. — № 4. — С. 9–17.
 24. *Орлов А. В., Березников Ю. П., Самонова Т. С.* Ремонт газовых турбин методом дуговой пайки // Энергомашиностроение. — 1984. — № 2. — С. 33–34.
 25. *Зинченко Г., Морзунов Е.* Талант, умноженный на дерзость, труд и упорство // Газотурбин. технологии. — 2003. — № 2. — С. 30–32.
 26. *Глина О., Тюржкова-Матвеева Д.* Pratt&Whitney — всегда там, где мы нужны // Там же. — С. 38–40.
 27. *Муравченко А.* Модернизация газотурбинных двигателей «Ивченко-Прогресс» для энергетических установок // Там же. — 2004. — № 2. — С. 52–54.
 28. *Богуслаев В.* Газотурбинные установки ОАО «МоторСич» для энергетики и нефтегазового комплекса // Там же. — 2003. — № 6. — С. 46–47.
 29. *Настоящее* и будущее российского турбостроения: Обзор ОАО «А. Льюлька-Сатурн» // Там же. — 1999. — № 1. — С. 34.
 30. *Иванов Ю., Кузменко М., Михайлов А.* Термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов // Там же. — 2003. — № 1. — С. 51–53.
 31. *Бернадский В. Н.* Особенности инновационного процесса в создании и трансфере высоких технологий // Обзор. информ. ИЭС. — 2006. — № 1. — 19 с.

Advances in the development of welding, brazing and coating technologies for repair of components of the hot section of gas turbine engines are noted. Causes of restriction of wide-scale application of a new technology are considered. Wide prospects for arrangement of repair operations to recondition of blades of gas-pumping plants in the gas industry of the CIS countries are substantiated.



ЭКРАНИРУЮЩИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

А. П. МУРАШОВ, канд. техн. наук, **И. А. ДЕМЬЯНОВ**, **А. И. ДЕМЬЯНОВ**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

А. П. ПРОВОЗИН, **Г. Т. СОЛДАТЕНКО**, инженеры (ЦТЗИ «Барьер», ОАО «НИИ ЭМП», г. Киев)

Разработан метод создания экранирующих покрытий на элементах оргтехники (персональном компьютере) путем нанесения комбинированных покрытий, получаемых газотермическим напылением и последующей пропиткой. Экранирующие газотермические покрытия обеспечивают существенное снижение уровня электромагнитных излучений.

Ключевые слова: экранирующие покрытия, газотермическое напыление, электромагнитное излучение, напряженность электромагнитного поля, защита информации, биологическая защита

Персональные компьютеры (ПК), а также другие средства оргтехники, содержащие перерабатывающие, передающие, принимающие технические устройства, характеризуются электромагнитными излучениями и наводками, создаваемыми работающими составными частями ПК. Существует возможность средствами современной высокочувствительной аппаратуры перехватывать и расшифровывать речевую, цифровую, телевизионную и прочую информацию, которую перерабатывают ПК, каналы связи и другие технические средства с расстояния от нескольких до сотен метров [1]. Еще одним существенным недостатком большинства используемых средств переработки информации является возможность с помощью внешнего направленного мощного электромагнитного излучения (импульса) исказить, уничтожить информацию или даже вывести из строя последних. В связи с этим возникает необходимость применять различные меры по защите средств оргтехники от несанкционированного съема информации или возможного внешнего воздействия.

Существующие средства оргтехники, в том числе зарубежные, не отвечают требованиям защиты информации. В случае использования импортных технических средств вопрос усложняется еще и тем, что они могут иметь вмонтированные устройства: радиомикрофоны, другие элементы, позволяющие несанкционированно снимать информацию. Кроме того, электромагнитные излучения, создаваемые работающими средствами оргтехники, оказывают неблагоприятное воздействие на обслуживающий персонал.

Для защиты ПК, предотвращения возможности внешнего воздействия используются специально

выделенные защищенные помещения либо на средства оргтехники устанавливаются защитный металлический корпус.

Учитывая, что в последние десятилетия применение оргтехники резко возросло, а корпуса ПК и многих других средств связи изготавливаются в основном из полимерных материалов, надежным техническим способом их защиты является применение экранирования в виде местного или общего внутреннего металлического покрытия без изменения внешнего вида изделия.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология газотермического напыления покрытий, экранирующих высоко- и низкочастотные излучения работающих узлов и блоков ПК. Такое решение позволяет осуществить защиту как вновь разрабатываемых, так и уже работающих ПК, независимо от их геометрии, размеров, внутренней конфигурации. При этом автоматически решается вопрос защиты пользователя от воздействия электромагнитного излучения собственного ПК.

Сложностью поставленной задачи являлось необходимость нанесения покрытий на пластмассовые материалы толщиной 0,5...2 мм, имеющие поверхности с различной кривизной, полуоткрытые, с элементами, затрудняющими ведение процесса нанесения покрытий. Для решения этой задачи были проработаны приемы и выбраны параметры проведения операций подготовки и напыления покрытий, позволяющие получать покрытия с достаточной прочностью сцепления с пластмассой при отсутствии видимой деформации последней.

Технология получения покрытий предусматривает струйно-абразивную подготовку поверхности, нанесение подслоя и последующее нанесение основного функционального двухслойного покрытия толщиной 100...200 мкм из материалов на основе меди и железа, нанесение пропитывающего слоя.

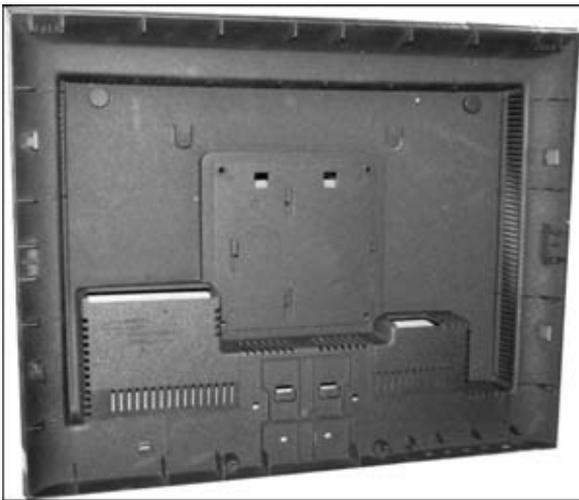


Рис. 1. Внешний вид задней панели дисплея 17" с защитным покрытием

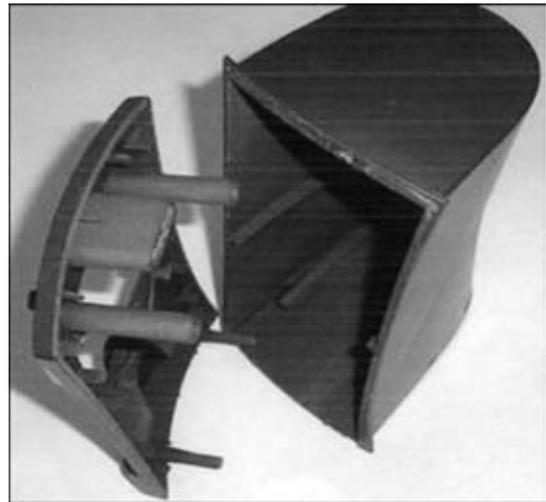


Рис. 2. Элементы звуковой колонки с внутренним экранирующим покрытием

Подготовку поверхности проводили с использованием порошка электрокорунда нормального с размером частиц до 0,6 мм при давлении сжатого воздуха не более 0,3 МПа. На подготовленную поверхность способом электродуговой металлизации наносили подслой из цинка толщиной до 50 мкм, затем напыляли основной слой. Указанный способ напыления выбран в связи с его минимальным тепловым воздействием на изделие, высокими прочностными свойствами покрытий. Максимальный ток напыления не превышал 100 А, а дистанция напыления составляла не менее 300 мм. Прочность сцепления покрытия с основой, определенная клеевой методикой, составляла в среднем 5 МПа. После пропитки сцепление покрытия с пластмассовой поверхностью увеличивалось до 7 МПа. В качестве пропитывающего средства использовали кремнийорганический лак с добавкой порошка сплава «Амотек-1», разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона. Такая операция, кроме увеличения прочности сцепления с основой, снижает опасность отделения частиц покрытия при эксплуатации компьютера и попадания их в зону работы составных частей ПК. По указанной технологии получены защитные покрытия на внутренних поверхностях элементов ПК — передней панели системного блока, дисплея, клавиатуре, мышке, принтере, звуковых колонках, корпусе вставного накопителя ЖМД. На рис. 1, 2 показаны задняя панель дисплея и звуковая колонка с защитным покрытием.

Испытания эффективности экранирования (ЭЭ) этих элементов проведены по стандартной методике «Методика контроля эффективности защиты средств ЭВТ» в режимах тестирования соответствующих составных частей ПК с использованием селективных нановольтметра, микровольтметра SMV-11 и SMV 8,5, электрической антенны-шара АЭ-1, магнитной антенны АМ-2,

активной антенны АИЗ-3 [2]. Определяли напряженность электрического и магнитного полей, излучаемых составными частями ПК — дисплеем, накопителем ЖМД, системным блоком НГМД, клавиатурой сигналов в диапазоне частоты сигналов от 0 до 1000 МГц.

Измерения проводили дважды: тестирование исходного ПК до и после нанесения покрытия на составные части ПК, экранирования и фильтрации соединительных кабелей. Результаты измерения приведены в таблице.

Значения напряженности ЭМП, создаваемого составными частями ПК в процессе работы

Составная часть ПК	Частота, мГц	Напряженность, дБ	
		до нанесения покрытий	после нанесения покрытий
Дисплей	12,6	11	7
	114	10	6,5
	164	8,5	3,5
Корпус накопителя ЖМД	1,50	47	4,5
	2,16	55	5,3
	3,12	51	5,4
Системный блок НГМД	4,52	47	4
	5,32	47	0,5
	270	22	5,5
Клавиатура	0,01	1,0	—
	0,02	1,2	—
	0,05	5,0	3
	0,10	10	6
	0,20	15	10
	0,50	21	16
	1,00	26	24
	5,00	43	41
	8,00	50	—
10,00	50	—	

Примечание. ЭЭ оценивали как разность значений напряженности ЭМП до и после нанесения покрытий. Для клавиатуры приведены данные измерения напряженности ЭМП: в строке «до нанесения покрытий» ЭЭ определяли на краях измеренного образца (дно клавиатуры), в строке после нанесения покрытий — в центре образца. Поскольку образцы имеют поверхность сложной формы, оценить ЭЭ не представляется возможным.



Эксплуатационные испытания ПК в защищенном варианте показали, что полученные параметры по технике защиты информации существенно снижают возможность несанкционированного считывания ее за счет значительного уменьшения уровня электромагнитных излучений. При этом достижение такого эффекта получено без изменения внешнего вида ПК, оперативный доступ к нему и его составным частям не ухудшился, оперативное управление функциями ПК не усложнилось.

Применение технологии газотермического напыления барьерных покрытий для экранирования

A method was developed for deposition of screening coatings on office equipment elements (personal computer) by applying combined coatings produced by thermal spraying and subsequent impregnation. Screening thermal coatings ensure an essential lowering of the level of electromagnetic radiation.

Поступила в редакцию 20.12.2005

НОВОСТИ

ПРОЦЕСС «ЛУЧ ЛАЗЕРА ПЛЮС ТРИ ДУГИ» — ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРКИ

Исследователи и конструкторы фирмы «Fronius» в рамках инновационной программы предложили новый процесс, который объединяет два испытанных и проверенных процесса — гибридную лазерно-дуговую сварку и сварку двумя последовательно расположенными дугами TIME (сварка дугой прямого действия плавящимся электродом в ионизированных защитных газах с высокой плотностью энергии) с цифровым управлением. При сварке толстолистовой стали синергетический эффект достигается благодаря совместному использованию луча лазера и трех дуг, что значительно

повышает производительность наплавки, производительность всего процесса в целом. К числу других практических преимуществ относятся также экономия времени и капиталовложений, расширение возможностей удержания сварочной ванны и улучшение внешнего вида швов.

Сварщикам, работающим в области судостроения, машиностроения, производства тары, строительства трубопроводов и железнодорожного транспорта, часто приходится соединять листовые металлы толщиной от 6 до 10 мм. В условиях жесткой конкуренции на мировом рынке основное значение имеют критерии качества и экономические преимущества. Совместное применение гибридного процесса лазерной сварки МИГ/МАГ и дуговой сварки двумя последовательно располо-

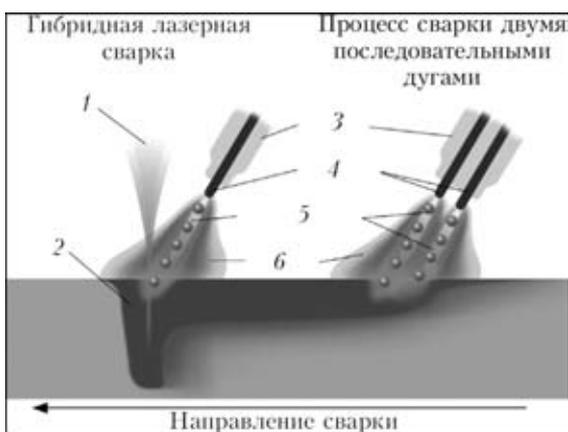


Рис. 1. Гибридная лазерная сварка МИГ/МАГ + сварка двумя последовательными дугами (на материал воздействуют луч лазера и три дуги): 1 — луч лазера; 2 — зона сплавления; 3 — газовое сопло; 4 — электроды; 5 — импульсные дуги; 6 — защитный газ



Рис. 2. Сварочный модуль (инструмент) для осуществления гибридной лазерной сварки МИГ/МАГ + сварка двумя последовательными дугами



женными дугами с цифровым управлением соединяет в себе преимущества нескольких процессов. Если ранее специалисты-сварщики должны были выбирать между высокой скоростью сварки и возможностью хорошего заполнения зазора, сегодня они могут получить и то и другое. Первым используется гибридный процесс лазерной сварки и сварки одной дугой, благодаря чему образуется глубокая сварочная ванна с получением швов с характерным высоким коэффициентом формы шва (отношением глубины шва к его ширине). Это создает прекрасные условия для проплавления корня шва. Непосредственно за ним следует двухдуговая сварка TIME, дополнительно обеспечивающая типичную для этого процесса высокую производительность наплавки. В зависимости от типа соединения — одно- или многослойного происходит частичное или полное заполнение разделки наплавленным металлом.

Кроме собственно луча лазера, используются три дуги. Они горят в двух сварочных ваннах, расположенных одна за другой. Что же касается двухдугового процесса TIME, то он может работать вместе с лазером в единой сварочной ванне. В зависимости от применения этот модульный и гибкий процесс можно использовать или с лазером, или с одной или двумя дугами. Это позволяет соединять листы из высоколегированной конструкционной стали или стали с мелкозернистой структурой с использованием двух процессов, но с помощью одного инструмента или одного сварочного модуля. Повышенное качество и внешне более привлекательный «мягкий» перенос металла дают более высокие результаты, так как давление дуги распределяется на две или три дуги. Основные преимущества для пользователей включают повышение производительности и снижение капитальных расходов по сравнению с традиционными процессами. Кроме того, дополнительная гибкость процесса обеспечивает расширение области применений.

Технология ремонта и восстановления наплавкой трением с перемешиванием плит кристаллизаторов из меди и ее сплавов

Сварка трением с перемешиванием (СТП) разработана Британским институтом сварки в 1991 г. и относится к твердофазным способам соединения с использованием трения. Она применяется во многих областях промышленности для сварки медных сплавов, например, при изготовлении медных контейнеров для хранения ядерных отходов или медных подкладок (разновидность теплоотводов).

На основе СТП в ИЭС им. Е. О. Патона была разработана технология наплавки трением с перемешиванием (НТП) с целью восстановления плит

кристаллизаторов для непрерывного разлива стали. Наплавляемая деталь и присадочный материал в виде пластины закрепляются с помощью прижимов. Вращающийся рабочий инструмент вводится в соприкосновение с присадочной пластиной до упора. От трения инструмента генерируется тепло, необходимое для «опластичивания» присадочного материала и части металла изделия. При перемещении инструмента образуется нахлесточный шов. Последовательное наложение таких швов с перекрытием позволяет полностью восстановить деталь.

К основным параметрам процесса НТП относятся:

- скорость вращения и перемещения инструмента;
- усиление прижатия;
- размеры инструмента.

Твердость металла зоны перемешивания на 10 % выше, чем основного металла. Деформации, вызванные сварочными напряжениями, отсутствуют.

При наплавке трением с перемешиванием меди и ее сплавов получают швы высокого качества, без наличия дефектов и неоднородностей в зоне перемешивания. Разработанный метод НТП меди позволяет производить наплавку бескислородной меди без окисления с сохранением исходной теплопроводности.

Указанный способ также позволяет упрочнять новые и восстанавливаемые поверхности кристаллизаторов наплавкой износостойкой бронзы типа БРХ и БРХЦ.

НТП выполняют на специально приспособленных металлообрабатывающих станках с помощью головки, шпиндель которой вращается с регулируемой скоростью от электродвигателя мощностью 30 кВт.

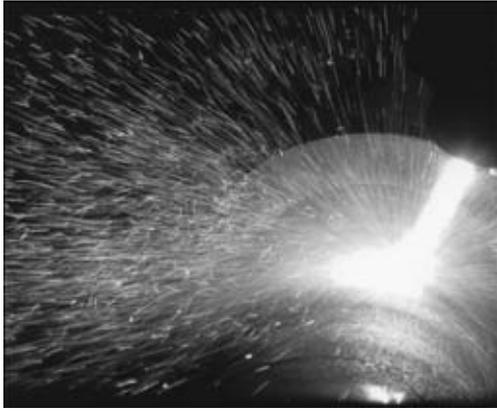
Сварочный инструмент изготавливают из жаропрочного материала, размеры и конфигурация которого зависят от толщины наплавляемого слоя.

Плазменно-дуговое напыление износостойких покрытий на изделие типа «вал»

Восстановление валов багерных насосов, роторов электродвигателей, коленвалов, шеек осей колесных пар в странах СНГ обычно производится методом электродуговой металлизации покрытий из проволоки.

Метод основан на распылении воздухом металла, оплавленного электрической дугой двух проволок из стали. Широкое распространение метода сдерживается недостаточной плотностью напыленного слоя и его окисленностью.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона разработана новая технология и оборудование плазменной металлизации износостойких и дру-



гих покрытий на стальные и чугунные валы и изделия типа «вал».

Технология напыления износостойкого покрытия основана на распылении плазменной дугой токоведущей проволоки-анода, служащей исходным материалом для образования слоя покрытия, и одновременно активации напыляемого слоя специальным устройством.

Технические характеристики

Мощность плазмотрона, кВт, не более	24
Производительность напыления, кг/ч	4...8
Диаметр распыляемой проволоки, мм	1,2...1,8
Рабочий ток плазмотрона, А	160...300
Рабочее напряжение дуги, В	60...80
Расход плазмообразующего газа (аргон), м ³ /ч	1,0...1,5
Расход охлаждающего плазмотрон сжатого воздуха, м ³ /ч	16...20
Давление сжатого воздуха, Па	5...7

Преимущества данной технологии восстановления шеек осей и валов:

- процесс напыления не снижает прочностных свойств восстанавливаемой детали (нагрев изделия не более 200 °С);
- отсутствие деформации восстановленной детали;
- сцепление покрытия с деталью превышает 50 Нм·м;
- покрытие можно наносить толщиной до 15...20 мм с пористостью, не превышающей 2...5 %;
- высокая стабильность процесса напыления (ресурс формирующей плазменной дуги сопла и катода не менее 100 ч машинного времени);
- охлаждение плазмотрона осуществляется воздухом.

Комплект плазменного оборудования включает головку плазменной металлизации с активационным устройством, пульт управления, шкаф управления с блоком газоподготовки, источник питания и камеру мокрой очистки с вентилирующим устройством и вращатель, приспособление

для перемещения плазменного устройства шумопоглощающей камерой.

Восстановлению подлежат детали, вышедшие из строя по причине износа (нарушения геометрических размеров или других дефектов, не снижающие их прочностных свойств надежности).

Опыт применения технологии напыления коррозионностойких металлизационных покрытий из Al, Zn и их сплавов на крупногабаритные конструкции

Для нанесения антикоррозионных покрытий Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработано мобильное оборудование, с использованием которого в течение нескольких лет выполнены работы по защите от коррозии ряда крупнейших промышленных объектов таких, как:

- несущие продольные балки Воздухофлотского путепровода в г. Киеве (600 м² Zn-Al покрытия);
- ортотропная плита Южного моста через р. Днепр в г. Киеве (10000 м² Zn-Al покрытия);
- резервуары для хранения авиационного топлива;
- металлоконструкции гидротехнического оборудования для ГЭС в г. Аль-Вахда, Марокко (24000 м² Zn-Al покрытия);
- дымовые трубы районных тепловых станций на Чеховском заводе «Гидросталь» (40000 м² Zn покрытия) и др.

На ряде объектов, где условия эксплуатации способствуют развитию высокотемпературной и химической коррозии, были нанесены Ni-Cr-Mo-покрытия. К таким объектам в первую очередь нужно отнести дымовую трубу Углегорской ГРЭС высотой 320 м, диаметром 4,4 м и топку котла тепловой станции на Измаильском картонно-бумажном комбинате.

Как правило, нанесение антикоррозионных покрытий на крупногабаритные конструкции предполагает работы на монтаже, что связано с проблемами электробезопасности и сложностью с доставкой напыляемого материала и энергоноси-





телей к месту напыления. Исходя из условий работы и требований заказчика, накоплен опыт по использованию различных способов и оборудования по газотермическому напылению (газопламенное, электродуговое, плазменное).

Наиболее надежной и работоспособной показала себя эксклюзивная установка газопламенного напыления УГПН-005, которая позволяет качественно наносить покрытия согласно ГОСТ 9.304–87 «Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля» и ГОСТ 28302–89 «Покрытия газотермические из цинка и алюминия металлических конструкций. Общие требования к типовому технологическому процессу».

При газопламенном напылении источником тепловой энергии является пламя, образующееся в результате горения смеси кислород — горючий газ. При движении напыляемых частиц в факеле происходит их непрерывный нагрев. Пройдя факел, частицы в расплавленном (размягченном) состоянии попадают на поверхность основы, где происходит механическое сцепление с неровностями поверхности.

Предел прочности сцепления покрытия с основой достигает 25...30 Н/мм².

Технические характеристики установки

Грануляция порошковых материалов, мкм	0,040...0,200
Расход горючих газов, л/мин (пропан-бутан)	20,0...30,0
Расход кислорода, л/мин	30,0...60,0
Расход порошков, кг/ч	2,0...15,0
Расход сжатого воздуха, л/мин	20,0...50,0
Масса установки, кг	30

Электронно-лучевой переплав быстрорежущей стали

В НПП "ТЕКОНТ" разработана промышленная технология электронно-лучевого переплава быстрорежущей стали. При этом в качестве исходной шихты используются отходы инструментального производства и отработанный инструмент. Технологический процесс проводится по схеме электронно-лучевого переплава с промежуточной емкостью (ЭППЕ).

Использование электронно-лучевого переплава с промежуточной емкостью исключает необходимость изготовления расходоуемого электрода. Рафинирование быстрорежущей стали в вакууме при переплаве, высокая гомогенность химического и фазового состава по всему сечению слитков, высокая дисперсность структуры позволяют исключить из технологического цикла производства инструмента операции термомеханической обработки (ковки) и использовать полученные слитки для изготовления инструмента из них сразу после отжига.



Рис. 1. Внешний вид сляба 140×160 мм и цилиндрического слитка диаметром 70 мм из быстрорежущей стали Р6М5 ЭППЕ



Рис. 2. Режущий инструмент из быстрорежущей стали Р6М5 ЭППЕ

Размеры выплавляемых слитков из быстрорежущей стали ЭППЕ:

цилиндрические:

- диаметр — от 60 до 150 мм
- длина — до 1900 мм

слябы:

- сечение — 140×160 мм
- длина — до 1900 мм

Windows Vista – новая операционная система

На вторую половину 2006 г. готовится к выпуску линейка из шести основных версий **Vista**.

Vista Starter — базовая операционная система (будет поставляться в развивающиеся страны)

Home Basic — для тех, кто пользуется компьютером для подготовки документов, работы с интернетом и электронной почтой

Home Premium — в нее будут включены средства для создания видео и записи телепередач





Vista Business — полнофункциональная операционная система (аналог XP Professional)

Vista Enterprise — будет дополнительно содержать средства безопасности, шифрования данных и систему запуска Unix-приложений

Vista Ultimate — объединяет функции Vista Home и Vista Enterprise (ориентированная на владельцев мелкого и среднего бизнеса).

Новая операционная система предъявляет высокие требования к производительности компьютера, что позволяет предполагать необходимость замены существующего парка персональных компьютеров на более мощные для установки **Windows Vista**.

Подготовлено редакцией журнала

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины С. М. Теслевич (КП «Запорожский титано-магниевого комбинат») защитил 15 марта 2006 г. кандидатскую диссертацию на тему «Новые технологии и оборудование для получения титановой губки и переплавки ее в слиток».

В диссертации рассмотрены вопросы решения задачи повышения качества губчатого титана и его переплава, а также создания принципиально новой установки получения губчатого титана с цикловым съемом 3,8 т в сравнении с 0,87 т/цикл, действующей в промышленном производстве Украины.

Разработана методика многократного увеличения скорости реакции восстановления титана из его тетрахлорида магнием на периодически обновляемой поверхности титансодержащего расплава.

Определены температурные параметры для беспрепятственной транспортировки продуктов реакции восстановления титана по паропроводу из реторты-восстановления в реторту-конденсатор.

На основании комплекса теплотехнических и инженерно-технологических исследований для нового аппарата разработаны новые технологии восстановления титана из тетрахлорида титана магнием и вакуумной сепарации, образующейся в процессе восстановления реакционной массы с получением губчатого титана высших сортов.

Проведены всесторонние исследования получения высококачественного губчатого титана на лабораторных и опытных установках. Определены условия управляемого удаления остаточного хлора при вакуумной сепарации губчатого титана. Проведена экспериментальная проверка распределения примесных элементов по объему блока губчатого титана массой до 3,8 т. Показано, что содержанием водорода в газовой фазе над расплавом и в выплавленном слитке можно управлять изме-

нением параметров плавки, расходом инертного газа, скоростью вытягивания слитка, содержанием хлора в губчатом титане и т. д.

Впервые разработана новая технология выплавки слитков из губчатого титана с повышенным (0,08...0,45 мас. %) содержанием хлора. Она включает первый переplав губчатого титана в индукционной печи с секционным кристаллизатором, в результате которой удаляется избыточный хлор, а второй переplав может быть выполнен в вакуумно-дуговых, электронно-лучевых и плазменно-дуговых печах, для уменьшения количества водорода до требований ГОСТ 19807–91.

Губчатый титан нового качества, полученный в большегрузных аппаратах восстановления и сепарации, переplавлялся на вакуумно-дуговой печи ВД-11. Получены слитки массой 5 т диаметром 780 мм, отвечающие по всем параметрам требованиям существующих стандартов для сплава марки ВТ1-0.

Наряду с разработкой промышленного производства слитков из губчатого титана нового качества были проведены эксперименты по изготовлению фасонных титановых отливок с применением комбинированного расходоуемого электрода, состоящего из двух пресованных и одной литой заготовок в реконструированных литейных гарнисажных печах с неводоохлаждаемым титановым тиглем новой конструкции.



В. В. Головки (ИЭС) защитил 29 марта 2006 г. докторскую диссертацию на тему «Взаимодействие металла со шлаком при сварке под агломерированными флюсами низколегируемых сталей».

Диссертация посвящена исследованиям термодинами-

ческих и кинетических зависимостей взаимодействия металла со шлаком при сварке под агломерированными флюсами низко-



легированных сталей, построению на их базе моделей, позволяющих прогнозировать структуру и свойства металла сварочных швов.

Изучено влияние изменения кислородного потенциала агломерированных флюсов в широких пределах на формирование неметаллических включений. Исходя из результатов исследований, создана интегрированная физико-химическая модель образования неметаллических включений в металле сварных швов. Модель описывает процессы роста и конденсирования неметаллической фазы в сварочной ванне и в области твердого состояния металла шва. Разработана компьютерная программа, проведены расчеты состава и количества неметаллических включений с учетом термодинамики и кинетики металлургических реакций, протекающих в шлаковой и металлической фазах, а также изменений технологических параметров процесса сварки.

Определен диапазон значений кислородного потенциала флюсов, при использовании которых в металле швов образуются неметаллические включения, способствующие формированию определенных структурных составляющих металла шва.

Показано, что использование агломерированных флюсов позволяет осуществлять направленное легирование твердого раствора металла швов, управлять их структурой и свойствами.

Предложены сочетания флюсов и проволоки, которые обеспечивают дозированное легирование твердого раствора титаном, алюминием и получение механических свойств сварных швов на уровне основного металла.

Проведена оценка основных факторов, определяющих содержание водорода в металле швов при сварке под агломерированными флюсами. Для получения сверхнизких содержаний водорода в металле швов низколегированных сталей (менее 3 см^3 на 100 г) предложены пути регулирования парциального давления кислорода и водорода над расплавом шлака и технология изготовления низководородных агломерированных флюсов.

Для прогнозирования составов агломерированных флюсов и механических свойств сварных швов созданы компьютерные программы. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования процессов взаимодействия металла со шлаком послужили научной базой разработки агломерированных флюсов АНК-57 и АНК-561 для сварки конструкций из низколегированных сталей. Составы флюсов оригинальны и запатентованы (Патенты Украины № 5156, 5157).

Результаты работы нашли промышленное применение и получили одобрение Российского Морского Регистра судоходства, Det Norske Veri-

tas и Lloyd's Register для изготовления конструкций общего судостроения.



А. М. Жерносеков (ИСЭ) 12 апреля 2006 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Система автоматической стабилизации процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом».

Диссертация посвящена созданию и исследованию систем автоматической стабилизации (САС) процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом (ИДСПЭ) материалов с различными теплофизическими свойствами в условиях действия возмущений.

Качество металла швов при ИДСПЭ существенно зависит от средних значений напряжения на дуге и сварочного тока, которые выбраны как регулируемые величины при разработке систем автоматической стабилизации параметров процесса.

Для сварки материалов с различными теплофизическими свойствами, например, углеродистых, низколегированных сталей или алюминиево-магниевого сплава в условиях действия возмущений, перспективным является применение впервые предложенных и реализованных двухканальных САС процесса ИДСПЭ с использованием обратных связей: для сталей — канала стабилизации среднего значения напряжения на дуге путем воздействия на частоту следования импульсов источника питания дуги и канала стабилизации среднего значения тока сварки с воздействием на скорость подачи электродной проволоки; для алюминиево-магниевого сплава — с использованием канала стабилизации среднего значения тока сварки при воздействии на частоту следования импульсов источника питания, а также канала стабилизации средних значений напряжения на дуге с воздействием на скорость подачи сварочной проволоки.

Разработанная математическая модель системы «источник питания дуги — дуга с плавящимся электродом — система автоматической стабилизации» с учетом нелинейностей теплофизических величин адекватно описывает электрические и энергетические параметры сварочного процесса и позволяет определить передаточные функции элементов системы и провести анализ устойчивости САС. Предложенная модель позволяет разрабатывать блоки, моделирующие электрическую дугу с плавящимся электродом, в математическом пакете компьютерных программ.

Экспериментально установлена эффективность двухканальных САС при ИДСПЭ сталей СтЗсп, сталь 25, 14Г2, 09Г2С или алюминиево-магниевого сплава АМг6, АМг6М в условиях



действия возмущений по вылету электродной проволоки, напряжению питающей сети, комплексному действию факторов возмущения. При сварке углеродистых, низколегированных сталей САС компенсируют напряжение на дуге, вызванное снижением напряжения питающей сети, устраняют возможные короткие замыкания и, как следствие, снижают разбрызгивание металла. Увеличение вылета сопровождается появлением на сталях закалочных структурных составляющих, а на алюминиево-магниевых сплавах — пор и макроструктурных неоднородностей в виде центрального кристаллита, что снижает качество сварных соединений. Применение САС позволяет получать механические свойства металла швов, выполненных при действии возмущений, на уровне свойств без возмущений, в том числе при ИДСПЭ конструкций ответственного назначения.

Системы автоматической стабилизации в виде отдельных блоков и плат перспективно использовать с серийными импульсными источниками питания дуги и механизмами подачи сварочной проволоки, что расширяет функциональные возможности оборудования для ИДСПЭ.



В. А. Берзоз (ИЭС) 19 апреля 2006 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка оборудования и технологии получения полых слитков большого диаметра из титановых сплавов методом электронно-лучевой плавки».

Диссертация посвящена разработке оборудования и технологии, а также технологических процессов изготовления нового класса полуфабрикатов из сплавов титана — полых слитков большого диаметра, которые в дальнейшем могут быть использованы для получения крупногабаритных труб. Потребность в таких коррозионностойких трубах заострилась на протяжении последнего десятилетия в связи с развитием прибрежной нефти и газодобычей.

Оптимизирована математическая модель переноса тепла в слитках ЭЛПЕ для случая с наличием центрального дорна. Определена зависимость глубины жидкой ванны и зоны двухфазного состояния от производительности процесса плавки. Установлено, что для полого слитка титанового спла-

ва Ti-6Al-4V Ø 600/200 мм существует критическая производительность плавки — 150 кг/ч, выше которой образуется глубокая (более 20 мм) ванна жидкого металла. В соответствии с проведенными расчетами определены оптимальные условия кристаллизации полого слитка титанового сплава Ti-6Al-4V Ø600/200 мм (мощность равномерного электронно-лучевого нагрева свободной поверхности слитка 120 кВт, производительность плавки 150 кг/ч), гарантирующие получение в слитке гомогенной равноосной структуры.

Оптимизирована математическая модель процесса удаления водорода при электронно-лучевой плавке с промежуточной емкостью для полых слитков с учетом уменьшения поверхности испарения в кристаллизаторе. Определена зависимость эффективности рафинирования от производительности плавки. Установлено, что в широком диапазоне производительности плавки (от 50 до 250 кг/ч) содержание водорода и алюминия в полых слитках удовлетворяет требованиям стандартов для марочных сплавов титана.

Результаты исследований технологических особенностей получения полых слитков позволили разработать оптимальные технологические режимы производства полого слитка большого диаметра (600 мм) из титановых сплавов методом ЭЛПЕ. Впервые в мире по разработанной технологии получен крупногабаритный полый слиток массой более 2000 кг из титанового сплава ВТ6 (Ti-6Al-4V) методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью. Технология получения титановых полых слитков методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью и применение электронно-лучевого оплавления их поверхности позволяет значительно снизить расход металла и сократить количество технологических операций. Для реализации способа получения титановых труб в промышленных масштабах была разработана электронно-лучевая установка УЭ5810, предназначенная для выплавки слитков титана максимальным диаметром 1200 мм, длиной 6000 мм.

С целью дальнейшего сокращения числа технологических операций и повышения выхода годного металла, предложен перспективный новый способ получения полых слитков в электронно-лучевых установках с промежуточной емкостью, позволяющий полностью исключить дорн из технологического процесса плавки.



ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Преобразователь универсальный мобильный сварочный, отличающийся тем, что снабжен модулем регулирования тока сварки, выполненном в виде двух регуляторов с общим датчиком и переключателем выбора способа регулирования тока сварки, один из которых — регулятор тока по частоте, а другой — регулятор тока по возмущению генератора, причем регулятор тока по частоте дополнительно снабжен блоком для задания и поддержки сварочного тока путем воздействия на регулирующий орган частоты вращения двигателя транспортного средства с помощью исполнительного электрического привода. Патент на Полезную модель 9944. П. С. Пикманов, В. Т. Пратасеня, А. В. Дабранский [10].

Устройство рециркуляции флюса сварочного автомата, отличающееся тем, что флюсоаппарат в верхней части присоединен к системе сжатого воздуха и снабжен пылеуловителем рукавного типа, разъемно закрепленный на трубке для выхода воздуха из флюсоаппарата в атмосферу, причем труба для высасывания флюса закреплена в верхней части флюсоаппарата и выполнена в виде гибкого рукава, оборудованного лейкой. Приведены и другие отличительные признаки. Патент на Полезную модель 9727. К. Г. Шердиц, Д. А. Белянский (ОАО «Главный специализированный КТИ») [10].

Линия производства компактных материалов в металлической оболочке, отличающаяся тем, что формовочные ролики выполнены с возможностью осевого и радиального перемещения и соединены с помощью сдвоенных шарнирных муфт с электрически дифференциальными приводами, которые вместе с наматывающим устройством подключены к преобразователю частоты с программным контроллером. Патент на Полезную модель 9985. Б. В. Гуленков, В. В. Ивашина, В. В. Климанчук и др. (ОАО «Мариупольский меткомбинат им. Ильича») [10].

Машина для прессовой сварки труб с нагревом дугой, управляемой магнитным полем, отличающаяся тем, что верхние плечи двухплечных грузов механизма сжатия соединены кривошипно-коленчатой передачей с гайкой, соединенной с винтом, закрепленным на корпусе как подвижного, так и неподвижного блоков. Патент 74192. С. И. Кучук-Яценко, В. Г. Кривенко, В. С. Качинский и др. (ИЦ сварки давлением НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона» НАН Украины) [11].

Мундштук газокислородного резака, отличающийся тем, что каждое сопло внутреннего контура дополнительно имеет канал, соединенный с кольцевой канавкой для подачи подогревающего кислорода, при этом диаметр канала, соединяющего сопло внутреннего контура с кольцевой канавкой для подачи подогревающего газа, больше диаметра канала, соединяющего это сопло внутреннего контура с кольцевой канавкой для подачи подогревающего кислорода. Патент на Полезную модель 10816. В. И. Скрипченко (ОАО «Главный специализированный КТИ») [11].

Токоподводящий наконечник для наплавки, отличающийся тем, что стенка корпуса охватывает внешний торец вклада

дыша в корпусе по окружности, диаметр которого составляет 1,5...1,7 диаметра сквозного отверстия. Патент на Полезную модель 10823. Д. А. Зареченский, Е. Т. Хоровец (То же) [11].

Преобразователь универсальный мобильный сварочный, отличающийся тем, что блок управления снабжен регулятором-стабилизатором, который состоит из функционально электрически связанных между собой инвертора напряжения, разделительного трансформатора, выпрямителя, фильтра, узла сравнения стабилизатора напряжения и узла гальванической развязки, узла сравнения схемы токовой защиты от перегрузки и короткого замыкания в цепи напряжения 110/220 В с задатчиком уровня токовой защиты генератора и задатчика уровня выходного напряжения и электрически связанных с генератором и аккумулятором. Патент на Полезную модель 10527. П. С. Пикмаков, В. Т. Пратасеня, А. В. Дабранский [11].

Способ изготовления крупногабаритных деталей методом сварки давлением, отличающийся тем, что на соединительной поверхности перед сборкой под сварку наносят слой дисперсных химических веществ, высушивают его, после чего выполняют сборку под сварку. Патент на Полезную модель 10432. В. М. Семенов, А. В. Жартовский, В. С. Кривунь (Донбасская машиностроительная академия) [11].

Способ изготовления порошкового электрода, отличающийся тем, что готовят смесь из терморасширяющегося вермикулярного графита и слоистого соединения терморасширения с низкой температурой деструкции и низким коэффициентом, с этой смеси изготавливают (штампуют) желоб толщиной 1/8...1/6 диаметра металлического желоба и закладывают его в металлический желоб, потом заполняют желоб подготовленной порошкоподобной смесью. Патент на Полезную модель 10233. П. А. Гавриш, И. В. Серов, В. В. Чигарев (То же) [11].

Способ изготовления покрытых электродов, отличающийся тем, что перед погружением электродов в емкость с галогенизированной многокомпонентной композицией дополнительно вводят экзотермическую смесь в количестве 35...50 мас. % массы гомогенизированной композиции. Патент на Полезную модель 10520. С. В. Бондарев, В. Д. Кассов, С. В. Жариков (То же) [11].

Состав порошковой проволоки, отличающийся тем, что состав стальной оболочки имеет следующее соотношение компонентов, мас. %: 0,02...0,08 углерода; 0,06...0,40 кремния; 0,50...1,80 марганца; остальное железо, в состав порошкообразного флюсового сердечника дополнительно введен фторид алюминия, карбонат кальция и алюмомагнийсодержащий сплав при следующем соотношении компонентов, мас. % от массы проволоки: 0,20...1,00 титана; 0,02...0,12 бора; 3,00...6,00 фторида кальция; 1,00...3,00 фторида натрия; 0,50...1,50 марганца; 0,30...0,50 хрома; 0,20...0,50 молибдена; 1,00...3,00 фторида алюминия; 1,00...3,00 карбоната кальция; 0,10...0,30 алюмомагнийсодержащего сплава, а соотношение массы титана к массе бора устанавливается при этом в пределах 5...14. Патент 74469. А. М. Алимов, А. А. Рыбаков, С. Ю. Бать и др. (ООО «Арксэл») [12].

* Приведены сведения о патентах Украины, опубликованных в официальном бюллетене «Промислова власність» за 2005 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



Экзотермический режущий элемент, состоящий из корпуса, в котором размещены технологическая экзотермическая смесь и зажигающий запал, отличающийся тем, что в экзотермической смеси выполнена выемка в форме параболоида вращения, в которой размещены запал и режущий элемент, оснащенный электроприводным сгорающим стержнем, размещенным в корпусе вдоль продольной оси, режущий элемент, оснащенный источником электрической энергии. Патент на Полезную модель 11021. Е. А. Ляпин, Г. Л. Вайсберг, Ю. Е. Ленкевич, Д. В. Римчук (Дочернее предприятие «Военизированная аварийно-спасательная (газоспасательная) служба «ЛИКВО» нефтегазовой промышленности) [12].

Порошковая проволока для подводной сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей на повышенных глубинах, отличающаяся тем, что шихта дополнительно содержит соль цезия при следующем соотношении компонентов, мас. %: 25...35 рутилового концентрата; 15...25 гематита; 5...15 ферромарганца; 5...15 соли цезия; 0,7...1,3 бихромата калия; остальное железо порошка. Патент на Полезную модель 10980. С. Ю. Максимов, В. С. Бут, А. А. Радзиевская и др. (Дочерняя компания «Укртрансгаз», Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины) [12].



По
зарубажным
журналам*

*BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA
w GLIWICACH (Польша), 2005. — Roc. 49, № 5 (пол. яз.)*

Hernandes G. Система ECA (EWF) для сертификации предприятий-изготовителей сварных изделий в области удовлетворения требований по качеству, охране окружающей среды и безопасности труда, с. 13–17.

Dilthey U. Прогресс в области технологии электронно-лучевой и лазерной сварки, с. 18–25.

Banasik M. et al. Лазерная сварка тонкостенных конструкций. Работы, ведущиеся в Институте сварки, с. 26–31.

Senkara J. Активизированные процессы соединения, с. 32–35.

Bernasovsky P. Ликвационные трещины в аустенитных нержавеющих сталях, с. 36–42.

Kralj S. et al. Современные технологии ремонта подводных конструкций, с. 45–49.

Barborka J. et al. Аргодуговая сварка и наплавка с подачей горячей проволоки, с. 50–57.

Nowacki I., Wypych A. Роботизированная наплавка низколегированных сталей суперсплавами на базе никеля, с. 58–65.

Adamiec P., Adamiec J. Проблемы при наплавке коррозионностойких слоев в энергетике, с. 66–68.

Klimpel A. et al. Роботизированная наплавка GMA порошковой керамикометаллической проволокой Ni-WC при колебательных движениях горелки, с. 71–76.

Kuczuk-Jacenko S. I., Czvertko P. N. Перспективы применения контактной стыковой сварки для соединения высокопрочных алюминиевых сплавов, с. 79–81.

Zdor G. N. et al. Экспериментальное изучение высокочастотных колебаний параметров процесса сварки, с. 84–86.

Keitel S., Schreiber S. Точечная сварка — состояние техники, обеспечение качества и обучение, с. 87–93.

Herold H. et al. Влияние азота в защитном газе на склонность к образованию горячих трещин в избранных жаростойких аустенитных сплавах на базе никеля, с. 94–98.

Herold H. et al. Избранные аспекты сварки тонкостенных конструкций из коррозионностойких высокопрочных сталей, с. 101–110.

Grundmann J. Качество, производительность и вытекающие из этого затраты при сварке углеродистых сталей в среде активных газов, с. 111–121.

Matz C. H. Защитный газ: товар или оптимизирующий инструмент?, с. 122–125.

Ambroziak A. et al. Применение ультразвуковых волн при оценке качества соединений при точечной сварке, с. 128–132.

Pietras A., Adamiec J. Сварка трением алюминия с медью способом FSW, с. 133–137.

Brozda J., Zeman M. Участие Института Сварки в исследованиях свариваемости жаропрочных сталей нового поко-

* 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).



ления — это существенный вклад в модернизацию отечественной энергетики, с. 138–149.

Pocica A., Nowak A. TIG и лазер при термической обработке чугунов, с. 150–153.

CHINA WELDING (Kumai) 2005. — Vol. 14, № 1 (англ. яз.)

Yinglong X. et al. 20-летнее сотрудничество между Китаем и Германией, а также развитие международного обучения и аттестации по сварке в Китае, с. 1–5.

Yinglong X. et al. Стимулирование международной гармонизации сертификации сварочных производств, с. 6–8.

Xiaosong F. et al. Лазерная высокотемпературная пайка присадочной проволокой оцинкованных стальных листов, с. 9–14.

Fuju Z. et al. Характеристика поверхности раздела и микроструктурное превращение в сварном соединении из стали 35CrMo при электроискровой наплавке, с. 15–18.

Xiaohong L. et al. Переходное диффузионное соединение в жидкой фазе монокристалла из суперсплава DD6, с. 19–23.

Zhenqing Z. et al. Низкотемпературное соединение алюминиевых сплавов LD31 путем нанесения никелевых или медных покрытий с помощью электрощетки, с. 24–28.

Xinjun P. et al. Исследование композиционных покрытий (TiC + Cr₃C₂)/Fe, нанесенных методом реактивной высокотемпературной пайки, с. 29–32.

Li Z. et al. Вязкость разрушения и оценка безопасности сварных соединений морского трубопровода из стали X65, с. 33–37.

Dobrocinski S., Kczynsk W. Моделирование при исследовании полей напряжений в сварных соединениях, с. 154–160.

Renpei L. et al. Влияние характеристики затвердевания аустенитной нержавеющей стали на склонность к образованию усадочных трещин, с. 38–43.

Changfu D. Влияние сурьмы на микроструктуру и характеристики сварного соединения из магниевого сплава AZ31, с. 44–47.

Chengyong M. et al. Определение микроструктуры и твердости ЗТВ в стали марки RPC 800МПа, с. 48–52.

Yu Sh. et al. Прецизионная система управления позиционером для роботизированной сварки, с. 53–57.

Zhongdian Zh. et al. Оценка эксплуатационных характеристик моделей мониторов качества при точечной сварке, с. 58–62.

Kaiyuan W. et al. Поправочный коэффициент, основанный на управлении напряжения на дуге с помощью модели нечеткой логики при импульсной сварке МИГ, с. 63–67.

Heqi L., Chunxu L. Исследование оптимальной системы управления для дугового напыления, с. 68–72.

Yuanxiang Zh. et al. Исследование герметичного сварного соединения между напорным трубопроводом и спиральной оболочкой, с. 73–79.

Changqing L. et al. Исследование скорости частиц в полете при сверхзвуковом плазменном напылении, с. 80–84.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2005. — Vol. 74, № 3 (яп. яз.)

Kokawa H. Техническая информация. Предисловие к специальному выпуску по сварке трением с перемешиванием, с. 3.

Park S. H. C. et al. Специальный выпуск для молодых специалистов. Микроструктура и свойства соединений нержавеющей аустенитной стали 304, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с. 4–8.

Ito T. et al. Микроструктура и механические свойства при комнатной температуре соединений алюминиевого сплава 7075, полученных сваркой трением с перемешиванием, с. 9–13.

Nakata K. Сварка трением с перемешиванием медных сплавов, с. 14–17.

Aritoshi M. Сварка трением с перемешиванием магниевых сплавов, с. 18–23.

Лекции по сварке TIG

Fujii H. Механизм соединения при сварке А-TIG и перспективной А-TIG (АА-TIG), с. 24–29.

Лекции для практикующих инженеров

Yokota Y. Разработка и применение газозлектрической сварки двумя электродами, с. 30–33.

Fujihira Sh. et al. Способ газозлектрической сварки 8-ю электродами трубчатых стальных колонн и мембран, с. 34–38.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2005. — Vol. 74, № 4 (яп. яз.)

Inoue Y. et al. Техническая информация. Предисловие к специальному выпуску по современным технологиям мониторинга крупногабаритных конструкций, с. 8.

Специальный выпуск

Современные технологии мониторинга крупногабаритных конструкций

Murayama H. Мониторинг конструкций с использованием оптоволоконных сенсоров, с. 9–12.

Enoki M. Применение акустической эмиссии в технологиях мониторинга, с. 13–16.

Ogawa K. Локальная информационная система ремонтпригодности с использованием б/у персональных компьютеров, с. 17–20.

Inoue K. et al. Способы повышения сейсмостойкости протяженных мостов, с. 21–24.

Лекции по повышению усталостной прочности при разработке новых сталей

Konda N. et al. Новая толстолистовая сталь, обладающая способностью к самоподавлению распространения усталостных трещин, и свойства ее сварных соединений, с. 25–28.

Лекции для практикующих инженеров

Yamamoto Y. Теоретические основы фазированных ультразвуковых решеток, с. 29–32.

Muragishi O. Диагностика усталостной долговечности стальных конструкций с помощью сенсоров усталостного разрушения, с. 33–36.

Takechi S. Новинка. Новый подход к передаче неявных знаний с помощью анализа и моделирования, с. 37–40.

Новости. Симпозиум по сварным конструкциям 2004 г., с. 41–43.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY 2005. — Vol. 74, № 5 (яп. яз.)

Новый почетный член. Японского сварочного общества, с. 3.

Призеры, с. 4.



Специальный выпуск

Основные направления развития сварки и соединения в Японии в 2004 г.

Деятельность в области сварки:

1. Японское сварочное общество, с. 51.
2. Японское сварочное инженерное общество, с. 52.
3. Промышленность, с. 53.
4. Международная деятельность, с. 54.
5. Образование и издательская деятельность, с. 55.

Сварочная наука

Сварочное материаловедение

1. Металлургия сварки черных материалов, с. 56–58.
2. Металлургия сварки цветных материалов, с. 59–61.
3. Разработка сварочных материалов, с. 62–63.
4. Сварка и соединение новых материалов, с. 64–65.

Процессы сварки и соединения и способы систематизации

1. Процессы дуговой сварки, с. 66–68.
 2. Обработка материалов высокоэнергетическими пучками, с. 69–71.
 3. Процесс соединения в твердой фазе, с. 72–79.
 4. Пайка, с. 80–82.
 5. Микросоединение в электронике, с. 83–86.
 6. Технологии модификации поверхности (нанесение покрытий, напыление, наплавка), с. 87–90.
 7. Склеивание, с. 91–92.
 8. Способы систематизации, с. 93–96.
- Оценка свойств сварных соединений
1. Оценка статистической прочности, с. 97–98.
 2. Оценка вязкости разрушения и характеристик разрушения, с. 99–100.
 3. Изучение усталостной прочности, с. 101–103.
 4. Оценка стойкости к внешним воздействиям, с. 104–105.

5. Оценка сварочных деформаций и остаточных напряжений, с. 106–109.

Деятельность научных комитетов

Научные комитеты

- Комитет** по сварным конструкциям, с. 110–111.
Комитет по способам сварки, с. 112–113.
Комитет по металлургии сварки, с. 114–115.
Комитет по усталостной прочности сварных соединений, с. 116–117.
Комитет по физике сварочной дуги, с. 117–119.
Комитет по обработке высокоэнергетическими пучками, с. 119–120.
Комитет по сварке легких конструкций, с. 120–122.
Комитет по микросоединению, с. 122–123.
Комитет по соединению по поверхности раздела, с. 124–125.

Деятельность специальных комитетов и подкомитетов
Специальный комитет по развитию сварки трением с перемешиванием, с. 126–128.

Подкомитет по повышению точности в автомобилестроении, с. 129.

Подкомитет по организации глобальных информационных сетей для молодых специалистов и ученых, с. 130–132.

Подкомитет по технике задания оптимальных режимов сварки, с. 133.

Подкомитет по высокоскоростным способам сварки тонких листов, с. 134.

Подкомитет по выбору параметров, определяющих качество сварки трением с перемешиванием, с. 135.

Обзоры

Asai S. Технологии слежения для сварки, с. 136–147.

Kanjo Y. СУпр/АСУпр в сварочных и производственных системах, с. 148–158.

PRACTICAL WELDING TODAY (CIIA) 2005. — Vol. 9, № 4 (англ. яз.)

Hensleu T., Nikodym A. Как лучше выбрать трубчатый электрод — основные факторы, с. 14–15.

Sperko W. J. Произвольный рентгеновский контроль, с. 16–20.

Vaughan S. Лазерная сварка в Сингапуре, с. 22–23.

Bell V. Предупреждение воспламенения при сварке, с. 24–25.

PRACTICAL WELDING TODAY (CIIA) 2005. — Vol. 9, № 5 (англ. яз.)

Szabo B. Как решения первого и второго порядка влияют на последовательность выполнения контактных швов, с. 8–10.

Uccellini J. Техника безопасности: объяснение и предупреждение обратного удара пламени при использовании кислородной горелки, с. 12–13.

Havrilla D. Ключ к успеху при лазерной сварке, с. 14–16.

Vaughan S. Организация экономического производства в вашем сварочном цеху, с. 18–20.

PRAKTIKER (Германия) 2005. — № 6 (нем. яз.)

Frank C. Ручная сварка Nd:YAG-лазером, Ч. 2. Значительные преимущества по сравнению с дуговой сваркой, с. 142–146.

Hahn O. et al. Оценка прочности клевого соединения с помощью клин-теста (Keiltest), с. 148–153.

Weigmann K. Продукты и услуги, с. 156–157.

Поддача порошка плотным потоком

Ручная система лазерной сварки

Концепция дуговой сварки.

Zszech R. Область действия и применения DIN 18 800-7:2002009 относительно квалификации производителей, с. 158–159.

Vogt M. et al. Полностью механизированная сварка МАГ сплавов магния, с. 160–163.

Oehmigen H.-G. Измерение внутренних напряжений в сварных конструкциях, с. 164–166.

PRAKTIKER (Германия) 2005. — № 7 (нем. яз.)

Blaschke T. et al. Экономичная сварка трением с перемешиванием легких конструкций, с. 172–174.

Szelagowski P. Мокрая сварка портовых конструкций, с. 176–179.

Rudolf H. et al. Новая методика испытаний для определения механической прочности тонкостенных соединений лист – полый профиль, с. 184–188.

Zwatz R. Конференция подкомитета ISO «Требования к аттестации персонала в области сварки и родственных процессов», с. 190–192.



НОВЫЕ КНИГИ

Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. — **Технология сварки, пайки и резки**. Т. III-4 / Ред.-сост. академик Б. Е. Патон; отв. ред. чл.-кор. РАН П. Н. Белянин. — 2006. — 768 с.; ил.

Машиностроительный комплекс является сердцевинной современной промышленного производства, определяющего темпы и уровень экономики ведущих стран мира. Развитие отраслей машиностроения и металлообработки тесно связано с применением прогрессивных технологий, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда, повышение качества продукции и в конечном счете ее конкурентоспособность. Среди основных технологий металлообработки доминирующее место занимает технология сварки. Сварка и родственные ей технологии по праву относятся к высокоинновационным технологическим процессам. В XX ст. сформировался мощный арсенал сварочных технологий, позволяющий получать неразъемные соединения или обрабатывать любые конструкционные материалы и их сочетания в различных условиях и средах. Если в предыдущие десятилетия применение сварки революционизировало производство, то ныне сварка является базовым, безальтернативным технологическим процессом в машиностроительных отраслях и строительстве. В настоящее время в развитых странах с применением сварочных технологий производится до половины и более национального продукта.

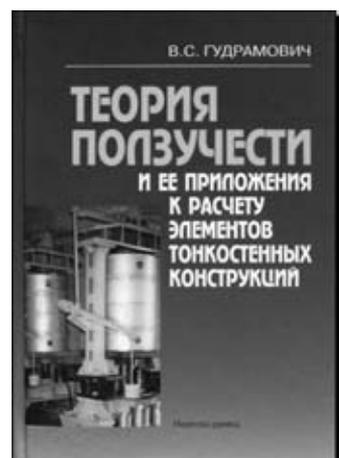
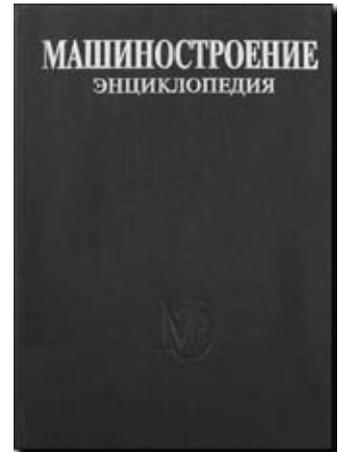
Следует отметить, что современное сварочное производство — это одна из наукоемких, межотраслевых составляющих мировой экономики, имеющая устойчивую динамику развития. Темпы развития сварочного производства, мирового и регионального рынков сварочной техники четко взаимосвязаны с темпами роста производства и потребления металлических материалов, в первую очередь, стали. Базой для высокого уровня сварочного производства являются фундаментальные и прикладные исследования и мощный научно-технический потенциал. Данный том энциклопедии включает обширный круг научно-технической информации по современным процессам сварки и таким родственным ей процессам, как резка, наплавка, нанесение покрытий. В нем представлены особенности технологий сварки и обработки различных конструкционных материалов, а также применяемых для этих целей оборудования, сварочных и присадочных материалов. В данном томе также отражены вопросы, связанные с повышением прочности и эксплуатационного ресурса сварных конструкций, технической диагностикой и неразрушающим контролем качества сварных соединений, экологическими аспектами и охраной труда при сварке.

Вышедшее в свет издание является уникальным как по широте и системности содержания, так и по новизне. Оно рассчитано на инженерно-технических работников: конструкторов, технологов, материаловедов, а также преподавателей и студентов высших учебных заведений.

Гудрамович В. С. Теория ползучести и ее приложения к расчету элементов тонкостенных конструкций. — Киев: Наук. думка, 2005.

В монографии приведены основные сведения по теории вязкоупругости и ползучести. Рассмотрены основные модели. Изложен принцип Вольтерра для решения задач наследственной упругости. Даны основные эмпирические зависимости для металлов. Приведены способы построения кривых релаксации для разных теорий ползучести. Даны основные сведения по кратковременной ползучести и по разрушению при ползучести и решения ряда задач теории установившейся ползучести (балки при изгибе, различные модели оболочек). Изучено выпучивание изотропных и подкрепленных цилиндрических оболочек в условиях ползучести. Исследовано влияние мгновенных пластических деформаций при разных историях нагружения на критическое время оболочек. Приведены некоторые данные экспериментальных исследований тонкостенных систем в условиях ползучести.

Для научных и инженерно-технических работников, специалистов в области механики деформируемых твердых тел и прочности конструкций.

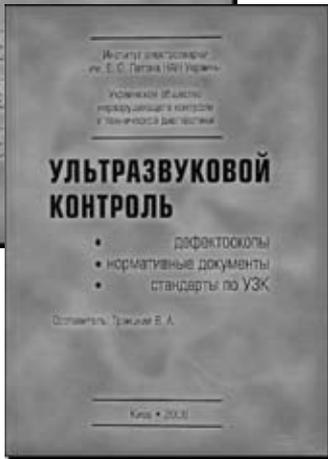




ТРОИЦКИЙ В. А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. — Киев: Феникс, 2006. — 320 с.



В пособии рассмотрены методы неразрушающего контроля (НК) и их классификация, изложены основные понятия и физические основы, приведены технические характеристики основных видов оборудования и вспомогательных средств для визуальной, ультразвуковой, радиационной, магнитной, капиллярной дефектоскопии и контроля герметичности. Классифицированы основные типы дефектов сварных соединений, выполненных дугowymi, контактными и другими способами сварки. Изложены вопросы статистической обработки результатов контроля, управления качеством сварки, примеры ведомственных норм на дефектность сварных соединений.



Приведены примеры использования средств НК в трубопроводном транспорте, в нефтегазовой и строительной промышленности, при производстве труб магистральных трубопроводов.

Книга дополнена справочными материалом, изложенным в приложении «Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК» / Сост. В. А. Троицкий. — Киев: Феникс, 2006. Методические рекомендации рассчитаны на инженерно-технических работников, дефектоскопистов и могут быть полезны студентам вузов.

КОРНИЕНКО А. Н. История сварки. XV — середина XX вв. — Киев: Феникс, 2004. — 212 с.

Книга посвящена истории возникновения и развития одной из ведущих технологий современного производства — сварки металлов. Собран и обобщен материал, охватывающий наиболее интересные и существенные этапы применения новых технологий соединения и их влияние на научно-технический прогресс. Показана роль выдающихся изобретателей разных стран, научных школ и предприятий, значение политических и экономических условий для создания изобретений. Кратко изложена сущность и возможности различных способов сварки.

Книга предназначена как для специалистов, имеющих дело со сварочным производством, так и для читателей, интересующихся историей. Однако эта монография имеет не только научно-познавательное значение. Обобщенный в ней исторический опыт может быть использован для прогнозирования, принятия решений о внедрении новейших разработок.





КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК В 2006 г. (СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ)

Дата	Место проведения	Название мероприятия	Организатор (адрес)
20–23.07	Нижний Новгород, Россия	10-я Международная выставка «Сварка-2006»	т. (8312) 775589 e-mail: levin@yarmarka.ru www.yarmarka.ru
28.06–01.07	Пекин, Китай	Международная выставка оборудования для сварки и резки металла	т. +8610/68595320 ф. +8610/68533613
06–10.08	Чикаго, Иллинойс, США	39-е собрание Международного металлографического общества	ASM Int. www.asminternational.org
27.08–02.09	Квебек, Канада	59-й конгресс МИС 11-й Международный симпозиум по трубчатым конструкциям	University of Toronto www.iiv2006.com
04–08.09	Лозанна, Швейцария	Молодежная конференция ЕВРОМАТ-2006	Немецкое общество материаловедения, Франкфурт, Германия e-mail: junior-euromat@fems.org
11–16.09	Севастополь, Крым, Украина	13-я Международная конференция «Машиностроение и техносфера 21-го века»	Донецкий нац. техн. ун-т т./ф. (062) 3050104 e-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua
19–21.09	Эссен, Германия	Конференция по сварочной технике	e-mail: tagung@dvs-hg.de
19–23.09	Штутгарт, Германия	Специализированная выставка технологий соединения и сварки материалов	т. +49711/25890 ф. +49711/2589440
20–22.09	Аахен, Германия	Конференция по сварочной технике	e-mail: tagung@dvs-hg.de
21–22.09	Эссен, Германия	Международная конференция и 6-я Международная ярмарка «Алюминий-2006»	Немецкое общество материаловедения, Франкфурт, Германия e-mail: aluminium@dgm.de www.dgm.de/aluminium
25–27.09	Грац, Австрия	8-й Международный семинар по математическому анализу в сварке	т. 43 (316) 873 43 04 ф. 43 (316) 873 71 87
26–28.09	Торонто, Канада	Специализированная выставка сварочного оборудования и технологий	т. +1416/4917565 ф. +1416/4917096
26–29.09	Вена, Австрия	15-й Международный конгресс по термо- и поверхностной обработке	Австрийское общество металлургии и материалов
05–06.10	Таллинн, Эстония	15-я Международная конференция прибалтийских стран «Конструкционные материалы и трибология»	e-mail: irhus@staff.ttu.ee, rihot@staff.ttu.ee
10–12.10	Челябинск, Россия	5-я Международная выставка «Металлообработка. Сварка. Станки и инструменты. Экология»	ВЦ «Восточные ворота» т/ф (351) 2637512, 2659180
17–20.10	Киев, Украина	Неделя украинской промышленности (сварка, обработка поверхности, прокат)	т. (044) 2519376, 2519184 e-mail: olga@welding.kiev.ua www.weldexpo.com.ua
25–28.10	Уфа, Россия	Международная специализированная выставка «Машиностроение. Сварка. Контроль. Реновация»	ВК «Башкартостан» т. (3472) 565180, 908710, ф. (3472) 908707 e-mail: info@bashexpo.ru
Ноябрь	Екатеринбург, Россия	Выставка «Сварка. НефтеГаз-2006»	Екатеринбург
07–10.11	Москва, Россия	Международная выставка «Экспосварка. Интеринструмент-2006»	Экспоцентр
07–10.11	Москва, Россия	6-я Международная специализированная выставка «Россварка/Weldex»	КВЦ «Сокольники» т./ф. (095) 1053442 e-mail: msa@mvk.ru
07–10.11	Тюмень, Россия	Выставка «Машиностроение, станки, инструмент, сварка»	Тюмень
12–16.11	Остин, Техас, США	32-й Международный симпозиум по испытаниям и анализу разрушений ISTFA-2006	ASM Int.
21–22.11	Бангкок, Таиланд	1-й конгресс МИС стран Юго-Восточной Азии	Институт сварки Таиланда т. 66 258 77 670 ф. 66 258 69 014 www.weldingcongress.in.th
28.11–01.12	Шанхай, Китай	Международная выставка подшипников в Китае	
28.11–01.12	Киев, Украина	V Международный промышленный форум-2006 с разделом «УкрСварка»	ЗАО «МВЦ» т. (044) 2011165, 2011156



НЕДЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

10–13 апреля 2006 г. в выставочном центре «КиевЭкспоПлаза» проходила уже традиционная «Неделя промышленных технологий», объединяющая ряд международных специализированных выставок (проекты компании «Евроиндекс»): «Элком Украина — энергетика, энергосбережение, электротехника» (соорганизатор — немецкая выставочная компания Fairtrade GmbH&Co.KG), «Промышленное освещение», «Электроника и промышленная автоматизация», «Насосы. Компрессоры. Арматура», «Изобретения и инновации», а также выставки «Сварка. Родственные технологии» и «Трубопроводный транспорт», организаторами которых выступили НТК «ИЭС им. Е. О. Патона», а поддержку оказали Общество сварщиков Украины, НАК «Нафтогаз України», Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики, Ассоциация промышленного арматуростроения Украины, Ассоциация производителей и строителей полимерных трубопроводов. Все выставки Недели промышленных технологий получили поддержку Украинского союза промышленников и предпринимателей.

Всего в рамках экспозиции «Недели промышленных технологий» приняли участие свыше 600 компаний и фирм (на 26 % больше по сравнению с 2005 г.) из 23 стран мира — Украины, Австрии, Беларуси, Бельгии, Греции, Дании, Италии, Китайской Народной Республики, Македонии, Молдовы, Нидерландов, Польши, России, Румынии, Словакии, Соединенных Штатов Америки, Турции, Федеративной Республики Германии, Финляндии, Франции, Чешской Республики, Швейцарии и Швеции. Большое число иностранных участников (22 % общего количества) подтверждает динамизм развития соответствующих отраслей, признание огромного научно-технического и промышленного потенциала Украины. Общая площадь выставок Недели выросла на 17 % и превысила 17500 кв.м.

Сварка. Родственные технологии-2006

В выставке «Сварка. Родственные технологии» приняли участие свыше 50 организаций и фирм из Украины, России, Германии, Турции, украинские представительства фирм Швеции, Австрии, Польши. Среди участников выставки ИЭС им. Е. О. Патона, его опытные заводы по производству сварочных материалов и оборудования, украинские предприятия КЗЭСО, фирма «СЭЛМА», «СимЗ», «ДОНМЕТ», «НАВКОТЕХ», «Коммунар» и др., российские — «ГРПЗ», «Межгосметиз». Продукцию европейских компаний представляли фирмы «Фрониус-Украина», «Костолин-Украина», «Полисуд», представительство «ЭСАБ», «Askaymak».

Выставка продемонстрировала высокий интерес к ней со стороны учащихся технических училищ, студентов, специалистов, занятых в сварочном производстве различных отраслей промышленности, преподавателей и предпринимателей различных городов Украины, в меньшей мере из России, Беларуси, Германии.

Что касается технической стороны выставки, то здесь следует отметить следующее. Прежде всего, это рост удельного объема сварочного оборудования, которое представлено не его разработчиками и производителями, а различными посредническими фирмами. Здесь заметна активность на рынке сварочного оборудования таких известных фирм, как КЕМППИ (представитель фирмы — предприятие «Вистек»), «Фрониус» и др. Следует отметить большую экспозицию оборудования КЕМППИ, представленную современными разработками источников для ручной дуговой сварки и полуавтоматами. Источники КЕМППИ в большинстве своем инверторные с дополнительными сервисными возможностями по выбору режимов, управлению сварочным процессом. Это же можно отнести и к оборудованию фирмы «Фрониус», но здесь важно заметить, что производство некоторых, пользующихся



спросом видов полуавтоматов, организовано в Украине с дальнейшим предоставлением сервисных услуг.

Среди фирм производителей сварочного оборудования и оборудования для смежных технологий выделяются три известных предприятия: Каховский завод сварочного оборудования (КЗЭСО), Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона, Фирма «СЭЛМА» (г. Симферополь). В разработках этих предприятий можно четко выделить две основные тенденции: совершенствование оборудования, которое уже освоено предприятиями, и создание новых видов оборудования.

Как всегда, КЗЭСО представила широкий спектр оборудования различного назначения — от простых и доступных систем для ручной дуговой сварки до весьма совершенных разработок механизированного и автоматизированного дугового оборудования (полуавтоматы, сварочные тракторы, автоматы), а также оборудования с компьютеризированным управлением (для различных видов контактной сварки). Оценивая эту экспозицию можно заметить, что в части механизированного и автоматизированного дугового оборудования КЗЭСО в большей степени следует первой из обозначенных тенденций.

Интересна экспозиция СЭЛМЫ в части освоения в производстве новых видов оборудования: сварочных тракторов специального назначения, серийного производства чопперов, оборудования для ведения подготовительных работ в сварочном производстве и др.

Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона также интересен своими новыми разработками в части обеспечения плазменно-дуговых процессов (мощные источники для плазменно-дуговой резки и источники для сварки). Необходимо заметить, что это предприятие выполняет часть своих разработок, ориентируясь на конкретного потребителя, например, создание мощных источников сварочного тока для специальных производств и условий эксплуатации. Отметим также стремление завода к созданию нового поколения дугового механизированного оборудования, ориентированного на концепцию блочно-модульного конструирования с использованием базовой модели. Есть надежда на то, что ОЗ ИЭС им. Е. О. Патона вскоре выйдет на рынок со своими разработками инверторных источников сварочного тока. Ожидается, что отличать эти разработки будет наличие ряда оригинальных технических решений по облегчению труда сварщиков.

Нельзя не отметить экспозицию известного производителя сварочных полуавтоматов — ПО «Артем». Не стремясь развивать направление, связанное с производством новых модификаций полуавтоматов, предприятие четко выбрало иное направление своей деятельности — создание комплектующих для механизированного дугового оборудования (комплектные механизмы подачи разных модификаций, отсекатели газа, транспортные средства — тележки как элементы малой механизации сварочных процессов). Интересным в экспозиции этого предприятия является техническое решение по орбитальной сварке неповоротных стыков труб — малогабаритный аппарат, установленный на специальной направляющей.

Предприятие «Коммунар» (Харьков), уже достаточно давно специализирующееся на разработке и про-





изготовлении инверторных источников сварочного тока для ручных и механизированных процессов, показало широкую гамму таких источников, отличающихся в основном мощностными параметрами. Следует отметить, что анализ технических решений, заложенных в их конструкцию, и технологических возможностей позволяет утверждать, что в Украине есть надежные серийные инверторные источники сварочного тока, которыми можно комплектовать современные разработки механизированного и автоматизированного оборудования.

На стенде «ИЭС им. Е. О. Патона» наиболее часто посетители выставки хотели получить рекомендации и консультации, связанные с выбором и приобретением сварочных и наплавочных материалов и оборудования для ремонтно-восстановительных работ, применением процесса сварки А-ТИГ, особенностями технологии ремонта и восстановления лопаток турбин, способами предупреждения (снятия) цветов побежалости на сварных соединениях нержавеющей стали, организацией производства различных типов сварных конструкций и др. Интерес посетителей выставки был проявлен к Каталогу ИЭС им. Е. О. Патона «Технологии. Материалы. Оборудование» (около 300 разработок).

Семинары

11 апреля состоялся научно-практический семинар «Повышение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта», организованный НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона» НАН Украины, ДК «Укртрансгаз», Ассоциацией промышленного арматуростроения Украины и Украинским информационным центром «Наука. Техника. Технология» при поддержке НАК «Нефтегаз Украины». Семинар проводился в рамках выставки «Трубопроводный транспорт».

На семинаре обсуждались вопросы диагностики и модернизации технологического оборудования и линейных участков магистральных трубопроводов, мониторинга и паспортизации технического состояния систем трубопроводного транспорта, материалов для трубопроводов, строительство трубопроводов, технологии ремонта и восстановления, в том числе технологии сварки, наплавки, резки и термообработки, защиты металлических трубопроводов от коррозии, контроля качества, трубопроводной арматуры, охраны труда, нормативно-технической документации. К началу семинара был издан сборник докладов (общее количество докладов — 27).

Большинство докладов было посвящено проблемам газотранспортной системы. Представлено ряд докладов, посвященных диагностированию трубопроводного транспорта (ДК «Укртрансгаз», ГП «ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона, Фраунгоферовский институт методов неразрушающего контроля, ФРГ, Уфимский государственный нефтетехнический университет, НП фирма «Зонд», Ивано-Франковск), где были даны рекомендации по решению задач контроля качества труб, трубопроводов и сварных соединений на них, причем как для труб из сталей, так и из полимерных материалов. Подробно освещены все технологии термической, деформационно-термической и ударной послесварочной обработки сварных соединений стальных трубопроводов (НТК «ИЭС им. Е. О. Патона», Донецкий национальный технический университет, ООО «Нагрев»,



Москва). Представлен полный анализ современных технологий ремонта магистральных трубопроводов в условиях их непрерывной эксплуатации (ИЭС им. Е. О. Патона, ОАО «Укртрансгаз», ДК «Укртрансгаз»). Освещен опыт использования экспертной системы «Прочность» для оценки технического состояния газопроводов (НПО «Вектор», ИЭС им. Е. О. Патона, УМГ «Киевтрансгаз»).

Ряд докладов был посвящен уплотнительным материалам (ООО «Украинские Передовые Технологии», ЧП «Инкла-Киев») и проблемам защиты стальных трубопроводов от коррозии (ОАО «Харьковский трубный завод», Институт общей и неорганической химии и др.).

В докладе ЗАО «НПФ «ЦКБА» (Российская Федерация) описаны национальные технические регламенты на магистральный трубопроводный транспорт и трубопроводную арматуру.

В докладе НП фирмы «Зонд» (Ивано-Франковск) проанализирован нормативный документ ВСН 012-88 «Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Контроль качества и приемка работ» и показана необходимость разработки нового документа на замену вышеуказанного.

В рамках выставки «Сварка и родственные процессы» 12 апреля состоялся научно-технический семинар «Сварка и родственные процессы в промышленности», организованный НТК «ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины», Обществом сварщиков Украины и Украинским информационным центром «Наука. Техника. Технология». В его работе приняли участие около 40 специалистов в области сварки и родственных технологий в основном из ИЭС им. Е. О. Патона и разных промышленных регионов Украины.

Открывая семинар, вице-президент Общества сварщиков Украины канд. техн. наук В. М. Илюшенко отметил, что сварка была и остается одним из важнейших технологических процессов в современном промышленном производстве. Работа семинара проходила в День космонавтики и это очень символично, так как многие помнят о той роли, которую сыграли сварщики в ракетостроении и освоении космоса.

Затем с докладом «Тенденции развития комбинированных и гибридных процессов дуговой и плазменной сварки» выступил д-р техн. наук Н. М. Воропай (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины). Гибридные и комбинированные сварочные процессы, которые широко развиваются в последнее время, позволяют зна-

чительно повысить производительность и улучшить качество сварных соединений. В докладе на основании обобщения литературных данных и результатов собственных исследований авторы не только подробно рассмотрели особенности ряда новых комбинированных и гибридных процессов дуговой и плазменной сварки, но и наметили первоочередные задачи для дальнейшего развития работ в этом направлении.

Большой интерес у участников семинара вызвал доклад «Современные технологии прецизионной сварки взрывом», в котором д-р техн. наук Л. Д. Добрушин рассказал о последних разработках ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины в области сварки взрывом.

В докладе д-ра техн. наук В. Ф. Демченко был представлен ряд компьютерных систем информационной поддержки сварочного производства. В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины в настоящее время разработано несколько компьютерных систем, которые помогают заводским специалистам разрабатывать технологические процессы дуговой автоматической наплавки, сварки различных материалов, а также решать проблемы экологии сварочного производства.

О новых электродах для сварки конструкционных углеродистых и низколегированных сталей доложил канд. техн. наук И. Р. Явдошин (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины). Новые электроды, разработанные в институте, имеют отличные сварочно-технологические свойства и обеспечивают получение сварных швов с предельно низким содержанием водорода.

Большие работы ведутся в ИЭС им. Е. О. Патона по созданию новых сварочных плавящихся флюсов и флюсопродуктов для производства агломерированных флюсов. Об этих работах участникам семинара рассказал канд. техн. наук И. А. Гончаров. Предложенная авторами доклада технология рафинирования шлакового расплава позволит существенно снизить себестоимость производства плавящихся флюсов и создать конкурентоспособное производство отечественных агломерированных флюсов.

Несколько докладов на семинаре было посвящено наплавочным работам. Опыт автоматической и полуавтоматической наплавки деталей в различных отраслях промышленности поделился канд. техн. наук И. А. Рябцев (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины). В докладе в основном были представлены сведения о работах по восстановлению ряда крупногабаритных деталей и узлов горно-обогатительных комбинатов: стани-



ны и корпуса кольца конусной дробилки, валов дробящих конусов конусных дробилок, корпусов тележек обжиговых машин для производства окатышей, зубчатых венцов шаровых мельниц размола руды и т. д.

Большие перспективы имеет электрошлаковая наплавка. Об опыте внедрения технологических процессов ЭШН рассказали в своих докладах д-р техн. наук Ю. М. Кусков и канд. техн. наук О. Г. Кузьменко (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины). С ее помощью можно с высокой производительностью восстанавливать чугунные прокатные валки, крупногабаритные штампы и т. д.

Инженер К. О. Артюх (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) в докладе «Проблемы стандартизации в сварочном производстве Украины» поделилась опытом адаптации национальных стандартов Украины к требованиям международных. Внедрение гармонизированных стандартов в области сварочного производства будет способствовать повышению конкурентоспособности и безопасности отечественных сварных конструкций.

На семинаре был заслушан ряд других докладов, представленных специалистами сварочного производства Украины и России. Все доклады научно-техни-

ческого семинара напечатаны в сборнике «Сварка и родственные процессы в промышленности».

В заключение следует отметить, что за четыре дня работы на выставке побывало около 3 тыс. представителей промышленных, государственных и коммерческих организаций, научных сотрудников разных НИИ, преподавателей университетов, техникумов и технических училищ, студентов и просто заинтересованных лиц. На протяжении всей выставки в огромном помещении выставочного комплекса, благодаря приветливости персонала, доброжелательности экспонентов, ярким и эффектно оформленным стендам и общему приподнятому настроению посетителям было по-настоящему тепло и уютно.

Именно на выставках закладываются основы взаимовыгодного сотрудничества между производителем и потребителем, именно здесь находят новых деловых партнеров и получают полезную и нужную информацию. Все это, несомненно, было и на выставке «Сварка. Родственные технологии».

В. Н. Липодаев, А. А. Кайдалов, доктора техн. наук,
В. А. Лебедев, И. А. Рябцев, кандидаты техн. наук

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

Наша адреса:

Україна, 02660, м. Київ,
Броварський проспект, 15

«Лівобережна»

+380 44 201-11-65, 201-11-56

reklama@iec-expo.com.ua

www.tech-expo.com.ua

28 листопада - 1 грудня

V МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ - 2006"

Міжнародні спеціалізовані виставки:

"Металообробка" (металообробні технології, обладнання)

"УкрМашТех" (промислові технології, обладнання)

"УкрПластТех" (обладнання та технології для виробництва і переробки пластмас)

"УкрВторТех" (комісійна техніка, обладнання)

"УкрЗварювання" (технології, обладнання та матеріали)

"Підйомно-транспортне складське обладнання"

"Зразки, стандарти, еталони, прилади" (КІП, метрологія виробництва, обладнання для випробувальних лабораторій, неруйнівний контроль)

"Безпека виробництва" (засоби захисту, безпека робочої зони)

"Субконтракти" (пошук партнерів для розміщення замовлень з видів виробництва, деталей, вузлів, виробів)



Книги ❖ Монографии ❖ Труды конференций

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

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

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

Более 13 лет 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



тел. (380612) 33 1058,34 3623,
13 2269,(38061) 220 0079 e-mail: weld@triada.zp.ua

Электромашино-
строительный завод
«ФИРМА СЭЛМА»



**ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**



**60 лет
в мире сварки**



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

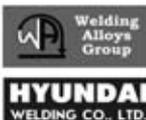
www.selma.ua

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

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

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

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



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

**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



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

тел./факс: (38044) 200-88-33

Производство высококачественных электродов для:

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

А также множество других марок на заказ

ГОРЕТЬ, ЧТОБЫ СОЗДАВАТЬ!

Вся продукция СЕРТИФИЦИРОВАНА

Лидер производства порошковых проволок в Украине



ООО "ТМ.ВЕЛТЕК"

Порошковые проволоки для наплавки по ГОСТ 26101-84

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

Порошковые проволоки ВЕЛТЕК

-ВЕЛТЕК Н200 - Н620

Порошковые проволоки для сварки

-АН1, АН8, АН39, АНЧ-2 и др.

Порошковые проволоки ТМВ

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

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

ул. Полевая, 24, офис 504

03056, Киев, Украина

тел./факс: (38044) 456-0209, 458-3485

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



**ПРОИЗВОДСТВО
ПРОДАЖА
СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ**



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



➤ Автономные мобильные сварочные комплексы на базе резонансных преобразователей



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

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

"ИЭС - ЭПС"



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

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

oaozont@zont.com.ua
www.zont.com.ua

т. +38048 717-00-50
ф. +38048 715-69-50

65104, Украина, пр. Маршала Жукова, 103

Завод автогенного оборудования г. Краматорск

Сертифицированная продукция!

ДОМЕТ

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

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

E-mail: svarka@donmet.com.ua

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



СпецСплав

www.spetssplav.dp.ua



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

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

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

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

Звоните:

(044) 529 26 23, 287 63 02

V МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ'06»

20 – 23 сентября 2006

Варна, Болгария



Тема конгресса

«Инновационные решения для развития изделий и процессов»

Организаторы:

Научно-техническое общество машиностроителей Болгарии
Университет в Карлсруэ — Германия

Для контактов:

Научно-техническое общество машиностроителей, ул. Г. С. Раковски, 108, София 1000
тел./факс (+3592) 986 22 40, тел. (+3592) 987 72 90
nts-bg@tea.bg, www.met.tea.bg

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 – 2006 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
	150 грн.	300 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 17.04.2006. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,14. Усл. кр.-отг. 9,97. Уч.-изд. л. 10,42 + 8 цв. вклеек. Цена договорная.

Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.