



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

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

Редакторы:

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

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001

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

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

К 100-летию со дня рождения М. К. Янгеля 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

*Ющенко К. А., Савченко В. С., Червяков Н. О., Звягинцева А. В.,
Монько Г. Г., Пестов В. А.* Сравнительная оценка чувстви-
тельности к образованию горячих трещин сварных соединений
сплава Inconel 690 4
*Позняков В. Д., Кирьяков В. М., Гайворонский А. А., Касаткин
С. Б., Клапатюк А. В., Тараненко С. Д., Проценко В. А.* Влияние
технологических факторов на сопротивляемость замедленному
разрушению стыковых соединений рельсовой стали при дуговой
сварке 11
Кучук-Яценко В. С. Контактная стыковая сварка жаропрочного
никелевого сплава с использованием наноструктурных фольг 16
Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Наумейко С. М. Разработка
порошковой проволоки для дуговой сварки высокопрочных сталей
бейнитного класса 20
Лазоренко Я. П., Шаповалов Е. В., Коляда В. А. Анализ спектра
излучения сварочной дуги для мониторинга дуговой сварки
(Обзор) 24

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Лобанов Л. М., Пивторак В. А., Савицкая Е. М., Киянец И. В.,
Лысак В. В.* Оперативный контроль качества сварных панелей из
сплава ВТ20 с использованием метода электронной широкографии 28

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

*Махлин Н. М., Коротынский А. Е., Богдановский В. А., Омель-
ченко И. А., Свириденко А. А.* Одно- и многостовые системы для
автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов
атомных электростанций 34
Заруба И. И., Андреев В. В., Степахо В. И., Корицкий В. А. Пути
повышения технологической эффективности выпрямителей для
механизированной сварки и наплавки (Обзор) 45
Маковецкая О. К. Современное состояние и перспективы рынка
стали и сварочной техники Китая (Обзор) 50

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Коляда В. А. Система видеонаблюдения за процессом сварки ТИГ
титановых конструкций 56

ХРОНИКА

II Международная научно-техническая конференция «Повреж-
дение материалов во время эксплуатации, методы его диагности-
рования и прогнозирования» 59
3-я Международная конференция «High Mat Tech» 60
V Международный семинар по сварке 61
К 100-летию со дня рождения А. А. Казимирова 62
В. В. Андрееву — 70 63
А. А. Рыбакову — 70 64
Памяти И. М. Жданова 65
Памяти Л. Г. Пузрина 65

ИНФОРМАЦИЯ 67

Avtomaticheskaya Svarka

№ 11 (703)
November 2011
Published since 1948

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

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

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»

Address of Editorial Board:

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

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushina

Electron galley:

I. R. Naumova,
I. V. Petushkov, A. I. Sulima

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved

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

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

CONTENTS

To the 100th anniversary of M. K. Yangel 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Yushchenko K. A., Savchenko V. S., Chervyakov N. O., Zvyagintseva A. V., Monko G. G., Pestov V. A. Comparative evaluation of sensitivity to hot crack formation of welded joints of Inconel 690 alloy 4
Poznyakov V. D., Kiryakov V. M., Gayvoronsky A. A., Kasatkin S. B., Klapatyuk A. V., Taranenko S. D., Proshchenko V. A. Influence of technological factors on resistance to delayed fracture of butt joints of rail steel in arc welding 11
Kuchuk-Yatsenko V. S. Resistance butt welding of heat-resistant nickel alloy with use of nanostructured foils 16
Shlepakov V. N., Gavriluk Yu. A., Naumeyko S. M. Development of flux-cored wire for arc welding of high-strength steels of bainite class 20
Lazorenko Ya. P., Shapovalov Ye. V., Kolyada V. A. Analysis of radiation spectrum of welding arc for monitoring of arc welding (Review) 24

NONDESTRUCTIVE TESTING OF WELDED JOINTS

Lobanov L. M., Pivtorak V. A., Savitskaya E. M., Kiyanets I. V., Lysak V. V. In-process quality control of welded panels of VT20 alloy using method of electron shearography 28

INDUSTRIAL

Makhlin N. M., Korotynsky A. E., Bogdanovsky V. A., Omelchenko I. A., Sviridenko A. A. Single and multi-station systems for automatic position welding of butts of nuclear power station pipelines 34
Zaruba I. I., Andreev V. V., Stepachno V. I., Koristky V. A. Methods to improve technological effectiveness of rectifiers for mechanized welding and surfacing (Review) 45
Makovetskaya O. K. State-of-the-art and prospects of market of steel and welding equipment of China (Review) 50

BRIEF INFORMATION

Kolyada V. A. System of video monitoring of TIG welding of titanium structures 56

NEWS

II International Scientific and Technical Conference «Damage of materials during service, methods of its diagnostics and forecasting» 59
3 International Conference «High Mat Tech» 60
V International seminar on welding 61
To the 100th anniversary of A. A. Kazimirov 62
V. V. Andreev is 70 63
A. A. Rybakov is 70 64
In memory of I. M. Zhdanov 65
In memory of L. G. Puzrin 65
INFORMATION 67

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.

К 100-летию со дня рождения М. К. Янгеля



Выдающемуся ученому, Главному конструктору, руководителю и организатору работ по созданию ракетно-космической техники, доктору технических наук, действительному члену АН УССР и АН СССР, дважды Герою Социалистического Труда Михаилу Кузьмичу Янгелю в октябре исполнилось 100 лет со дня рождения. Он родился 25 октября 1911 г. в деревне Зырянova Иркутской губернии. Трудовую деятельность начал на текстильной фабрике в Красноармейске Московской области (1929–1931). Затем окончил МАИ им. Орджоникидзе по специальности «Самолетостроение» (1937) и Академию авиационной промышленности СССР (1950).

Свой творческий путь Михаил Кузьмич начал в авиационной промышленности, работая конструктором, ведущим инженером. Затем выдвигался на руководящие должности, где в полной мере раскрыл свой самобытный, яркий талант. Работал помощником Главного конструктора, заместителем директора в КБ Н. Н. Поликарпова на заводе им. Менжинского (1935–1944), заместителем главного инженера в ОКБ-155 А. И. Микояна (1944), ведущим инженером в ОКБ В. М. Мясищева (1945).

В 1939 г. был направлен в США, где занимался приобретением конструкторской и технологической документации по производству самолетов и авиационных двигателей. В годы Великой Отечественной войны был назначен исполняющим обязанности директора эвакуированного из Москвы в Новосибирск авиазавода № 51, реализующего разработки конструкторского бюро Н.Н. Поликарпова, где занимался доводкой перспективных истребителей. С 1946 по 1948 гг. в аппарате Министерства авиационной промышленности координировал работы по развитию самолетостроения.

С 1950 по 1954 гг. трудился в НИИ-88 (ныне ЦНИИмаш) сначала начальником отдела приборов и систем управления, затем заместителем Главного конструктора ОКБ-1 С.П. Королева, директором и главным инженером НИИ-88. Участвовал в разработке проектов ракет Р-5, Р-7, руководил разработкой проектов прототипов ракет Р-11, Р-12, занимался исследованиями в области аэродинамики, баллистики, материаловедения и других проблем ракетной отрасли. С 1954 по 1971 гг. — Главный конструктор ОКБ-586 (КБ «Южное») в Днепропетровске. Именно здесь, возглавив молодой коллектив вновь созданного предприятия, М. К. Янгель стал основоположником нового направления в ракетостроении, заключающегося в создании боевых ракет на высококипящих компонентах топлива с автономной системой управления и применении высокозащищенных шахтных пусковых установок. Его первая ракета Р-12 послужила основой создания Ракетных войск стратегического назначения СССР и находилась на боевом дежурстве более 30 лет. Всего было произведено 2300 ракет этого типа. За короткий период времени под его руководством были созданы ракетные комплексы Р-14, Р-16, Р-36, МР УР-100, Р-36М, каждый из которых отличался постоянно возрастающим техническим совершенством и наращиванием боевой мощи. Параллельно на основе боевых ракет разрабатывались ракеты-носители «Космос», «Космос-2», «Циклон-2», «Циклон-3», ракетный блок лунного корабля комплекса Н1-Л3, а также космические аппараты серии «Космос», «Интеркосмос», «Метеор», «Целина».

По заказам М. К. Янгеля в ИЭС им. Е. О. Патона выполнены десятки поисковых научно-исследовательских работ по сварке и пайке различных узлов из новых специальных сталей, высокопрочных алюминиевых и титановых сплавов, циркония и других металлов и сплавов; контролю качества, ремонта дефектов; созданию технологии дуговой автоматической сварки по слою флюса, импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом, плазменной сварки на переменном токе и микроплазменной сварки разнополярными импульсами и др.; разработке специализированного оборудования для изготовления крупногабаритных пространственных конструкций, в том числе тонкостенных панелей из легких высокопрочных алюминиевых сплавов, трубчатых и оболочковых изделий из тугоплавких и химически активных металлов.

За выдающиеся заслуги в создании ракетной техники М. К. Янгель стал лауреатом Ленинской (1960), Государственной (1967) премий и Премии им. С. П. Королева (1970). Труд М. К. Янгеля отмечен орденами Ленина (1956, 1959, 1961, 1969), Октябрьской Революции (1971) и другими высокими правительственными наградами.

Сердце выдающегося ученого остановилось 25 октября 1971 г., в день его шестидесятилетнего юбилея.

Федерации космонавтики СССР и Украины учредили медаль его имени. Стипендию М. К. Янгеля получают лучшие студенты МАИ и ДНУ. Его имя присвоено Государственному конструкторскому бюро «Южное» (1991). Именем М. К. Янгеля названы астероид и кратер на Луне, поселок в Иркутской области, пик на Памире, океанский сухогруз, улицы в Москве, Киеве, Днепропетровске, Байконуре.

Память о Михаиле Кузьмиче Янгеле навсегда останется в истории.



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА INCONEL 690

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **В. С. САВЧЕНКО**, д-р техн. наук,
Н. О. ЧЕРВЯКОВ, **А. В. ЗВЯГИНЦЕВА**, **Г. Г. МОНЬКО**, кандидаты техн. наук,
В. А. ПЕСТОВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведена оценка склонности к образованию горячих трещин металла швов, полученных с помощью проволок Inconel®52 и Inconel®52MSS. Используются машинные методы испытаний (Varestraint-Test и PVR-Test), предусматривающие принудительную деформацию испытуемых образцов при сварке. Показано, что швы, выполненные проволокой Inconel®52MSS, более стойки к образованию трещин провала пластичности, но в несколько раз более чувствительны к образованию кристаллизационных трещин. Оценка характеристик пластичности металла сварных швов на установке «Ало-Тоо» показала, что в металле шва типа Inconel®52MSS отсутствует провал пластичности, тогда как для металла шва типа Inconel®52 характерно выраженное уменьшение показателей относительного удлинения.

Ключевые слова: сварка ТИГ, никелевые сплавы, присадочная проволока, металл шва, оценка трещиностойкости, интервал провала пластичности, граница зерна, принудительная деформация

Известна высокая чувствительность к образованию горячих трещин при сварке плавлением сварных соединений высоколегированных сталей со стабильно аустенитной структурой и никелевых суперсплавов. Горячие трещины по своей природе разделяют на два типа (рис. 1): кристаллизационные (тип 1) и подваликовые (тип 2) трещины, возникшие в процессе термосилового нагружения зон металла многопроходных швов [1]. Температурный интервал образования кристаллизационных трещин зависит от интервала твердого состояния металла при кристаллизации шва. Нижняя граница этого интервала определяется значением температуры солидуса при окончании кристаллизации T_s . Температурный интервал провала пластичности определяется примерным соотношением $(0,6...0,8)T_s$ [2]. В этом интервале трещины зарождаются и распространяются по границам большеугловых аустенитных зерен [3].

Чувствительность к образованию горячих трещин определяется следующими факторами [4–8]:

химическим составом металла шва по основным и примесным элементам, имеющим ограниченную растворимость в твердом растворе и определяющим температурный интервал кристаллизации;

значением и темпом нарастания деформации при кристаллизации шва и последующего охлаждения;

наличием условий для перераспределения примесных элементов углерода, серы, кислорода и

прочих с высокой диффузионной подвижностью при термосиловом воздействии процесса сварки плавлением на металл;

формированием тонкой структуры при одно- и многопроходной сварке в швах, определяющей механизм пластической деформации в металле поликристаллических швов;

когезионной прочностью границ зерен в швах со стабильно аустенитной структурой, определяющей условия зарождения горячих трещин.

Целью настоящей работы являлось проведение сравнительной оценки и исследования чувствительности к образованию горячих трещин в швах и сварных соединениях сплава Inconel 690 с использованием сварочных проволок Inconel®52 и Inconel®52MSS.

Разработаны специальные образцы для моделирования условий деформации наплавленного металла при выполнении многопроходных сварных швов в реальных конструкциях. Оценка чувствительности к образованию горячих трещин, в том числе в многопроходных швах, выполняется на технологических пробах, имитирующих реализацию термосилового воздействия процесса сварки на формирование структуры и образование горячих трещин. Применяют также машинные методы с дозированной принудительной деформацией. В этом случае наиболее эффективны Varestraint-Test и PVR-Test (Programmierter Verformungs-Riss Test) [9]. С помощью этих методов оценивали чувствительность к образованию кристаллизационных горячих трещин, а также трещин провала пластичности при многопроходной сварке никелевого сплава Inconel 690 сварочной проволокой Inconel®52MSS, имеющей по предвари-

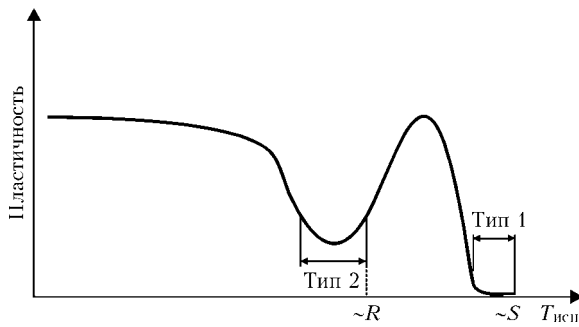


Рис. 1. Температурные интервалы, в которых низкая пластичность приводит к трещинам двух типов во время сварки [1] (S — солидус, R — рекристаллизация)

тельным данным высокую стойкость против образования трещин в низкотемпературной области провала пластичности. Исследования предусматривали построение температурных интервалов хрупкости и определение критического значения деформации $\varepsilon_{кр}$ при сварке плавлением. Кроме того, определяли критическую скорость деформации (PVR-Test), что позволяет оценить чувствительность к образованию как кристаллизационных, так и трещин провала пластичности.

Химический состав основного металла и сварочных проволок приведен в таблице.

Микроструктура сплава Inconel 690 является мелкозернистой, не текстурированной, состоит из аустенитных зерен и двойников отжига, расположенных внутри зерен. Значительного количества избыточных фаз либо пограничных выделений не обнаружено.

При подготовке образцов для исследования свариваемости по методам Varestraint-Test и PVR-Test на образцах сплава Inconel 690 размерами соответственно $8 \times 40 \times 170$ и $8 \times 50 \times 200$ мм выстрагивали канавку, которую предварительно заполняли многослойным швом с использованием проволок Inconel®52 и Inconel®52MSS. Элементы разделки кромок и порядок наложения швов приведены на рис. 2.

Наплавку проводили проволоками Inconel®52 и Inconel®52MSS диаметром 0,9 мм импульсно-дуговой сваркой вольфрамовым электродом в среде аргона. Устойчивое формирование шва достигалось применением колебательных движений вольфрамового электрода и присадочной проволоки с заданной амплитудой и частотой при оптимальных параметрах режимов сварки. Из наплавленных пластин вырезали образцы для испы-

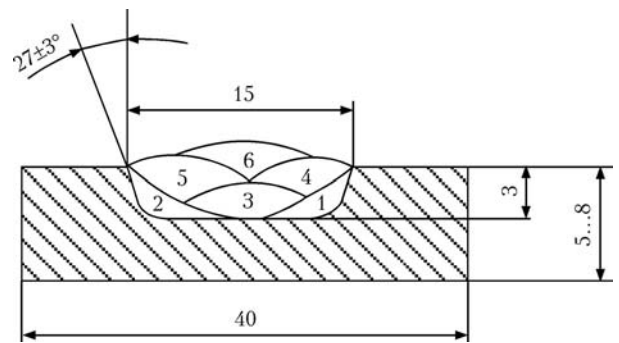


Рис. 2. Схема порядка заполнения канавки валиками (швы наплавки) образцов проб для испытаний по методикам Varestraint-Test и PVR-Test

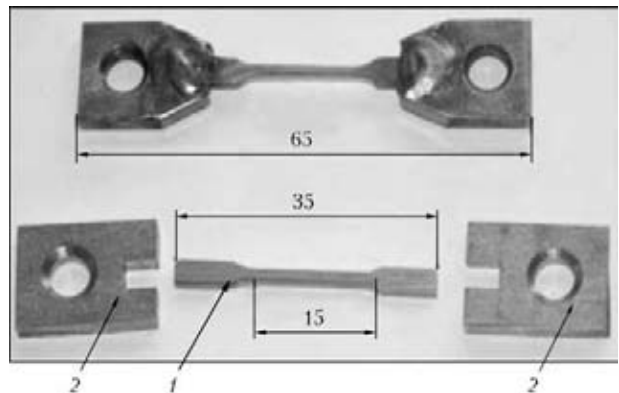


Рис. 3. Внешний вид составного образца для оценки высокотемпературных свойств многопроходных швов: 1 — рабочая часть составного образца из соединения In 690, выполненного проволокой Inconel®52MSS и Inconel®52; 2 — захват из стали типа 304

таний: для пробы Varestraint-Test размером $170 \times 70 \times 3,5$ мм для PVR-Test — размером $200 \times 40 \times 3,5$ мм. Кроме того, из металла швов вырезали образцы (рис. 3) для оценки пластичности наплавленного металла в интервале провала пластичности [10].

Для оценки свариваемости металлических материалов перспективно применение машинных проб с принудительной деформацией свариваемого образца, обеспечивающих дозированную по значению и скорости деформацию.

Способ оценки предусматривает выполнение сварки ТИГ без присадки плоской пластины с одновременной продольной относительно направления сварки, меняющейся во времени деформации пластины.

Принцип реализации PVR-Test показан на рис. 4 [11]. Характерной особенностью испыта-

Химический состав основного металла и сварочных проволок Inconel®52 и Inconel®52MSS, мас. %

Материал	C	Mn	Ni	Cr	Fe	Nb	Mo	Ti	S	P	Al	Si
In 690	0,020	—	Основа	29,72	10,30	—	—	0,28	0,002	0,005	0,87	0,32
In 52MSS	0,024	0,29	54,55	30,30	7,24	2,52	3,45	0,25	0,002	0,0055	0,22	0,15
In 52	0,021	0,24	59,17	29,19	9,99	—	0,01	0,51	0,001	0,003	0,72	0,12

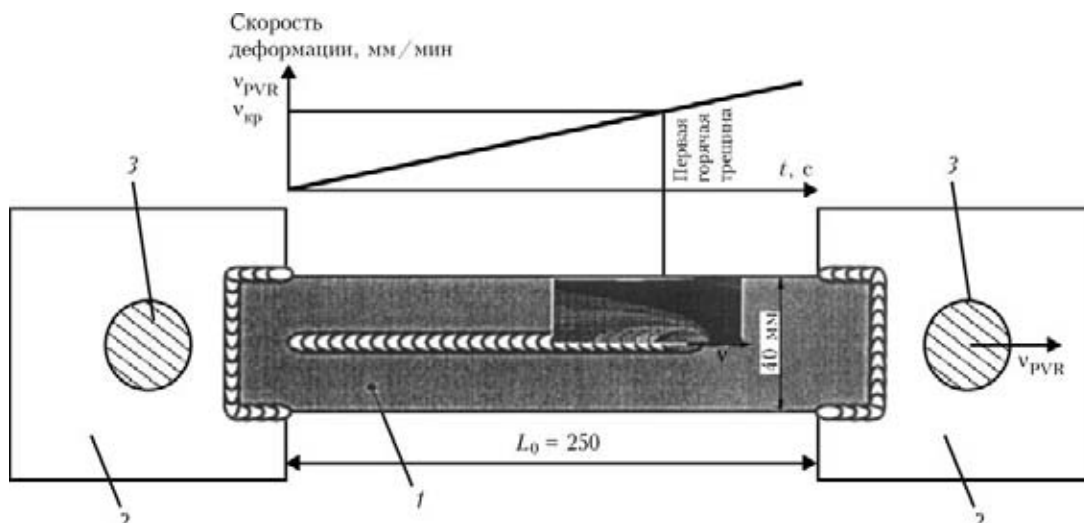


Рис. 4. Схема принципа реализации PVR-Test [11]: 1 — образец; 2 — захваты; 3 — крепежные штифты для нагружения образцов

ний является обеспечение требуемого диапазона величины принудительных деформаций исследуемого образца в процессе сварки и скорости их изменения. В этом случае необходима реализация двух зависимостей формирования деформаций:

$$\frac{\Delta l}{\Delta t} = v, \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{const},$$

где l — перемещение захватов 2 (рис. 4); v — скорость перемещения захватов; t — время перемещения.

Критерием чувствительности к образованию трещин является критическая скорость деформации $v_{кр}$, при которой появляются первые трещины. При выполнении сварки возможно одновременное появление трещин как в шве, так и в металле ЗТВ. Причем эти два типа трещин имеют различную природу образования [12] и, как правило, проявляются при различной скорости кри-

стической деформации $v_{кр}$. Кристаллизационные трещины возникают из-за развития процесса ликвации и образования межзеренных жидких прослоек в температурном интервале, близком к T_S . Они располагаются по границам зерен в металле шва. Трещины провала пластичности образуются в результате потери пластичности металла и располагаются на некотором расстоянии от линии сплавления в металле ЗТВ, температура которой не достигала температуры плавления. Это позволяет количественно характеризовать чувствительность к определенному типу трещин. На рис. 5, 6 показаны положение образца после сварки и внешний вид его поверхности.

В процессе проведения эксперимента на установке PVR фиксируется диаграмма перемещения захватов установки от времени и, исходя из данных диаграммы, определяется скорость деформации металла в каждом из восьми участков. Такие замеры позволяют построить зависимость количества трещин исследуемого типа от скорости деформации и из графика путем экстраполяции при пересечении прямой с осью абсцисс определить критическую скорость деформации $v_{кр}$.

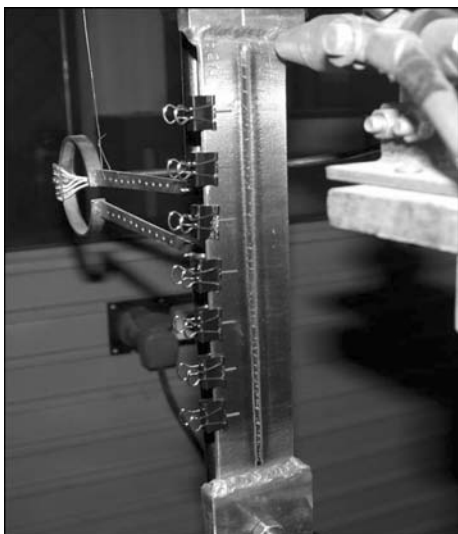


Рис. 5. Общий вид образца после сварки на установке PVR-Test

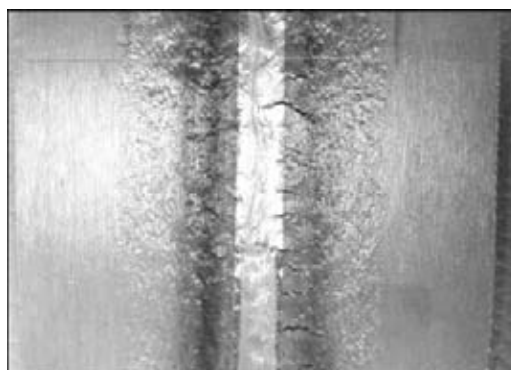


Рис. 6. Поверхность образца после испытаний на свариваемость по методике PVR-Test



Рис. 7. Кристаллизационные трещины в швах, выполненных проволокой Inconel@52MSS ($\times 10$)

Количество трещин, классифицированных как трещины провала пластичности, подсчитывали, выбирая трещины, которые начинались и оканчивались в металле ЗТВ. При этом использовали оптический микроскоп с увеличением 50.

В качестве кристаллизационных принимали трещины, образовавшиеся в сварном шве. Некоторые из них останавливаются в металле ЗТВ, образуя в месте остановки характерную пластическую деформацию. Анализ чувствительности к образованию горячих трещин проводили путем подсчета количества трещин провала пластичности, располагающихся на некотором удалении от линии сплавления, а также кристаллизационных трещин, образующихся, как правило, в сварном контрольном шве. Схему классификации трещин (рис. 7) принимали аналогично схеме, приведенной в работе [13].

При исследовании свариваемости по методике Varestraint-Test [14] применяется принудительная деформация изгибом пластинки металла при сварке. При этом скорость деформации должна значительно превышать скорость сварки, чтобы по возможности уменьшить перемещение сварочной ванны за время деформации. Критерием оценки свариваемости являются параметры температурного интервала хрупкости, а также критичес-

кое значение деформации $\varepsilon_{кр}$, при котором еще нет трещин. Исследование оценки устойчивости проволок к образованию трещин проводили на серии пластин размером $170 \times 60 \times 3,5$ мм. Значения принудительной деформации выбирали в интервале 0,2...2 %, что соответствует радиусам оправки от 850 до 85 мм. Параметры сварки для Varestraint-Test были следующими: $I_{св} = 90$ А, $U_d = 9,7$ В, $v_{св} = 8$ м/ч, скорость потока аргона примерно 8,5 л/мин.

Испытания проводили с целью определения кратковременной прочности и относительного удлинения δ исследуемого металла в температурном интервале 20...1100 °С с использованием установки «Ала-Тоо» (типа Gleeble). Поддержание заданной температуры, регистрация нагружения, расчет и представление в графическом виде кривой нагрузка — перемещение осуществляется компьютерной программой.

Системы нагружения установки «Ала-Тоо» позволяют оценивать пластичность металла в широком температурном интервале в вакууме (10^{-5} мм рт.ст) (рис. 8).

Результаты исследований показали значительное отличие в чувствительности к образованию кристаллизационных трещин и трещин провала пластичности металла швов, выполненных проволоками Inconel@52 и Inconel@52MSS. Швы, выполненные проволокой Inconel@52, в минимальной мере чувствительны к образованию кристаллизационных трещин и чувствительны к трещинам провала пластичности. Трещины провала пластичности расположены на участках металла ЗТВ, температура которых во время сварки не достигала T_s , на расстоянии от 100 мкм до 2 мм от линии сплавления.

Швы, выполненные проволокой Inconel@52MSS, наоборот, весьма чувствительны к образованию кристаллизационных трещин и практически не чувствительны к трещинам провала пластичности. Схематически эта зависимость показана на рис. 9.

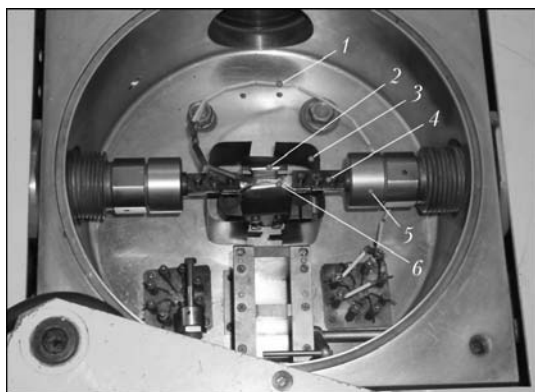


Рис. 8. Вид вакуумной камеры установки «Ала-Тоо» с устройством для деформирования образца: 1 — платиново-родиевая термopара; 2 — устройство радиационного нагрева; 3 — тепловой экран; 4 — захват; 5 — тяга; 6 — образец

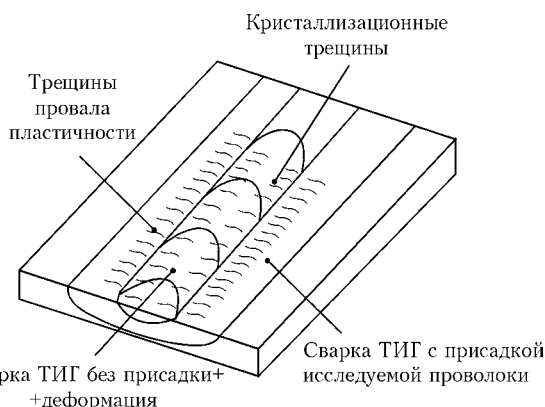


Рис. 9. Схема преимущественного расположения трещин в швах после испытания по методике PVR-Test

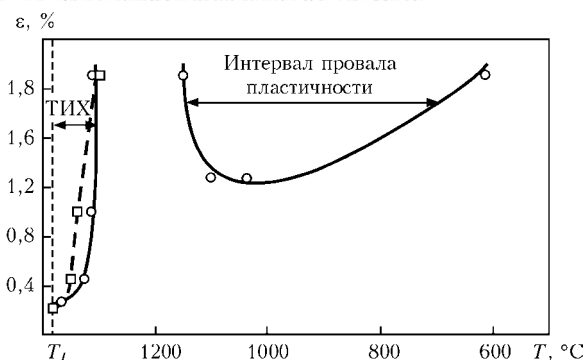


Рис. 10. Температурные интервалы хрупкости швов, выполненных проволокой Inconel®52 (сплошная кривая) и Inconel®52MSS (штриховая), при оценке свариваемости по методике Varesstraint-Test

Построение температурных интервалов хрупкости (ТИХ) с использованием методики Varesstraint-Test подтверждает полученные результаты (рис. 10). Для проволоки Inconel®52 показано наличие двух температурных интервалов хрупкости — высоко- и низкотемпературного.

При испытаниях проволоки Inconel®52MSS с принудительной деформацией до 2,3 % низкотемпературного интервала хрупкости не выявлено, что свидетельствует о более высокой стойкости данных швов к образованию трещин провала пластичности.

Микроструктура металла исследуемых швов с гранецентрированной кубической решеткой является поликристаллической структурой, состоящей из зерен различной кристаллографической ориентации в пределах каждого зерна, разделенной границами. По границам зерен при возникновении соответствующих условий могут образовываться горячие трещины, в первую очередь, трещины провала пластичности. В соответствии с условиями кристаллизации швы имеют направленную ячеистую либо ячеисто-дендритную структуру, формирующую механизм образования кристалли-

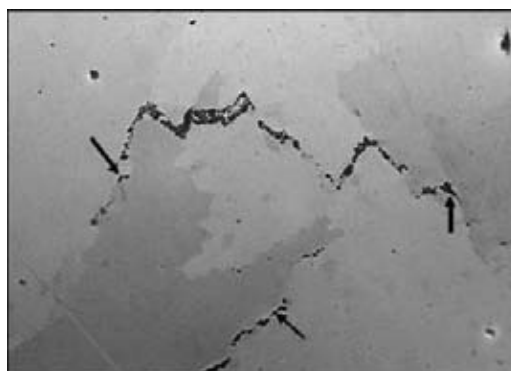


Рис. 11. Характер распространения кристаллизационных трещин (указаны стрелками) в металле шва, выполненном проволокой Inconel®52MSS (×200)

зационных трещин. Температурный интервал провала пластичности присутствовал в швах Inconel®52 и отсутствовал в швах Inconel®52MSS во всем интервале принятых деформаций.

С учетом полученных результатов можно полагать, что кристаллизационные трещины образуются преимущественно по большеугловым границам вытянутых аустенитных зерен в процессе их формирования при кристаллизации (рис. 11).

Металлографические исследования многослойных швов, выполненных сваркой ТИГ с присадкой проволоки Inconel®52MSS, и контрольного шва, полученного сваркой ТИГ без присадки во время принудительной деформации по методике PVR-Test, позволили подтвердить данные, что металл исследуемых швов практически не чувствителен к образованию трещин провала пластичности, являющихся основным видом микротрещин при выполнении многопроходных сварных швов со стабильноаустенитной структурой.

Результаты оценки температурной зависимости пластичности металла швов, выполненных проволоками Inconel®52MSS и Inconel®52, приведены на рис. 12.

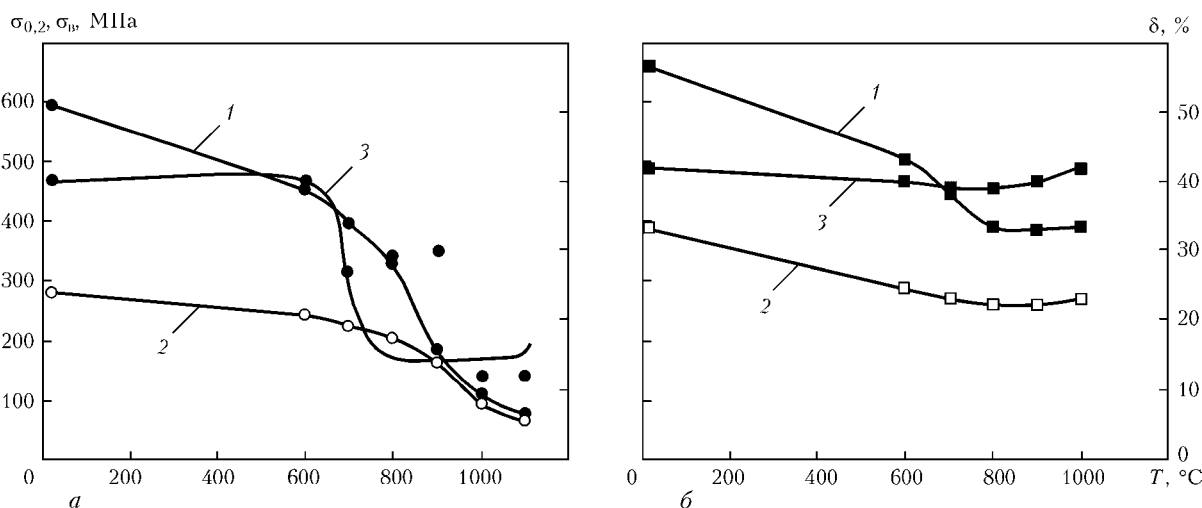


Рис. 12. Температурная зависимость прочности и пластичности образцов из сварного соединения, выполненного проволокой Inconel®52 (a) и Inconel®52MSS (б): 1 — σ_B ; 2 — $\sigma_{0.2}$; 3 — δ

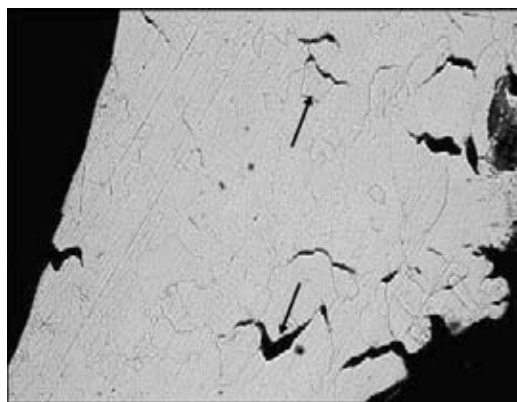


Рис. 13. Микроструктура ($\times 100$) металла многопроходного шва, выполненного проволокой Inconel®52, при температуре провала пластичности (стрелками показано межзеренное разрушение)

В противоположность образцам из соединения, выполненного проволокой Inconel®52, на кривой пластичности соединения сплава, выполненного проволокой Inconel®52MSS, слабо просматривается провал в характерной температурной области (рис. 12, б), что вызвано особенностями состава данной проволоки.

Анализ микроструктуры образцов из металла швов показывает, что в результате нагружения швов Inconel®52 происходит хрупкое межзеренное разрушение (рис. 13).

Таким образом, основной причиной образования трещин провала пластичности в швах со стабильно аустенитной структурой является миграция ряда примесных элементов на границы зерен в многопроходных сварных швах, ускоряемая термопластической деформацией.

Анализ опубликованных данных [15], а также полученные результаты исследований позволяют выдвинуть гипотезу о возможном механизме образования трещин при многопроходной сварке аустенитных высоколегированных сталей и никелевых сплавов. Согласно этой гипотезе трещины образуются по большеугловым границам зерен из-за сегрегации на границы активно диффундирующих примесных элементов, таких как углерод, кислород, сера, фосфор [16, 17]. Механизм влияния примесей на охрупчивание границ зерен в температурном интервале провала пластичности требует дополнительного изучения, что планируется в дальнейших исследованиях.

Выводы

1. Для исследований использовали машинные методики испытаний (Varestraint-Test и PVR-Test), предусматривающие принудительную деформацию испытуемых образцов при выполнении сварки, а также технологическую пробу — многослойную наплавку.

2. Построены температурные интервалы хрупкости швов при испытаниях на установке Vares-

taint-Test. Показано, что при сварке швов, выполненных проволокой Inconel®52MSS, во всех защитных атмосферах образуются только кристаллизационные трещины. При этом критическая деформация $\varepsilon_{кр} \approx 0,43\%$. В температурном интервале $700 \dots 1000^\circ\text{C}$, а также для всех вариантов швов трещины провала пластичности отсутствуют.

3. С использованием методики PVR-Test показано, что чувствительность к образованию трещин провала пластичности очень низкая, в то же время в сварных швах Inconel®52MSS при определенных условиях деформации наблюдается образование кристаллизационных трещин.

4. Оценка характеристик пластичности металла сварных швов, выполненных исследуемыми проволоками на установке «Ало-Тоо», показала, что в металле шва типа Inconel®52MSS отсутствует провал пластичности, тогда как для металла Inconel®52 характерно явно выраженное уменьшение показателей относительного удлинения. Полученные данные подтверждают высокую стойкость швов Inconel®52MSS против образования трещин провала пластичности (тип 2) и склонность к кристаллизационным трещинам в температурном интервале хрупкости (тип 1).

5. Возможной причиной межзеренного разрушения швов является понижение значений когезионной прочности границ зерен.

1. Hemsworth W., Boniszewski T., Eaton N. F. Classification and definition of high temperature welding cracks in alloys // Metal Constr. and British Welding J. — 1969. — 1, № 25. — P. 5–16.
2. In situ scanning electron microscopy high temperature deformation experiments to study ductility dip cracking of Ni–Cr–Fe alloys / E. A. Torres, F. G. Petermella, R. Caram, A. J. Ramirez // In situ studies with phonons, neutrons and electrons scattering. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. — P. 27–39.
3. Lippold J. C., Kotecki D. J. Welding Metallurgy and Weldability of stainless steels. — John Wiley&Sons, 2005. — 357 p.
4. Collins M. G., Lippold J. C. An investigation of ductility dip cracking in nickel-based weld metals. Pt I // Welding J. — 2003. — 82, № 10. — P. 288–295.
5. Collins M. G., Ramirez A. J., Lippold J. C. An investigation of ductility dip cracking in nickel-based weld metals. Pt II // Ibid. — 2003. — 82, № 10. — P. 348–354.
6. Collins M. G., Ramirez A. J., Lippold J. C. An investigation of ductility dip cracking in nickel-based weld metals. Pt III // Ibid. — 2004. — 83, № 2. — P. 39–49.
7. Lippold J. C., Nissley N. E. Further investigation of ductility dip cracking in high chromium, nickel-based filler metals // Welding in the World. — 2007. — 51, № 9/10. — P. 24–30.
8. Noecker F. F., DuPont J. N. Metallurgical investigation into ductility dip cracking in nickel-based alloys. Pt II // Welding J. — 2009. — 88, № 3. — P. 62–77.
9. Cross C. E., Coniglio N. Weld solidification cracking: critical conditions for crack initiation and growth // Hot cracking phenomena in welds II. — Berlin, Heidelberg Springer-Verlag, 2008. — 49 p.
10. Юценко К. А., Савченко В. С., Звягинцева А. В. Влияние структурных изменений при высокотемпературном нагреве на характеристики пластичности никелевых сплавов // Автомат. сварка. — 2001. — № 4. — С. 14–18.
11. Herold H., Hubner A., Zinke M. Investigation of the use of nitrogenous shielding gas in welding and its influence on the



- hot-crack behaviour of high temperature resistant fully austenitic Ni- and Fe-base alloys. — [2004]. — 16 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-2110-04).
12. Yushchenko K. A., Savchenko V. S. Classification and mechanisms of cracking in welding high-alloy steels and nickel alloys in brittle temperature ranges // Hot cracking phenomena in welds II. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. — P. 95–114.
13. Vallant R., Cerjak H. Investigation on the mechanical values and the hot crack susceptibility of Ni-base weld metals type 70/20 and 70/15 of different Nb contents. — [2004]. — 21 p. — (Intern. Inst. of Welding; IIW Doc. II-1535-04).
14. Savage W. F., Lundin C. D. The vareststraint test // Welding J. — 1965. — 44, № 10. — P. 433–442.
15. Савченко В. С., Ющенко К. А. Механизм образования и пути предотвращения подваликовых трещин при сварке аустенитных сталей // Автомат. сварка. — 1993. — № 12. — С. 8–11.
16. К возможному механизму образования трещин в стабильно аустенитных швах вследствие сегрегации кислорода / К. А. Ющенко, В. С. Савченко, Н. О. Червяков, А. В. Звягинцева // Там же. — 2010. — № 5. — С. 10–15.
17. Исследование влияния локализованной сдвиговой деформации на состав поверхности стали, разрушенной в вакууме / В. И. Трефилов, В. П. Майборода, С. А. Фирстов, Ю. Н. Иващенко // Металлофизика. — 1986. — 8, № 3. — С. 78–83.

Assessment of hot cracking susceptibility of the metal of welds made with Inconel®52 and 52MSS wires was performed. Machine testing methods (Varestraint test and PVT test) were used, which envisage forced deformation of tested samples in welding. It is shown that welds made with Inconel®52MSS wire are more resistant to ductility dip cracking, but are several times more sensitive to solidification cracking. Evaluation of ductility characteristics of weld metal in «Alo-Too» system showed that ductility dip is absent in weld metal of Inconel®52MSS type, whereas weld metal of Inconel®52 type is characterized by a pronounced lowering of relative elongation characteristics.

Поступила в редакцию 14.07.2011



12 МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СВАРКА И РЕЗКА

10–13 апреля 2012

г. Минск ЗАО «МинскЭкспо»

Направления экспозиций

- Материалы для сварки, наплавки и пайки
- Оборудование и технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки
- Источники питания и системы управления сварочным оборудованием
- Оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- Электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- Автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки
- Автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, программное обеспечение
- Приборы для неразрушающего контроля сварных соединений
- Научное и информационное обеспечение сварки
- Система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков
- Охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве
- Сертификация сварочного оборудования.

Выставка проводится одновременно с международным специализированным салоном «Защита от коррозии. Покрытия» и международной специализированной выставкой «Машиностроение-2012».

В программе выставки: конференции, семинары, пресс-конференции, деловые встречи, презентации отечественных и зарубежных фирм.

Контакты: тел.: +375 17 226 98 58, 226 90 83, факс: +375 17 226 98 58, 226 99 36
E-mail: e_fodorova@solo.by, marta@minskexpo.com



ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ ЗАМЕДЛЕННОМУ РАЗРУШЕНИЮ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

В. Д. ПОЗНЯКОВ, д-р техн. наук, **В. М. КИРЬЯКОВ**, **А. А. ГАЙВОРОНСКИЙ**,

С. Б. КАСАТКИН, кандидаты техн. наук, **А. В. КЛАПАТЮК**, инж.

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

С. Д. ТАРАНЕНКО, канд. техн. наук, **В. А. ПРОЩЕНКО**, инж. (ОАО «Днепропетровский стрелочный завод»)

Приведены результаты исследований влияния технологических факторов и конструктивной формы разделки на деформационную способность и циклическую долговечность сварных соединений рельсовой стали. Представлены зависимости изменения деформационной способности $h_{кр}$ стыковых соединений с V- и U-образной формами разделки кромок в зависимости от погонной энергии сварки, температуры предварительного подогрева и условий охлаждения соединений после сварки. Разработана технология дуговой сварки продольного стыка рельсовых окончаний железнодорожных крестовин.

Ключевые слова: дуговая сварка, рельсовая сталь, окончания железнодорожных крестовин, сварные соединения, деформационная способность, циклическая долговечность, сопротивляемость разрушению

Крестовины стрелочных переводов железнодорожных путей изготавливают из высокомарганцевой стали 110Г13 (сталь Гадфильда). В Украине такие крестовины производят на стрелочных заводах в Днепропетровске и Керчи с использованием технологии литья. Поскольку стрелочные крестовины имеют сложную форму, то существующие технологические процессы их изготовления трудоемки и энергозатратны, что сказывается на их стоимости. Следует также отметить, что испарение марганца при отливке изделий из стали 110Г13 ухудшает санитарно-гигиенические условия труда и экологию окружающей среды. Существенно снизить себестоимость стрелочных переводов и улучшить экологическую ситуацию на производствах можно путем использования для изготовления крестовин рельсовой стали. При этом появляется возможность замены в железнодорожных путях болтовых соединений крестовин с рельсами сварными, за счет этого уменьшаются динамические нагрузки на полотно и увеличивается скорость движения поездов [1]. Данный путь модернизации инфраструктуры железных дорог в настоящее время развивается во всем мире.

Наиболее широко производство сварных конструкций крестовин налажено в Европе на фирме «Voest-Alpine» (Австрия). В соответствии с предложенной технологией сварка продольного шва рельсового окончания, изготавливаемого из рельсовой стали, выполняется автоматическим спосо-

бом проволокой сплошного сечения диаметром 3 мм под слоем флюса. В дальнейшем готовое рельсовое окончание, длина которого может изменяться от 1,5 до 3,6 м, приваривается контактным способом к сердечнику (сталь 110Г13) с использованием вставки из стали 10Х18Н10Т.

Опытные образцы сварных крестовин с окончанием из рельсовой стали отечественного производства (рис. 1) изготовлены на Муромском стрелочном заводе и апробированы на полигоне «Кольцо» (ст. Щербинка, Московской области, РФ). Испытания, проведенные при нагрузке 27 т на ось, согласно методике показали, что только две из трех крестовин, изготовленных по технологии фирмы «Voest-Alpine», успешно прошли проверку, в то время как одна из них разрушилась раньше нормативного срока (менее 80 млн т на километр пробега).

Усталостная трещина в данной крестовине образовалась в конце стыкового шва (кратерная зона) и развивалась в перпендикулярном по отношению к оси шва направлении. По-видимому, это связано с тем, что повышенное тепловложение, характерное для автоматической сварки под флюсом, способствует формированию в сварных соединениях рельсовой стали относительно широкой зоны термического влияния (ЗТВ), в которой образуется структура, отличающаяся повышенной склонностью к хрупкому разрушению. В связи с этим следовало разработать новую технологию сварки продольного стыка стрелочных окончаний, позволяющую избежать указанных недостатков.

Цель данной работы заключалась в оценке влияния технологических (температура предвари-

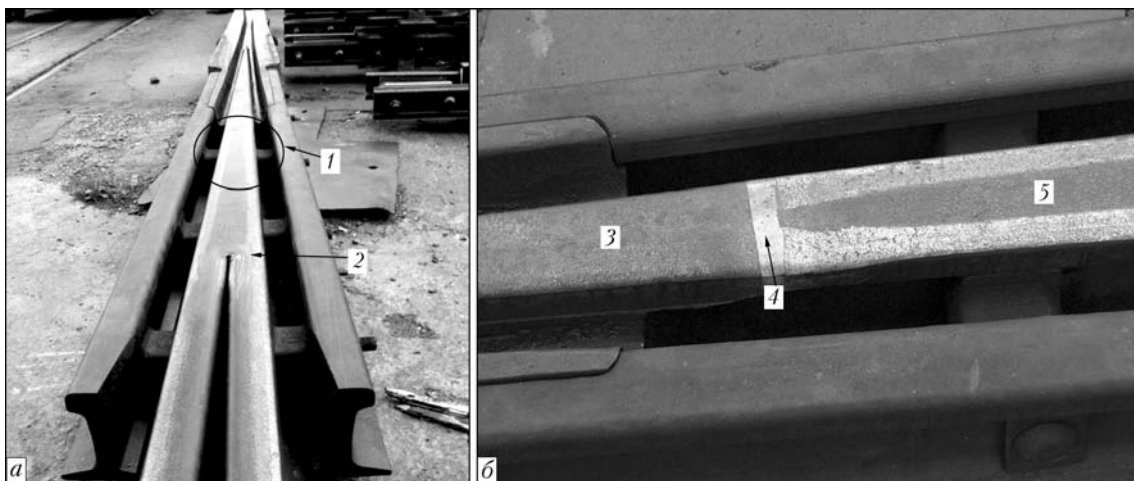


Рис. 1. Сварная железнодорожная крестовина с рельсовым окончанием: *а* — общий вид; *б* — участок в месте сварки сердечника с рельсовым окончанием: 1 — участок крестовины в месте сварки сердечника с рельсовым окончанием; 2 — место разрушения рельсового окончания; 3 — сердечник из стали 110Г13; 4 — вставка из стали 10Х18Н10Т; 5 — рельсовое окончание из стали М76

тельного подогрева и погонная энергия сварки) и конструктивных факторов на деформационную способность и долговечность сварных соединений рельсовой стали в условиях статического и циклического нагружений.

Исследования проводили на стыковых соединениях из высокоуглеродистой кремниевомарганцовистой рельсовой стали марки М76 с содержанием 0,71...0,82 % углерода и 0,75...1,05 % марганца.

Влияние технологических факторов и конструктивной формы разделки на прочностные свойства соединений рельсовой стали при статическом нагружении изучали в условиях испытаний сварных образцов на трехточечный изгиб на установке Фридлянда. Образцы нагружали усилием 3000 кг со скоростью 1 мм/мин. Критерием оценки таких испытаний был уровень критической деформации образцов $h_{кр}$, при котором еще не про-

исходит образование трещины на поверхности сварного соединения. Сварные образцы для испытаний представляли собой стыковые соединения рельсовой стали размером 240×85×18 мм. Исследовали особенности разрушения многопроходных соединений рельсовой стали с V- и U-образной формами разделки, оценивали влияние значения погонной энергии сварки (8,6 и 28,5 кДж/см), предварительного подогрева при температурах 150 и 250 °С, а также условий охлаждения соединений после сварки. В качестве сварочного материала использовали низколегированную проволоку Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Механизированную сварку образцов осуществляли в смеси защитных газов (80 % Ar + 20 % CO₂).

При этом были использованы результаты ранее выполненных работ по оценке влияния термомеханического цикла сварки на формирование структуры, изменение прочностных и пластических свойств в металле ЗТВ рельсовой стали, а также температуры предварительного подогрева и погонной энергии сварки на сопротивляемость сварных соединений образованию холодных трещин [2, 3].

Результаты проведенных исследований по оценке влияния технологических факторов и конструктивной формы разделки на деформационную способность сварных соединений рельсовой стали, полученные при испытании на статический изгиб, приведены на рис. 2–5.

Как видно из представленных данных, форма разделки существенно влияет на показатели критической деформации образцов. Для сварных соединений с U-образной формой разделки $h_{кр}$ в 1,5...2,0 раза выше, чем у сварных соединений с V-образной формой разделки (рис. 2). Использование при сварке соединений рельсовой стали с U-образной формой разделки предварительного подогрева до 250 °С способствует повышению

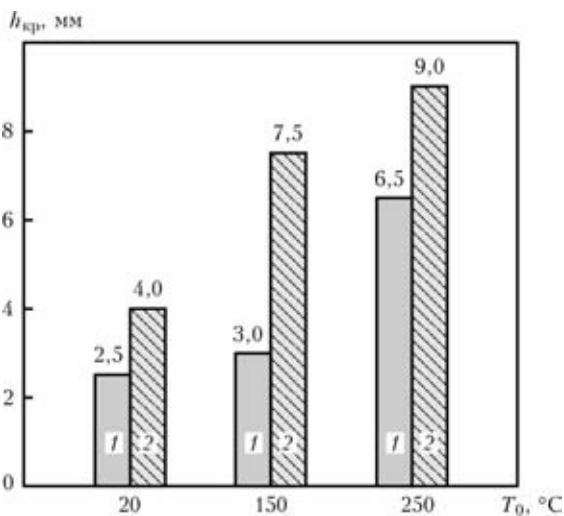


Рис. 2. Влияние V- (1) и U-образной (2) форм разделки и температуры предварительного подогрева T_0 на критическую деформацию сварных соединений $h_{кр}$ рельсовой стали, выполненных на погонной энергии сварки $Q_{св} = 8,6$ кДж/см

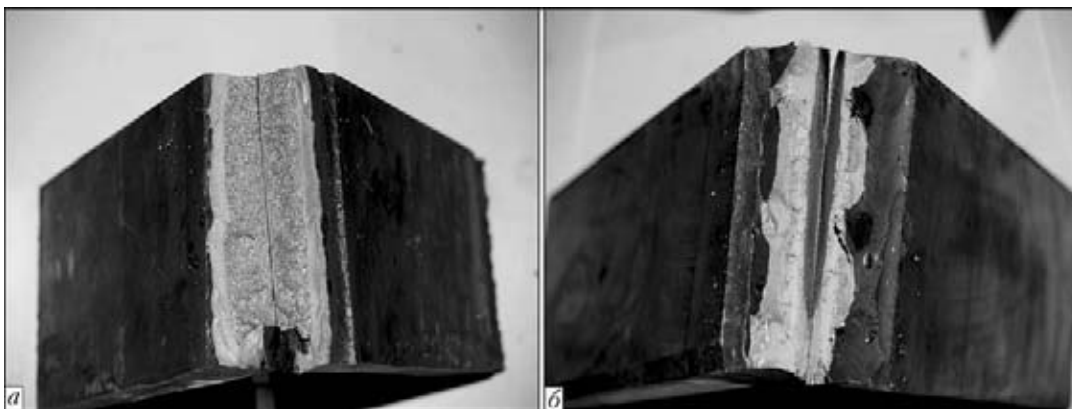


Рис. 3. Характерные изломы сварных соединений рельсовой стали с V- (а) и U-образной (б) формами разделки, выполненных с предварительным подогревом до 150 °С на погонной энергии 8,6 кДж/см после испытаний на трехточечный изгиб

значения $h_{кр}$ в 1,5 раза. При этом также изменяется характер самого разрушения сварных соединений. Образование трещин и разрушение соединений с V-образной формой разделки происходило исключительно по металлу зоны сплавления и околошовной (участок крупного зерна ЗТВ). Поверхность разрушения образцов отличалась крупнокристаллической структурой, что является признаком хрупкого разрушения (рис. 3). Разрушение сварных соединений с U-образной формой разделки протекало вязко, преимущественно по металлу шва, поверхность излома мелкокристаллическая.

Увеличение погонной энергии сварки от 8,6 до 28,5 кДж/см позволяет дополнительно повысить значение $h_{кр}$ соединений рельсовой стали практически в 1,3 раза (рис. 4).

Для повышения сопротивляемости сварных соединений высокоуглеродистых сталей против образования холодных трещин широко используют технологический процесс, направленный на замедление их охлаждения после сварки. Это способствует релаксации сварочных напряжений в соединениях и более полному протеканию про-

цессов диффузии водорода в металле. Так, например, гребни колес грузовых вагонов после восстановительной наплавки охлаждают в специальных термокамерах [4]. Оценка влияния данной технологической операции на сопротивляемость сварных соединений рельсовой стали статическому нагружению изгибом была целью дальнейших исследований, проводимых применительно к стыковым соединениям рельсовой стали с U-образной формой разделки кромок, сварку которых осуществляли проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в смеси газов на погонной энергии 28,5 кДж/см с предварительным подогревом до 250 °С. Одну часть образцов после сварки охлаждали на воздухе, а другую — помещали в термокамеру. Таким образом, скорость их охлаждения замедлялась до 50 °С/ч. Результаты выполненных исследований, представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что данная технологическая операция позволяет повысить уровень кри-

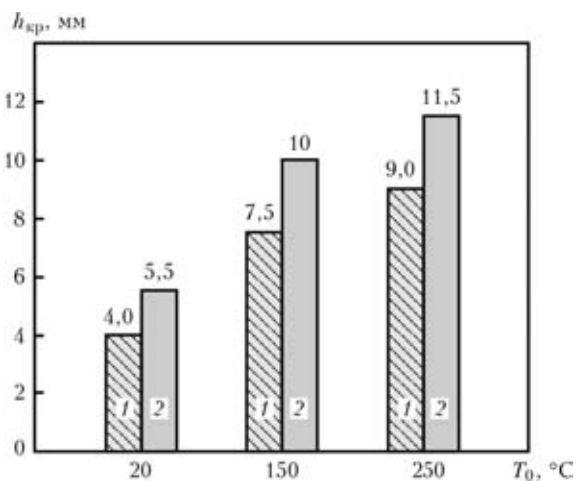


Рис. 4. Влияние погонной энергии сварки и температуры предварительного подогрева на критическую деформацию сварных соединений рельсовой стали с U-образной формой разделки: 1 — 8,6; 2 — 28,5 кДж/см

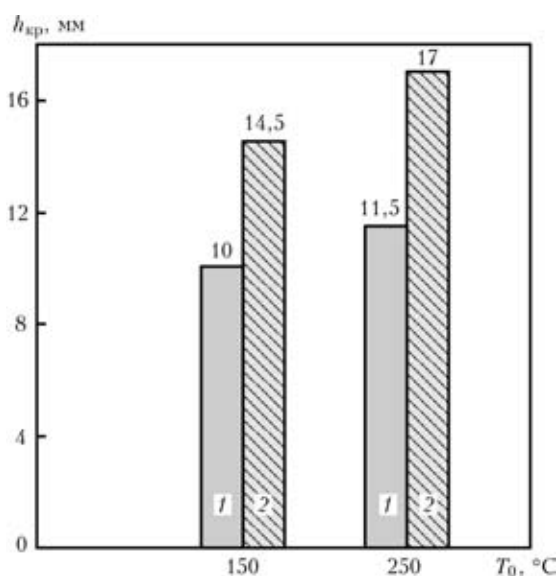


Рис. 5. Влияние условий послесварочного охлаждения на критическую деформацию сварных соединений рельсовой стали с U-образной формой разделки, выполненных на погонной энергии 28,5 кДж/см: 1 — охлаждение на воздухе при 20 °С; 2 — охлаждение в термокамере со скоростью 50 °С/ч

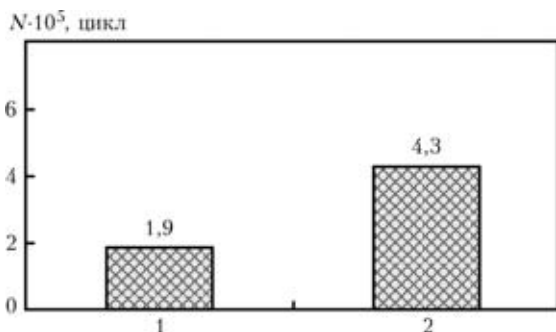


Рис. 6. Влияние V- (1) и U-образной (2) форм разделки на циклическую долговечность сварных соединений рельсовой стали

тической деформации сварных соединений рельсовой стали, по сравнению с образцами, охлаждение которых производили на воздухе практически на 40 %.

Выполненные исследования показали, что за счет перехода от V- к U-образной форме разделки кромок, повышения погонной энергии сварки от 8,6 до 28,5 кДж/см, применения предварительного подогрева соединений до 250 °С и замедления скорости охлаждения после сварки до 50 °С/ч деформационную способность сварных соединений рельсовой стали можно повысить более чем в четыре раза.

Влияние формы разделки кромок на сопротивление сварных соединений рельсовой стали усталостным разрушениям исследовали в соответствии с общепринятыми методиками испытаний на усталость [5] на установке УМП-1 при симметричных циклах нагружения изгибом с частотой 14 Гц при напряжении цикла 40 МПа. В качестве образцов использовали стыковые соединения рельсовой стали размером 250×85×18 мм с V- и U-образной формами разделки без полного провара, что позволило смоделировать условия выполнения продольного шва рельсовых окончаний.

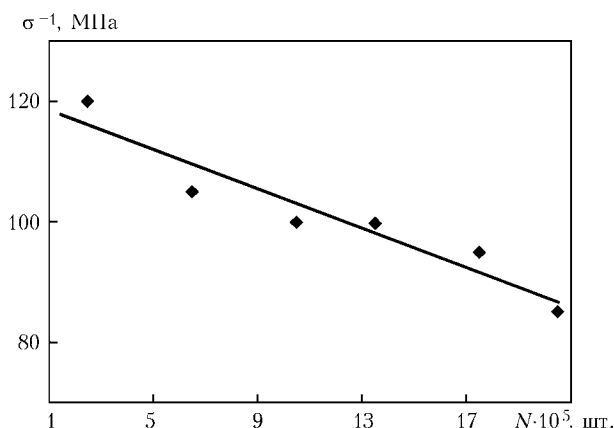


Рис. 7. Влияние напряжений цикла на циклическую долговечность сварных соединений рельсовой стали с U-образной формой разделки, выполненных с предварительным подогревом до 250 °С на погонной энергии 28,5 кДж/см

Образцы сваривали без предварительного подогрева в смеси защитных газов проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на режимах, обеспечивающих погонную энергию 9,2 кДж/см при выполнении корневого валика шва и 28,5 кДж/см при заполнении оставшейся части разделки. Это, с одной стороны, дало возможность уменьшить долю участия основного металла в металле шва, а с другой — избежать образования горячих трещин в соединении.

В результате выполненных исследований установлено (рис. 6), что сопротивление разрушению при циклическом нагружении сварных соединений с V-образной формой разделки в два раза ниже, чем у соединений с U-образной формой разделки (образование усталостной трещины длиной 3 мм отмечено соответственно после 190000 и 430000 циклов нагружения).

Разрушение сварных соединений с V-образной формой разделки происходило по линии сплавления и металлу ЗТВ. Усталостная трещина в соединениях с U-образной формой разделки также образовалась на линии сплавления в зоне непровара. Дальнейшее их разрушение происходило по металлу шва. Таким образом, с позиций статической и циклической долговечности при изготовлении сварных соединений рельсовой стали предпочтение следует отдавать соединениям с U-образной формой разделки. Применительно к таким соединениям проводили исследования на завершающей их стадии.

Как и в предыдущем случае, сварку образцов осуществляли в смеси газов проволокой Св-08Г2С. Режимы сварки оставались неизменными. Отличие состояло в том, что образцы сваривали с полным проваром, перед сваркой их подогревали до температуры 250 °С, а после сварки помещали в термокамеру с целью замедления скорости их охлаждения. Таким образом воспроизвели технологический процесс, при котором свар-



Рис. 8. Поверхность излома сварного соединения рельсовой стали с U-образной формой разделки, выполненного с предварительным подогревом до 250 °С на погонной энергии 28,5 кДж/см после циклического нагружения изгибом



ные соединения рельсовой стали приобретали наибольшую деформационную способность.

Результаты испытаний, проводимых при напряжениях цикла 120, 105, 95 и 85 МПа, приведены на рис. 7. Они показали, что при напряжении цикла 120 МПа усталостные трещины длиной 3 мм образовывались после примерно 220000 циклов нагружения, еще через 50000 циклов нагружения образцы разрушались полностью. Зарождение и начальное развитие трещины происходило по линии сплавления, а затем по околосшовному металлу ЗТВ. Отмечено, что после того, как трещина образовалась на 10 % общей площади сечения образца, дальнейшее его разрушение происходило хрупко (рис. 8).

При снижении напряжения цикла до 105 МПа усталостная трещина длиной 3 мм образовалась после 643000 циклов, а при 95 МПа — через 1760000 циклов нагружения.

В двух из трех образцов, испытание которых проводили при напряжении цикла 85 МПа, после 2000000 циклов трещины не обнаружены и поэтому испытания прекратили. В одном из образцов усталостная трещина длиной менее 1 мм образовалась на линии сплавления соединения после 1901000 циклов нагружения, но поскольку при дальнейшем нагружении она не развивалась, испытания также прекратили. Это дало нам основание считать нагрузку в 85 МПа условным пределом выносливости сварных стыковых соединений рельсовой стали, выполненных по предложенной технологии.

Дополнительные исследования по отработке предложенной технологии сварки соединений рельсового окончания проводили при изготовлении опытной партии стрелочных переводов на ОАО «Днепропетровский стрелочный завод». Эксплуатационные испытания стрелочных переводов с рельсовыми окончаниями, электродуговую сварку которых выполняли по разработанной технологии, подтвердили высокие надежность и качество изделий. На основании этих испытаний технология электродуговой сварки рельсовых

окончаний внедрена в серийное производство, а на разработанный способ дуговой сварки продольного шва рельсового окончания выдан патент Украины [6].

Выводы

1. Установлено, что конструктивно продольные швы рельсового окончания следует выполнять с U-образной формой разделки.

2. Показано, что механизированную сварку рельсового окончания необходимо осуществлять на повышенных значениях погонной энергии в смеси защитных газов на режимах, обеспечивающих струйный процесс переноса электродного металла.

3. Определено, что для обеспечения высокой деформационной способности и повышения долговечности сварных соединений рельсовой стали перед сваркой их следует подогревать до температуры 250 °С, а после сварки — обеспечивать замедленное охлаждение со скоростью около 50 °С/ч.

1. Кучук-Яценко С. И., Швец Ю. В., Кавуниченко А. В. Работоспособность соединений железнодорожных крестовин, выполненных контактной стыковой сваркой // Автомат. сварка. — 2008. — № 9. — С. 39–42.
2. Сергиенко Ю. В., Сагиров И. В. Прогнозирование возникновения закалочных структур при сварке рельсовых сталей // Сб. докл. по материалам науч. семинара «Современные достижения в области сварки, наплавки и родственных технологий» (Мариуполь, нояб. 2000 г.). — Мариуполь: Приазов. гос. ун-т, 2000. — С. 9–12.
3. Формирование свойств сварных соединений рельсовой стали при электродуговой сварке / В. Д. Позняков, В. М. Кирьяков, А. А. Гайворонский и др. // Автомат. сварка. — 2010. — № 8. — С. 16–20.
4. Влияние технологических факторов на структуру и свойства металла ЗТВ при ремонтно-восстановительной наплавке гребней цельнокатаных вагонных колес / В. А. Саржевский, А. А. Гайворонский, В. Г. Гордонный, В. Ф. Горб // Там же. — 1996. — № 3. — С. 22–27, 33.
5. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках / Под ред. В. И. Труфякова. — Киев: Наук. думка, 1990. — 255 с.
6. Пат. 91938 Україна, МПК В 23 К 9/16, В 23 К 9/23. Спосіб електродугового зварювання / С. Д. Тараненко, В. А. Прощенко, В. М. Кір'яков та ін. — Опубл. 10.09.2010; Бюл. № 17.

Investigation results on the effect of the technological factors and groove shape on deformability and cyclic fatigue life of welded joints on rail steel are given. Dependences of variations in deformability hcr of butt joints with the V- and U-grooves on the welding heat input, preheating temperature and conditions of cooling of the joints after welding are presented. The technology developed for arc welding of longitudinal joints in rail ends of railway frogs is considered.

Поступила в редакцию 30.06.2011



КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ ФОЛЫГ

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

Рассмотрен процесс контактной стыковой сварки сопротивлением жаропрочного никелевого сплава Rene 80 с использованием наноструктурных фольг систем Ti–Al и Ag–Cu. Исследованы особенности формирования сварных соединений и их микроструктура. Показано распределение микротвердости в сварных соединениях.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, жаропрочный никелевый сплав, непровар, микротрещина, наноструктурная фольга, основной металл, зона термического влияния, распределение микротвердости, микроструктура

Научно-технический прогресс предъявляет все более высокие требования к жаропрочности материалов в сочетании с пластичностью, сопротивлением термической и малоцикловой усталости, устойчивостью против действия газовой среды, долговечностью. Это стимулирует развитие работ по разработке и внедрению новых сплавов, в частности жаропрочных литейных сплавов на никелевой основе.

Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе эффективно применяются в промышленности как материал для деталей газотурбинных двигателей [1, 2]. С учетом одного из способов повышения уровня свойств (оптимизации легирования) предложен экспериментальный литейный жаропрочный сплав на никелевой основе, химический состав которого следующий, мас. %: 0,17 C; 18,0 Cr; 8,5 Co; 1,8 Mo; 2,6 W; 0,9 Nb; 3,4 Ti; 3,5 Al; 1,75 Ta; $0,5 \leq \text{Fe}$; Ni — остальное. Отличительной особенностью этого сплава является повышенное содержание алюминия, титана (соответственно 3,5 и 3,4 мас. %) и других легирующих элементов.

Металлографические исследования показали, что структура сплава типична для литого металла (рис. 1). Основу составляют дендриты γ -фазы, представляющие собой сложнелегированный твердый раствор на основе никеля. В междендритном пространстве располагаются фазы двух видов. Очевидно, это γ' -фаза на основе соединения $(\text{Ni}, \text{Cr})_3(\text{Ti}, \text{Al})$ и карбиды типа MeC, способные создавать такие элементы, как титан, тантал, ниобий. Местоположение этих фаз свидетельствует о том, что выделение их происходило при кристаллизации междендритного расплава с γ' -фазы и карбидов. Единичные включения этих фаз обнаружены и в объеме дендритов.

Размеры γ' -фазы и карбидов больше, чем таковые при дисперсионном выделении из твердого раствора. Это, а также преимущественное расположение по границам зерен, меняет их роль в укреплении сплава. Уровень жаропрочности определяет замедление зернограничного скольжения.

Внедрение новых сплавов осложняется проблемой получения их неразъемных соединений между собой и с другими материалами. Сложное легирование химически активными элементами и термическая нестабильность при высоких температурах вызывает определенные трудности при сварке жаропрочных сплавов.

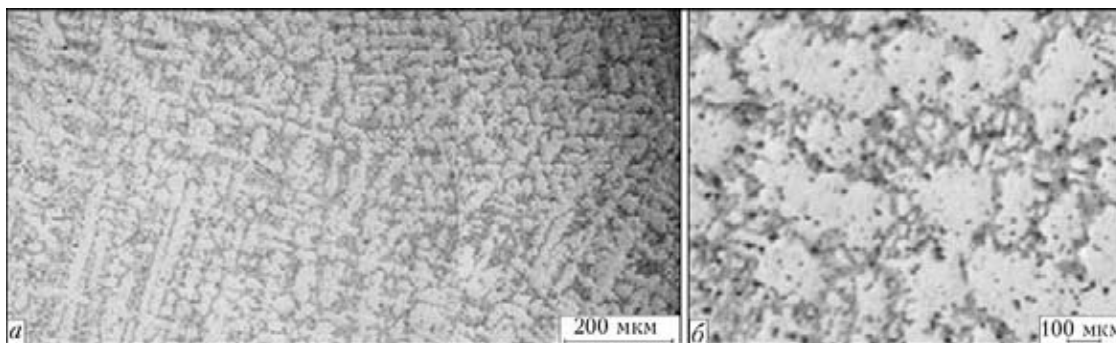


Рис. 1. Микроструктуры (а, б) литейного жаропрочного никелевого сплава Rene 80

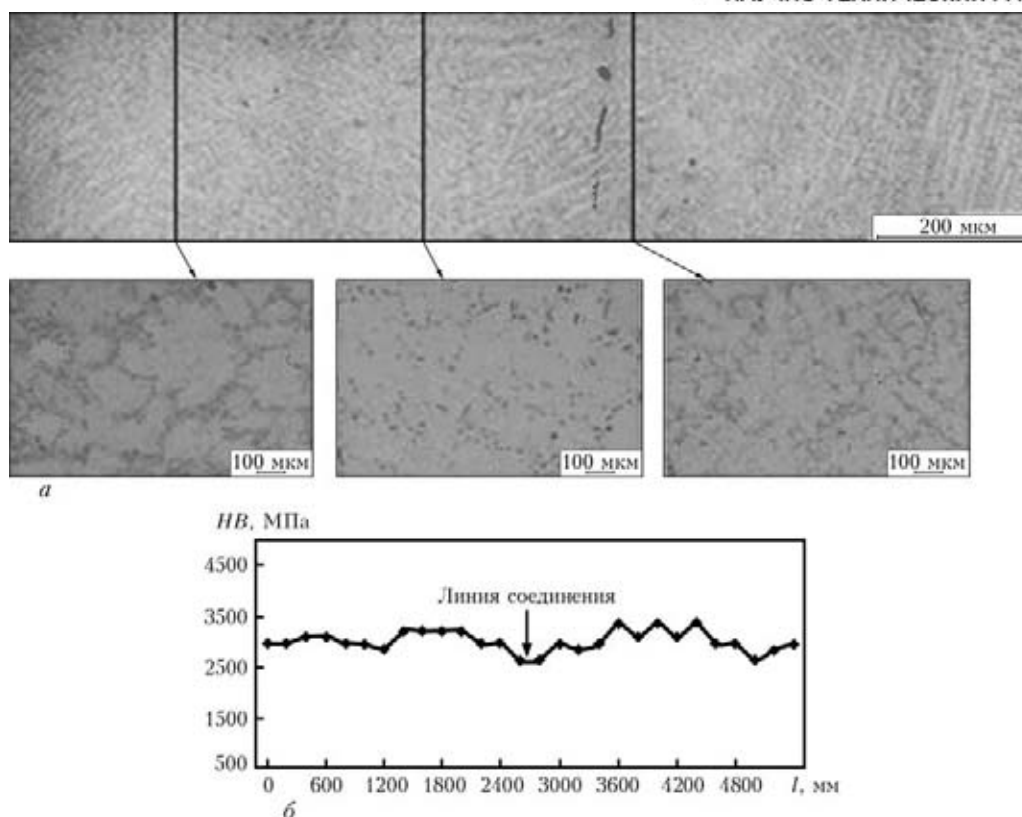


Рис. 2. Микроструктура (а) и распределение микротвердости в соединении жаропрочного сплава, полученного без использования наноструктурных фольг (б)

Контактная стыковая сварка (КСС) обеспечивает локальный высокоскоростной ввод тепла в зону соединения [3]. С учетом опыта предыдущих разработок по КСС таких сложносвариваемых материалов [4, 5] предложено осуществлять сварку жаропрочного никелевого сплава с использованием наноструктурных фольг.

В данной работе использовали наноструктурные фольги систем Ti–Al и Ag–Cu. Производство подобных наноструктурных фольг на основе парофазной технологии освоено в ИЭС им. Е. О. Патона [6].

Фольга системы Ti–Al представляет собой многослойную композицию из чередующихся слоев титана и алюминия, отвечающих стехиометрическому составу γ' -Ti–Al. Нагрев такой фольги до температуры приблизительно 300 °C приводит к взаимодействию титана и алюминия с образованием интерметаллида. Реакция взаимодействия развивается с большой скоростью и сопровождается выделением дополнительного тепла.

Фольга системы Ag–Cu по составу близка к эвтектическому состоянию сплавов системы Ag–Cu. Температура плавления эвтектики составляет 779 °C [7]. Образование на контактной границе расплава при температуре, меньшей температуры плавления сплава, благоприятно влияет на формирование соединения.

КСС проводили на модернизированной установке «Schlatter». Максимальная мощность установки

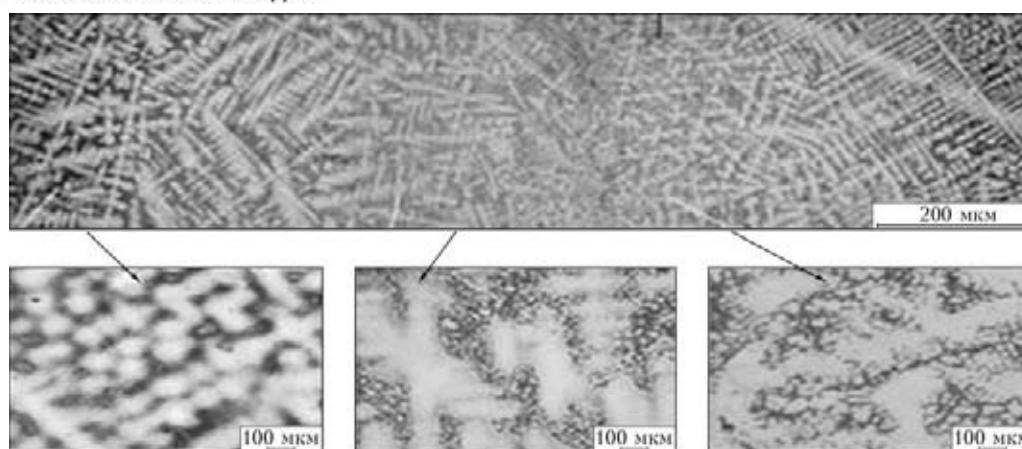
составляла 25 кВ·А, усилие осадки — 800 МПа. Сварку образцов размером 10×10×100 мм осуществляли на воздухе при давлении 2 МПа, сварочном токе 4...5 кА и времени сварки 3...5 с.

Анализ микроструктуры и химической неоднородности соединений проводили на оптическом микроскопе «НЕОФOT 32» и растровом электронном микроскопе ISM-840 с микроанализатором Link-system.

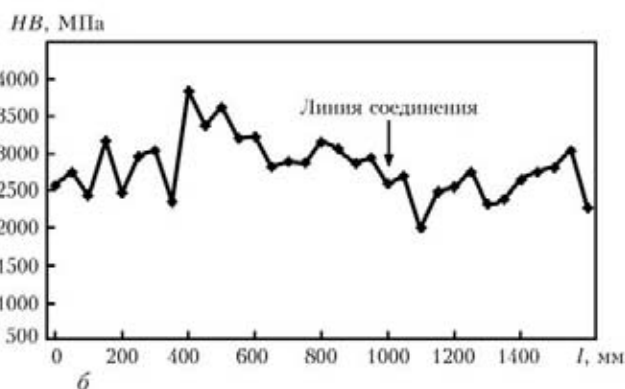
Для оценки механических свойств сварных соединений определяли распределение микротвердости на микрозондовой компьютеризированной системе «Микрон–гамма».

При КСС сплава в однородном соединении без использования фольг в зоне соединения зафиксированы дефекты — непровары, микротрещины (рис. 2). Вероятной причиной неудовлетворительного формирования соединений является неравномерный нагрев образцов.

В зоне термического влияния полученного соединения отмечено следующее (рис. 2). К основному металлу с древовидными дендритами примыкает участок с равновесными зернами γ' -фазы. Количество карбидов и γ' -фазы при этом сохраняется. На примыкающем к шву участке количество карбидов и γ' -фазы значительно уменьшается. По границам зерен обнаружены единичные выделения этих фаз. Далее дендритная структура и количество карбидов и γ' -фазы восстанавливаются.



а

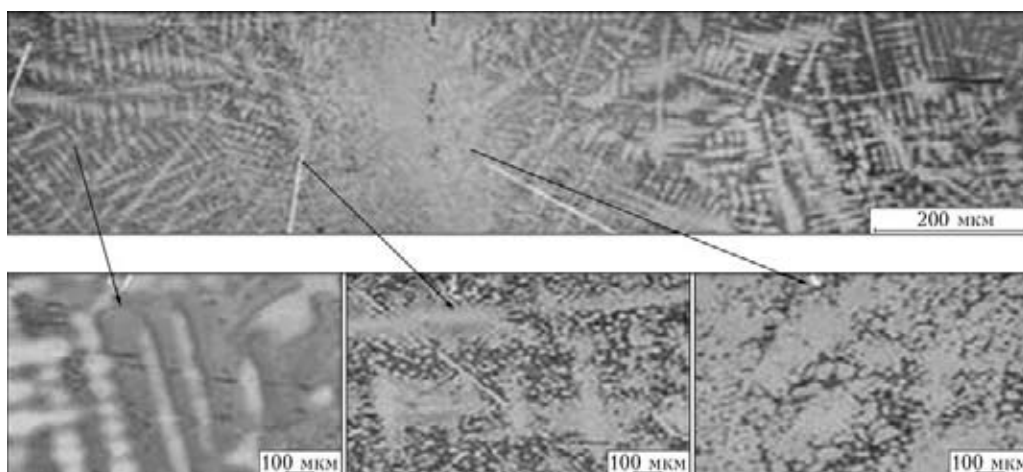


б

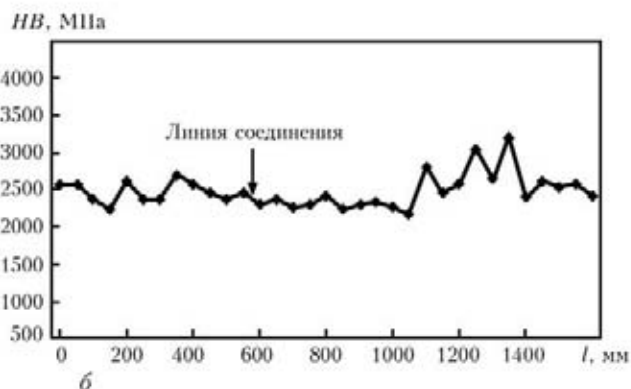
Рис. 3. Микроструктура (а) и распределение микротвердости в соединении жаропрочного сплава, полученного с использованием наноструктурной фольги системы Ti–Al (б)

Для оценки изменения прочностных характеристик в зоне термического воздействия было проанализировано распределение микротвердости.

Как видно, снижение микротвердости в основном металле от 3000 до 2500 МПа зафиксировано на участке с измельченными зернами твердого



а



б

Рис. 4. Микроструктура (а) и распределение микротвердости в соединении жаропрочного сплава, полученного с использованием наноструктурной фольги системы Ag–Cu (б)



раствора, который формируется по линии соединения (см. рис. 2). Увеличение микротвердости выше 3000 МПа происходит на участке частичного растворения и, вероятно, дальнейшего дисперсионного выделения упрочняющей γ' -фазы в твердом растворе (см. рис. 2).

На следующем этапе получены сварные соединения сплава с использованием наноструктурных фольг систем Ti–Al, Ag–Cu.

В зоне термического влияния соединений обнаружен распад пересыщенного твердого раствора в междендритных объемах металла и формирование упрочняющей γ' -фазы (рис. 3, 4). В срединной части термомеханическое воздействие приводит к измельчению структуры.

В соединении, полученном с использованием фольги системы Ti–Al, сохраняются древовидные дендриты, фрагменты фольги в шве не зафиксированы (см. рис. 3), а в соединениях, полученных с использованием фольги системы Ag–Cu, отмечены равноосные зерна (см. рис. 4). Микроструктура в этом случае является результатом твердожидкого взаимодействия эвтектического расплава системы Ag–Cu с основным металлом сплава.

Сравнительный анализ распределения микротвердости показал, что в срединной части соединения, полученного с использованием фольги системы Ti–Al, микротвердость возрастает по от-

ношению к основному металлу и составляет около 3000 МПа. В то же время в срединной части соединения, выполненного с применением фольги системы Ag–Cu, микротвердость ниже, чем в основном металле, и составляет около 2250 МПа.

Таким образом, использование наноструктурных фольг при КСС жаропрочного никелевого сплава позволяет обеспечить равномерный высококонцентрированный нагрев зоны соединения и снизить температуру процесса, что предотвращает разупрочнение основного металла.

1. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1969. — 752 с.
2. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления / Б. Е. Патон, Г. Б. Строганов, С. Т. Кишкин и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
3. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
4. Особенности контактной стыковой сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминий-никелевых и алюминий-медных фольг / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швеи, А. Г. Сахацкий, А. А. Наконечный // Свароч. пр-во. — 2007. — № 9. — С. 12–14.
5. Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминий-титановых фольг / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швеи, А. Г. Сахацкий, А. А. Наконечный // Автомат. сварка. — 2008. — № 6. — С. 5–7.
6. Мовчан Б. А. Неорганические материалы, осажденные из паровой фазы в вакууме // Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. — Киев: Наук. думка, 1998. — С. 318–332.
7. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди / Под ред. С. В. Шухардина. — М.: Наука, 1979. — 248 с.

The process of resistance flash-butt welding of high-temperature nickel alloy Rene80 using nano-structured foils of Ti–Al and Ag–Cu system is considered. Features of welded joint formation and their microstructure are studied. Microhardness distribution in welded joints is shown.

Поступила в редакцию 24.06.2011

Шестая МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ТЕРМООБРАБОТКА

25–27 сентября 2012

Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

Основные разделы:

- Промышленные печи: муфельные, вакуумные, плавильные, шахтные, камерные, электropечи
- Индукционный нагрев: ТВЧ продукция, индукционные печи
- Оборудование для химико-термической обработки: азотирования, цементации и т. д.
- Закалочное оборудование, масла и среды
- Лабораторные печи, сушильные шкафы
- Оснастка для термического оборудования
- Размерная и поверхностная обработка: формообразование, напыление
- Автоматизация термообработки, системы управления, контроль качества, теплотехнические измерения
- Энергосберегающие технологии термических производств

Контакты: ООО «Выставочная компания «Мир-Экспо»

Россия, 115533, пр-т Андропова, 22

Тел./факс: 8 499 618-0565, 8 499 618-36-83

E-mail: info@htexporus.ru



РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ БЕЙНИТНОГО КЛАССА

В. Н. ШЛЕПАКОВ, д-р техн. наук, **Ю. А. ГАВРИЛЮК**, **С. М. НАУМЕЙКО**, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изложены результаты исследований влияния легирования на формирование структуры и механические свойства металла швов при сварке газозащитными порошковыми проволоками и разработки композиции сердечника проволоки, обеспечивающей получение предела текучести не менее 590 МПа и работу удара более 50 Дж при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для базовой системы легирования C–Si–Mn–Ni–Mo определено оптимальное дополнительное микролегирование цирконием, которое позволяет достичь уменьшения объемной доли и размеров неметаллических включений, а также увеличения доли дисперсных составляющих структуры металла и обеспечить требуемый уровень прочности металла сварного шва и его вязкопластических свойств при низкой температуре.

Ключевые слова: электродуговая сварка, низколегированные стали, порошковые проволоки, свойства металла сварного шва, структура, неметаллические включения, микролегирование

Расширение производства и применения в промышленности и строительстве высокопрочных низколегированных сталей вызвало необходимость создания новых сварочных материалов, отвечающих высоким требованиям, предъявляемым к показателям механических свойств, в частности, прочности и ударной вязкости.

Целью настоящей работы является разработка композиции сердечника проволоки, обеспечивающей получение металла шва с пределом текучести не менее 590 МПа и требуемые значения работы удара при низких температурах (более 50 Дж при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) [1]. Достижение такого уровня показателей при традиционных системах легирования является сложной задачей.

Опыт разработки низколегированных сварочных материалов, в частности, порошковых проволок, свидетельствует о целесообразности использования систем легирования, близких по сос-

таву к системе легирования свариваемой стали с учетом различных условий формирования структуры металла при прокатке и сварке. Основу легирования обычно составляет система C–Si–Mn–Ni–Mo (Cr–Cu). Необходимые показатели прочности достигаются с помощью легирования металла в системе C–Si–Mn–Ni–Mo за счет твердорастворного упрочнения [2, 3]. Регулирование вязкопластических свойств требует выбора системы легирования и микролегирования, обеспечивающих образование дисперсных структурных составляющих, которые имеют высокую сопротивляемость хрупкому разрушению [4, 5].

Исследования проводили на опытных партиях порошковой проволоки диаметром 1,2 мм со шлакообразующей системой рутил-флюоритного типа при сварке пластин из стали марки АБ-1 (размером 400×200 мм, толщиной 20 мм с V-образной разделкой кромок) в среде защитного газа 85 Ar + 15 CO₂ в нижнем положении с погонной энергией сварки 1,3...1,7 кДж/мм (сварочный ток 180...220 А, напряжение дуги 28 В). Перед наложением каждого последующего валика сварив-

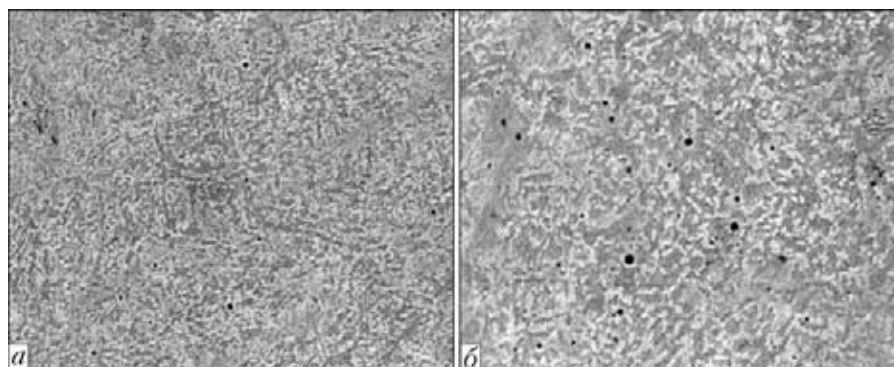


Рис. 1. Микроструктуры металла шва, легированного C–Si–Mn–Ni–Mo: а — $\times 1000$; б — $\times 2000$



Таблица 1. Содержание легирующих элементов и примесей в металле сварных швов, мас. %

№ шва	C	Si	Mn	Ni	Mo	Ti	Al	Zr	S	P
1	0,07...0,09	0,2...0,4	1,0...1,4	2,0...2,4	0,15...0,25	0,01...0,015	0,025...0,035	—	0,011...0,016	0,016...0,020
2								0,007...0,009	0,012...0,016	0,016...0,020
3								0,010...0,015	0,011...0,016	0,016...0,020

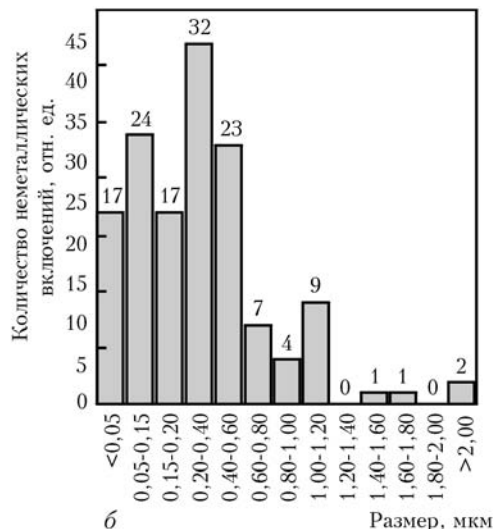
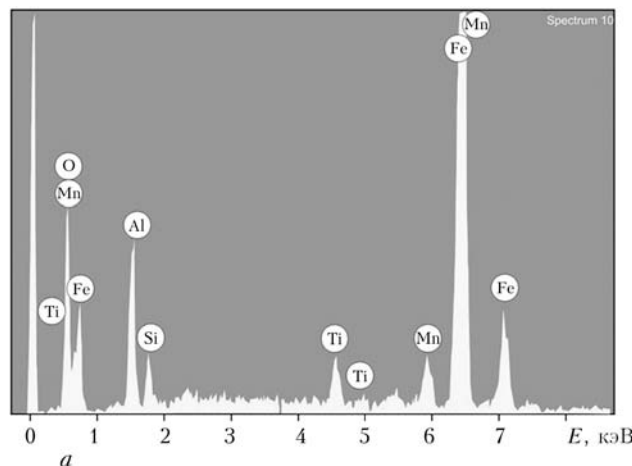


Рис. 2. Элементный состав (а) и распределение неметаллических включений по размерам в металле шва системы C–Si–Mn–Ni–Mo (б)

ваемое соединение охлаждалось до температуры 90...110 °С. Содержание легирующих элементов и примесей в металле шва варьировалось в пределах, указанных в табл. 1. Для получения более высоких значений работы удара металла сварного шва при низких температурах применили микролегирование цирконием путем введения в состав порошковой проволоки ферросплава системы Fe–Si–Zr. Влияние микролегирования исследовали при содержании циркония в металле шва в пределах 0,007...0,015 мас. % (табл. 1). Цирконий выполняет функции раскислителя и модификатора металла сварного шва за счет образования карбидов, нитридов и оксидов, которые оказывают влияние на характер структурных превращений стали. Анализ структуры, состава и распределения неметаллических включений по размерам провели с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-35CF «JEOL», который оснащен энергодисперсионным анализатором.

Структура металла сварного шва без микролегирования цирконием представляет собой бейнит с участками игольчатого

феррита (рис. 1). Распределение неметаллических включений по размерам и их состав приведены на рис. 2 (среднее содержание анализируемых элементов в неметаллических включениях, мас. %: 44,89 O; 0,05 Mg; 14,62 Al; 5,94 Si; 3,58 S; 7,22 Ti; 23,7 Mn). Как показал анализ химического состава неметаллических включений, они состоят

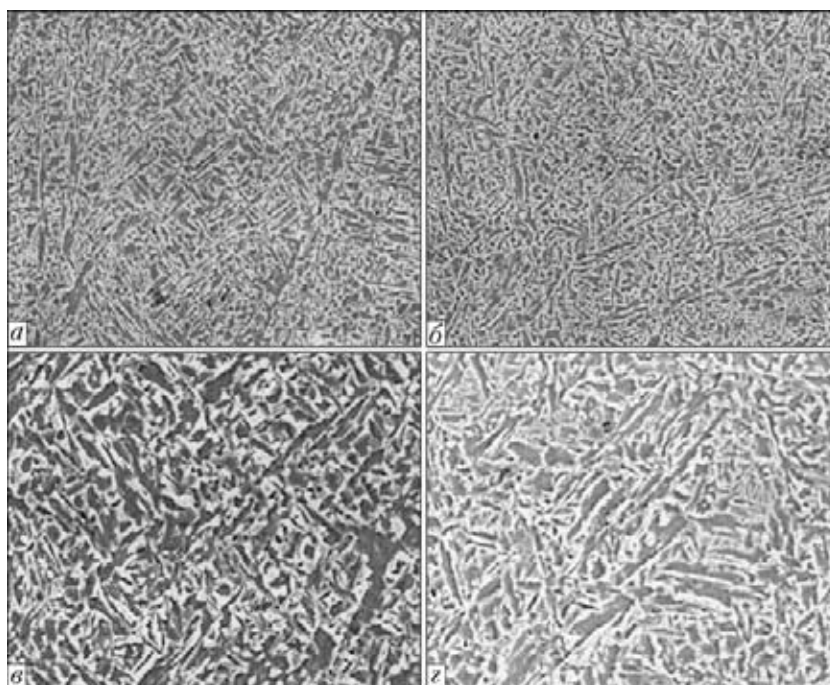


Рис. 3. Микроструктуры металла шва системы легирования C–Si–Mn–Ni–Mo, микролегированного цирконием: а, в — 0,007 мас. %; б, г — 0,015; а, б — $\times 1000$; в, г — $\times 2000$

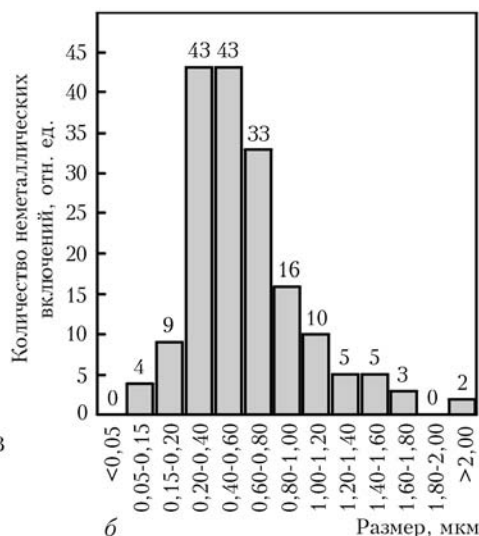
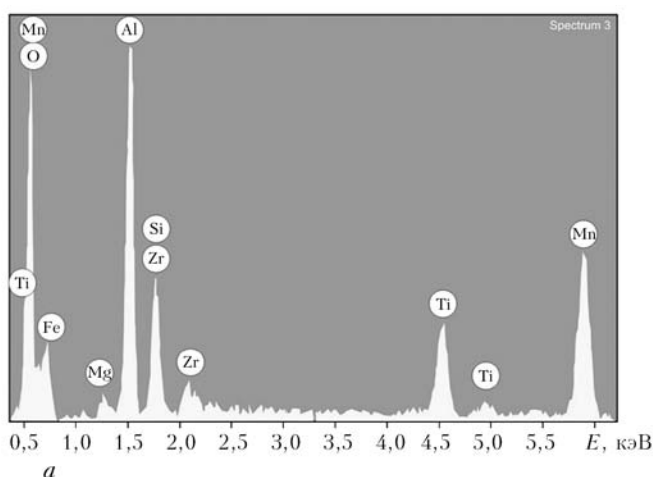


Рис. 4. Элементный состав (а) и распределение неметаллических включений по размерам в металле шва системы C–Si–Mn–Ni–Mo, микролегированном 0,007 мас. % Zr (б)

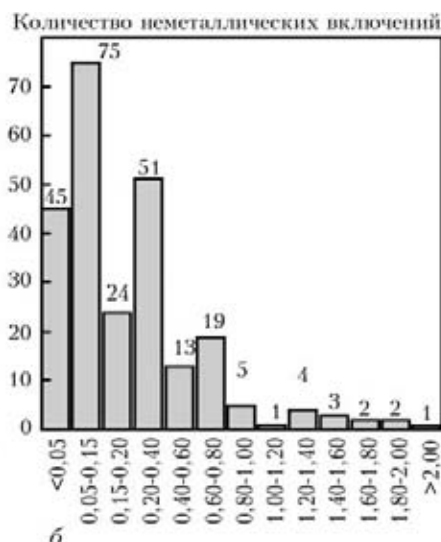
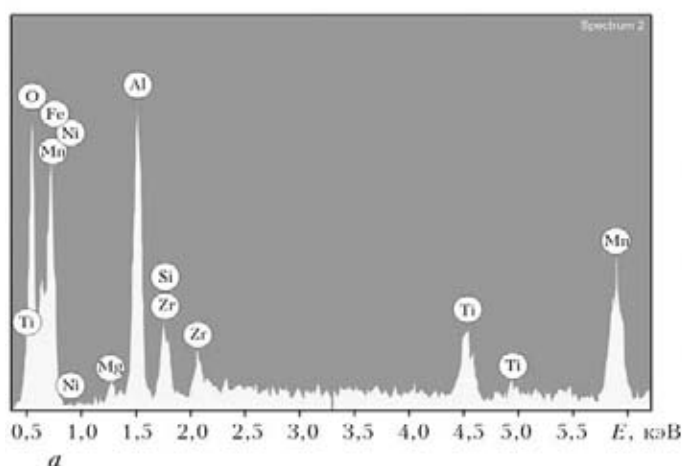


Рис. 5. Элементный состав (а) и распределение неметаллических включений по размерам в металле шва системы C–Si–Mn–Ni–Mo, микролегированном 0,015 мас. % Zr (б)

преимущественно из оксидов марганца, кремния алюминия и титана (рис. 2, а). Во включениях также присутствует небольшое количество окси-сульфидов — примерно до 3,6 мас. %.

Значения, полученные при испытаниях, следующие: работа удара $KV_{-50} = 30...40$ Дж, что ниже предъявляемых требований (табл. 2).

Структура металла сварного шва, микролегированного цирконием, представляет собой мелкодисперсный феррит различных модификаций: игольчатый с неупорядоченной второй фазой и

полигональный (доэвтектоидный) феррит в виде фрагментов ферритных оторочек (рис. 3). Объемная доля дисперсных составляющих (бейнита) в структуре металла шва, микролегированного цирконием на уровне 0,007 мас. %, составляет порядка 65 %, остальное — полигональный феррит. При повышении микролегирования цирконием до 0,015 мас. % доля дисперсных структур возрастает до 70 об. %, при этом размеры иголок игольчатого феррита уменьшаются в среднем в 1,5 раза в сравнении со структурой металла шва, микролегированного цирконием на уровне 0,007 мас. %. Составы неметаллических включений и распределения их по размерам для сварных швов, микролегированных цирконием, приведены на рис. 4 и 5. Среднее содержание анализируемых элементов в неметаллических включениях металла шва, микролегированном 0,007 мас. % Zr, мас. % — 46,66 O; 1,45 Mg; 20,17 Al; 4,95 Si; 5,79

Таблица 2. Механические свойства металла сварных швов

№ шва	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	KV_{-50} , Дж
1	600...630	680...710	18...22	30...40
2	610...640	690...720	24...27	65...75
3	600...630	700...730	22...26	58...70

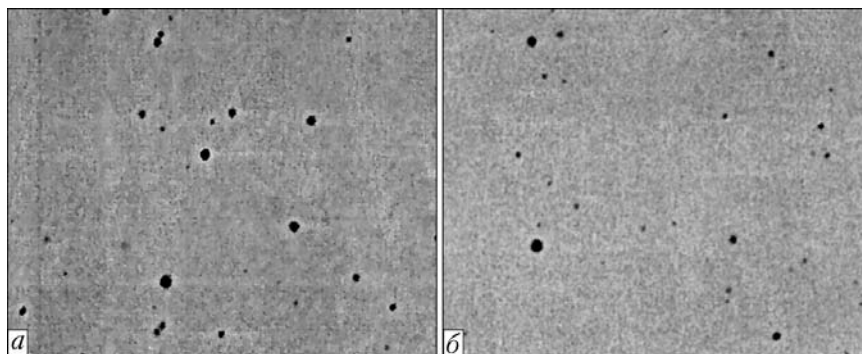


Рис. 6. Типичное распределение неметаллических включений в металле шва системы легирования C–Si–Mn–Ni–Mo ($\times 3400$): *a* — без микролегирования цирконием; *б* — с микролегированием цирконием на уровне около 0,011 мас. %

Ti; 19,08 Mn; 1,9 Zr; микролегированном 0,015 мас. % Zr — 45,64 O; 1,17 Mg; 21,53 Al; 3,14 Si; 6,54 Ti; 16,91 Mn; 5,07 Zr. При микролегировании металла шва цирконием объемная доля неметаллических включений уменьшается примерно в 2 раза за счет образования оксисульфидов циркония, которые удаляются в шлаковую фазу.

При этом также уменьшается средний размер самих включений приблизительно на 15 %. Микролегирование цирконием металла сварного шва способствует более равномерному распределению неметаллических включений (рис. 6). По результатам испытаний показатели работы удара сварного соединения при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляют 65...75 Дж, что отвечает требованиям (см. табл. 1 и 2).

В результате проведенных исследований создана порошковая проволока с сердечником рутил-флюоритного типа, предназначенная для сварки в среде защитного газа металлоконструкций из сталей с пределом текучести не менее 590 МПа, обеспечивающая достижение требуемого уровня вязкопластических свойств металла шва.

Выводы

1. Использование базового легирования C–Si–Mn–Ni–Mo с дополнительным микролегированием цирконием позволяет обеспечить требуемый уровень прочности (предел текучести более 590 МПа) и

ударной вязкости сварного соединения (работа удара более 50 Дж при температуре испытаний $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

2. Оптимальное содержание циркония в металле сварного шва, при котором достигается уменьшение объемной доли и размеров неметаллических включений и увеличение доли дисперсных составляющих структуры металла, находится в пределах 0,007...0,009 мас. %.

1. *Высокопрочные стали для корпусов судов, морских сооружений и глубоководной техники* / И. В. Горынин, В. А. Малышевский, Ю. Л. Легостаев, Л. В. Грищенко // Прогресс. материалы и технологии. — 1996. — № 2. — С. 23–24.
2. Thomson S. W., Krauss G. Austenite decomposition during continuous cooling of HSLA-80 plate steel // Metallurgical and Materials Transactions A. — 1996. — 27, June. — P. 1557–1571.
3. Tailor D. J., Evans G. M. Development of MMA electrodes for offshore fabrication // Metal Constr. — 1983. — 15, № 8. — P. 438–443.
4. Zhang Z., Farrar R. A. Influence of Mn and Ni on microstructure and toughness of C–Mn–Ni weld metals // Welding J. — 1997. — 76, № 5. — P. 183–190.
5. Wang W., Liu S. Alloying and microstructural management in developing SMAW electrodes of HSLA-100 steel // Ibid. — 2002. — 81, № 7. — P. 132–145.
6. Грабин В. Ф. Металловедение сварки плавлением. — Киев: Наук. думка, 1982. — 416 с.
7. Влияние химической неоднородности на образование игольчатого феррита в высокопрочном наплавленном металле швов / Г. М. Григоренко, В. А. Костин, В. В. Головкин, В. Ф. Грабин // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 3–8.

Given are the results of investigation of the effect of alloying on formation of structure and mechanical properties of the weld metal in gas-shielded flux-cored wire welding, as well as of development of composition of a core of the wire providing the yield strength value of not less than 590 MPa and impact energy of more than 50 J at $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Optimal additional microalloying with zirconium was determined for the basic C–Si–Mn–Ni–Mo alloying system. This microalloying allows decreasing the volume fraction and sizes of non-metallic inclusions, as well as increasing the share of dispersed components in metal structure, and provides the required level of strength of the weld metal and its low-temperature tough-ductile properties.

Поступила в редакцию 05.09.2011



АНАЛИЗ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДУГОВОЙ СВАРКИ (Обзор)

Я. П. ЛАЗОРЕНКО, инж., Е. В. ШАПОВАЛОВ, В. А. КОЛЯДА, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлен обзор текущего состояния исследований в области спектрального анализа излучения сварочной дуги. Рассмотрены влияние параметров сварки на спектр излучения сварочной дуги; спектральная диагностика плазмы сварочной дуги; автоматизация сварки на основе спектрального анализа излучения сварочной дуги; мониторинг процесса сварки; автоматическое обнаружение дефектов сварного шва.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварной шов, спектр сварочной дуги, спектральный анализ, автоматизация сварки, мониторинг сварки, диагностика сварного соединения, дефекты сварного шва

Идея применения спектрального анализа для автоматизации и мониторинга дуговой сварки состоит в том, что на основе оптического спектра излучения сварочной дуги можно получить ценную информацию о процессе сварки, например обнаружить отклонения параметров сварки от номинальных значений. По этим отклонениям могут быть определены потенциально дефектные участки сварных соединений. Возможность регистрировать отклонения параметров сварки в режиме реального времени позволит регулировать и корректировать сварочный процесс для обеспечения требуемого качества сварных соединений. Следовательно, спектральный анализ может быть использован как для целей мониторинга, так и для автоматизации процесса сварки.

Техническая реализация промышленных систем мониторинга и автоматического управления сваркой на основе спектрального анализа в настоящее время становится возможной благодаря применению современных цифровых спектрометров, осуществляющих измерение оптического спектра за несколько миллисекунд.

Цель данной статьи заключается в обобщении исследований, посвященных спектральному анализу излучения сварочной дуги.

К настоящему времени проведено много исследований в этой области [1–16], при этом развитие получили следующие направления:

- исследование влияния параметров сварки на спектр излучения дуги;

- спектральная диагностика плазмы сварочной дуги;

- мониторинг процесса сварки с помощью анализа спектра излучения дуги;

- автоматизация сварки на основе спектрального анализа излучения дуги.

В работах [1–4] исследовано влияние параметров сварки на спектр излучения сварочной дуги. Последний включает непрерывную составляющую, спектральные линии защитного и активного газов, а также спектральные линии металла сваряемых деталей.

В работах [1, 2] проведено экспериментальное исследование влияния сварочного тока на интенсивность спектральных линий металла и защитного газа при сварке ТИГ. В процессе сварки измерены спектры сварочной дуги при разных значениях. В качестве защитного газа применили аргон [1, 2] и гелий [1]. Для сварки использовали листы низкоуглеродистой, а также нержавеющей стали, медь, алюминий и титан. Анализ полученных спектров показал, что при сварке в аргоне с повышением сварочного тока интенсивность спектральных линий металла и защитного газа увеличивается. Эта зависимость имеет нелинейный характер. При сварке в гелии для разных металлов интенсивность их линий либо увеличивается, либо уменьшается, либо сначала увеличивается, а потом уменьшается.

В работе [2] исследовано влияние скорости подачи присадочной проволоки на спектр излучения сварочной дуги при сварке ТИГ. В ходе экспериментов выполнены сварные швы листов низкоуглеродистой стали и измерены спектры сварочной дуги в диапазоне 480...860 нм при различных отклонениях скорости подачи сварочной проволоки $v_{пр}$ от номинального значения, соответствующего технологическому стандарту. При превышении $v_{пр}$ номинального значения зафиксировано уменьшение интенсивности излучения дуги во всем диапазоне измеряемых частот спектра. При задержке подачи проволоки ($v_{пр} = 0$) интенсивность излучения существенно увеличилась на всех участках спектра в пределах диапазона измерений.

Влияние длины сварочной дуги на оптический спектр изучено в работе [3], в которой предложена математическая модель, определяющая зависи-



мость интенсивности излучения сварочной дуги от длины дуги и сварочного тока. Интегральная интенсивность излучения дуги B_{iv} в заданном спектральном диапазоне определяется согласно формуле

$$B_{iv} = G_1 L I^2 \left(e^{G_2/I} - \frac{1}{2} \right) + G_3 I^2 + G_4,$$

где I — сварочный ток; L — длина дуги; G_i — коэффициенты, зависящие от конкретных условий сварки. Как видим, в этой формуле зависимость между интенсивностью излучения B_{iv} и длиной дуги L является линейной.

Для проверки модели на адекватность проведены эксперименты, в которых измеряли интегральную интенсивность излучения дуги в спектральном диапазоне 500...1000 нм при сварке ТИГ стали в аргоне для разных значений длины дуги и сварочного тока. На основе экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты G_i . Сравнение измеренных и рассчитанных данных с помощью модели значений B_{iv} показало ее адекватность для диапазона значений длины дуги 1...5 мм.

В работе [4] проверялась адекватность математической модели (1) для более широкого диапазона сварочных токов (50...300 А). Установлено, что модель адекватна для значений тока 50...150 А. При токах, больше 150 А, рассчитанные с помощью модели значения интенсивности существенно расходятся с измеренными.

Синтезирована математическая модель на основе искусственной нейронной сети (ИНС) типа «многослойный персептрон», позволяющая оценивать длину сварочной дуги [4]. Входными данными для ИНС являются два параметра: сварочный ток и интенсивность излучения заданной спектральной линии атомов аргона. Модель построили для процесса сварки ТИГ меди в аргоне. Обучение ИНС осуществляли с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Проверка нейросетевой модели на экспериментальных данных показала ее адекватность для сварочных токов 50...300 А и длины дуги 2...5 мм.

Диагностика плазмы сварочной дуги представляет собой совокупность методов измерения параметров плазмы, характеризующих ее состояние. В статье [5] предложен метод диагностики плазмы сварочной дуги на основе спектра ее излучения. С помощью данного метода можно измерять температуру плазмы и концентрацию ее компонентов (атомы, ионы и электроны). Расчет температуры и концентрации осуществляли на основе синтезированной математической модели многокомпонентной плазмы. Математическая модель позволяет выполнять расчеты для любого химического состава плазмы сварочной дуги.

Важной задачей мониторинга сварочного процесса является регистрация участков сварного со-

единения, где образование дефектов наиболее вероятно. Метод диагностики сварных швов на основе спектрального анализа предполагает выделение в спектре сварочной дуги некоторых диагностических признаков, с помощью которых можно оценить качество сварного соединения.

Результаты экспериментальных исследований по разработке методик и систем мониторинга сварки на основе спектрального анализа излучения сварочной дуги приведены в публикациях [2, 6–13]. В настоящее время известны следующие типы диагностических параметров: интегральная интенсивность излучения в заданной полосе частот спектра [6–8]; интенсивность спектральной линии [2, 9]; температура плазмы сварочной дуги [8, 10, 11]; среднеквадратическое значение сигнала спектра [10]; интегральные параметры профилей спектральных линий [13].

В патенте [6] предложен способ мониторинга процесса сварки, позволяющий оценивать качество сварных соединений с помощью регистрации и анализа сигналов интегральной интенсивности излучения сварочной дуги в нескольких спектральных полосах. Интенсивности измеряют с помощью фотодетекторов с соответствующими полосами пропускания. Решение о дефектности сварного шва принимается путем сравнения измеренных сигналов интенсивности и сигналов, полученных для эталонных сварных швов с нормальной структурой.

В работах [7, 8] в качестве диагностических признаков используют значения интегральной интенсивности в нескольких спектральных полосах. Поскольку выбор спектральных полос не является тривиальной задачей, для указанной цели использовали методику автоматической селекции на основе экспериментальных данных. В этом случае экспериментальными данными являются две группы спектров излучения сварочной дуги. Первая группа получена для сварных швов с нормальной структурой, вторая — для сварных швов с дефектами.

Автоматическую селекцию осуществляли с помощью специально разработанного алгоритма, основанного на алгоритме селекции SFFS (Sequential Forward Floating Selection). Экспериментальное исследование показало эффективность предложенной методики выбора диагностических признаков при обнаружении дефектов, возникающих вследствие колебаний сварочного тока; изменения длины дуги; неравномерной подачи защитного газа; изменений ширины зазора между кромок.

В статье [8] разработана система мониторинга процесса сварки, в которой решение о наличии дефектов принимается с помощью ИНС типа «многослойный персептрон». Исходной информацией для мониторинга являются значения интен-



сивности набора спектральных полос, выбранных с помощью упомянутого алгоритма автоматической селекции.

Интенсивности спектральных линий в качестве диагностических признаков предложено использовать в статьях [2, 9]. В публикации [2] установлено, что по изменению интенсивности спектральных линий аргона в процессе сварки ТИГ с использованием сварочной проволоки можно обнаружить задержку подачи проволоки. Разработана система мониторинга сварки ТИГ стали [9], в которой для обнаружения дефектов сварных швов используют сигналы интенсивности спектральных линий железа и водорода. Как показали экспериментальные исследования [9], по изменению этих сигналов можно определить наличие в металле сварного шва вольфрамовых включений и водорода, обнаружить загрязнение песком поверхности металла и неравномерность подачи защитного газа.

Связь между температурой плазмы сварочной дуги и качеством сварных соединений исследована в работах [8, 10, 11]. Температуру плазмы вычисляли на основе значений интенсивности нескольких спектральных линий защитного газа. Экспериментальное исследование показало, что с помощью измерения температуры плазмы можно обнаружить такие дефекты сварных швов, как прожог и непровар, а также наличие факторов, негативно влияющих на качество сварных соединений (колебания сварочного тока; отклонение сварочной горелки от линии стыка; загрязнение поверхности металла машинным маслом).

В статье [10] в качестве диагностического признака предложено использовать среднеквадратическое значение сигнала спектра излучения сварочной дуги. Экспериментальное исследование показало, что при отсутствии существенных отклонений параметров сварки от номинальных значение этого признака неизменно на протяжении процесса сварки. Возникновение дефекта типа непровар сопровождается уменьшением среднеквадратического значения, а при прожоге возникает резкий скачок этого параметра. В случае превышения кромок или отклонения сварочной горелки от линии стыка в сигнале среднеквадратического значения фиксируются заметные колебания.

В работе [13] для обнаружения возмущающих воздействий, возникающих в процессе сварки МАГ, профили спектральных линий аппроксимировали функцией Лоренца, а ее параметры использовали как диагностические признаки. Применение интегральных параметров профилей спектральных линий обусловлено тем, что решающая способность быстродействующих цифровых спектрометров, используемых для измерений в масштабе реального времени, недостаточно

высокая для регистрации профилей отдельных линий, расположенных близко друг к другу.

За счет усреднения интенсивности излучения дискретными фоточувствительными элементами линейки спектрометра цифровой сигнал спектра вместо нескольких спектральных линий содержит один более широкий пик интенсивности. В результате подобных искажений уменьшается точность измерений интенсивности отдельных спектральных линий.

С этой точки зрения использование в качестве диагностических признаков интегральных параметров профилей спектральных линий более предпочтительно, чем самих интенсивностей линий. Экспериментальное исследование показало, что по изменению параметров функции Лоренца можно обнаружить колебания сварочного тока, загрязнение поверхности металла в месте сварки краской и грязью.

Разработана методика распознавания режима переноса металла по спектру излучения сварочной дуги для сварки МИГ/МАГ [14], осуществляемого с помощью вероятностного (байесовского) метода принятия решений. Первичными параметрами, на основе которых определяется режим переноса металла, служат статистические характеристики цифрового сигнала спектра. По результатам экспериментальной проверки методики погрешность распознавания режима переноса металла составила 5 %.

В процессе плазменной сварки высокоэнергетический поток плазмы пробивает в расплавленном металле сквозное отверстие, которое сразу же заполняется. В результате формируется сварной шов с полным проплавлением. Для предотвращения прожогов и недостаточного проплавления сварных швов необходимо контролировать процессы возникновения и исчезновения сквозного отверстия.

В работе [15] разработана методика спектрального анализа излучения сварочной дуги, с помощью которой можно обнаруживать моменты возникновения и исчезновения сквозного отверстия в процессе плазменной сварки. Информацию об этих моментах получают на основе анализа изменений интенсивности спектральных линий аргона.

Разработана система автоматического наведения на стык [3], компенсирующая поперечные отклонения сварочной горелки относительно линии прямолинейного стыка при сварке ТИГ без разделки кромок или с V-образной разделкой. Источником информации об отклонениях сварочной горелки является сигнал интегральной интенсивности излучения сварочной дуги либо интенсивности заданной спектральной линии защитного газа. При движении вдоль линии стыка отмечены колебания сигнала интенсивности. Отклонение



сварочной горелки от линии стыка вычисляется на основе амплитуды колебаний сигнала интенсивности и значений временных интервалов между его локальными минимумами и максимумами.

Группой немецких исследователей и инженеров разработан опытный образец системы автоматического регулирования импульсной сварки МИГ в аргоне на основе информации об излучении сварочной дуги [16]. Система регулирует поступающую в металл тепловую энергию в каждом импульсе сварочного тока.

При импульсной сварке после начала подачи импульса тока температура плазмы сварочной дуги увеличивается со скоростью в несколько миллионов градусов Кельвина в секунду. Импульс сварочного тока отключается, когда температура плазмы дуги достигает определенного значения. Для определения момента отключения импульса измеряют интегральные интенсивности излучения дуги I_M и I_T в двух соответствующих спектральных диапазонах Δ_M и Δ_T . Диапазон Δ_M (приблизительно 260...550 нм) перекрывает область наиболее интенсивных спектральных линий таких металлов, как цинк, магний, алюминий, медь, железо, а диапазон Δ_T (приблизительно 650...950 нм) — наиболее интенсивных спектральных линий защитного газа (аргона).

Интенсивности излучения дуги I_M и I_T измеряют с помощью двух фотодиодов. Разность измеренных интенсивностей $I_T - I_M$ монотонно уменьшается одновременно с повышением температуры плазмы после включения импульса сварочного тока. При снижении разности $I_T - I_M$ до заданного порога, соответствующего определенному максимальному значению температуры плазмы, система регулирования подает управляющий сигнал отключения импульса тока. В ходе испытаний разработанная система смогла обеспечить стабилизацию процесса сварки при значительных отклонениях ($\pm 30\%$) основного и импульсного токов от номинальных значений.

Таким образом, в настоящее время исследования и разработки, касающиеся применения спектрального анализа для автоматизации и мониторинга процесса сварки, находятся на начальном этапе своего развития. Предложенные диагностические признаки, выделенные в спектре излучения сварочной дуги, позволяют обнаруживать

дефекты сварного соединения и отклонения параметров сварочного процесса от номинальных значений. Однако еще не проведены исследования, подтверждающие высокую эффективность существующих решений, необходимую для их внедрения в промышленное производство.

1. Kim E. W., Allemand C., Eagar T. W. Visible light emissions during gas tungsten arc welding and its application to weld image improvement // Weld. Res. Suppl. — 1987. — № 12. — P. 369–377.
2. Kontrola procesu spawania TIG w oparciu o promieniowanie luku spawalniczego / M. S. Weglowski, Z. Mikno, M. Welcel, M. Kepinska // Prz. spaw. — 2007. — № 12. — S. 15–19.
3. Li P. J., Zhang Y. M. Analysis of an arc light mechanism and its application in sensing of the GTAW process // Welding Research Supplement. — 2000. — № 9. — P. 252–260.
4. Weglowski M. S. Investigation on the arc light spectrum in GTA welding // J. of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. — 2007. — 20, № 1-2. — P. 519–522.
5. Song Y., Li J. Spectral diagnostics of complex arc plasma // China Welding. — 1998. — 7, № 1. — P. 53–59.
6. Pat. 4446354 CIIIА, IC⁴ B 23 K 9/095. Optoelectronic weld evaluation system / Kearney F. W. — Publ. 1984.
7. Defect detection in arc-welding processes by means of the line-to-continuum method and feature selection / P. B. Garcia-Allende, J. Mirapeix, O. M. Conde et al. // Sensors. — 2009. — № 9. — P. 7753–7770.
8. Arc-welding spectroscopic monitoring based on feature selection and neural networks / P. B. Garcia-Allende, J. Mirapeix, O. M. Conde et al. // Ibid. — 2008. — № 8. — P. 6496–6506.
9. Bebiano D., Alfaro S. A weld defects detection system based on a spectrometer // Ibid. — 2009. — № 9. — P. 2851–2861.
10. Use of the plasma spectrum RMS signal for arc-welding diagnostics / J. Mirapeix, J. Fuentes, M. Davila et al. // Ibid. — 2009. — № 9. — P. 5263–5276.
11. Non-invasive spectroscopic system for non-destructive arc welding analysis / J. Mirapeix, A. Cobo, O. Conde et al. // ECNDT. — 2006.
12. Plasma spectroscopy analysis technique based on optimization algorithms and spectral synthesis for arc-welding quality assurance / J. Mirapeix, A. Cobo, D. A. Gonzalez, J. M. Lopez-Higuera // Optics Express. — 2007. — 15, № 4. — P. 1884–1897.
13. Weglowski M. S. Measurement of arc light spectrum in MAG welding method // Metrology and measurement systems. — 2009. — 16, № 1. — P. 143–159.
14. Bayesian decision-based pattern recognition on spectrum signal of metal transfer modes / S. Yun, L. Zhang, G. Han, J. Li // China Welding. — 2006. — 15, № 1. — P. 39–42.
15. Front side keyhole detection in plasma arc welding of stainless steel / Ch. Dong, L. Wu, H. Zhang, Y. Zhu et al. // Ibid. — 1999. — 8, № 2. — P. 102–110.
16. Echtzeit-spektralregler für impulschweisemaschinen / G. Heinz, F. Hofmann, H. Schopp, G. Gott // Schweißen und Schneiden. — 2009. — № 3. — S. 144–149.

Research activities in the field of spectral analysis of radiation of the welding arc are reviewed. The effect of the welding parameters on the spectrum of radiation of the welding arc, spectral diagnostics of the arc plasma, automation of the welding process based on spectral analysis of radiation of the welding arc, monitoring of the welding process, and automatic detection of defects in the weld are considered.

Поступила в редакцию 04.07.2011



УДК 621.791:620.17

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ВТ20 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОЙ ШИРОГРАФИИ

Академик НАН Украины Л. М. ЛОБАНОВ, В. А. ПИВТОРАК, канд. физ.-мат. наук,
Е. М. САВИЦКАЯ, канд. техн. наук, И. В. КИЯНЕЦ, В. В. ЛЫСАК, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено применение современного метода неразрушающего контроля (НК) — электронной ширографии для НК сварных титановых панелей из сплава ВТ20, изготовленных с предварительным упругим растяжением. Показана эффективность использования метода НК титановой панели без демонтажа оснастки для растяжения, что позволяет при необходимости сразу приступить к устранению дефектов.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварные панели, титановый сплав, контроль качества, оперативный контроль, электронная ширография

Создание сварных металлических конструкций, отличающихся экономичностью, высокой надежностью и прочностью при различных условиях эксплуатации, тесно связано с развитием эффективных методов НК их качества. Одним из перспективных методов контроля качества является электронная ширография, которая характеризуется такими преимуществами, как наглядность, бесконтактность, высокая чувствительность, возможность проведения исследований в реальном масштабе времени объектов сложной геометрической формы и больших размеров. Относительная простота этого метода позволяет применять его при решении сложных задач, связанных с анализом деформаций, контролем качества и др. С помощью электронной ширографии можно определять деформации без численного дифференцирования данных. Кроме того, метод нечувствителен к вибрациям, т. е. его можно применять в различных отраслях промышленности при оперативном контроле качества конструкций, изготовленных из металлических и композиционных материалов [1–5].

При практическом применении электронной ширографии для НК качества необходимо учитывать следующие допущения, которые вытекают из оптической схемы ширографического интерферометра:

— размеры исследуемых объектов или их участков должны быть существенно меньше, чем расстояние от источника лазерного света до поверхности контролируемого объекта;

— широмодуль располагается перпендикулярно к контролируемому участку поверхности объекта;

— направление освещения поверхности исследуемого объекта лазерным светом выбирается по возможности ближе к нормали исследуемого участка поверхности объекта.

В этом случае на широграмме для темных и светлых интерференционных полос используются следующие зависимости [6]:

для темных интерференционных полос

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{(2N+1)\lambda}{4\delta x}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{(2N+1)\lambda}{4\delta y}, \quad (2)$$

для светлых интерференционных полос

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{N\lambda}{2\delta x},$$

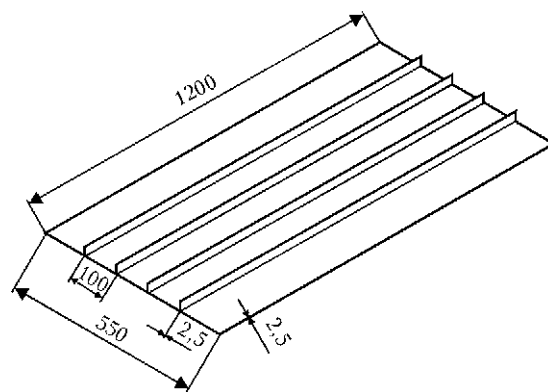


Рис. 1. Схема сварной панели, выполненной из титанового сплава ВТ20

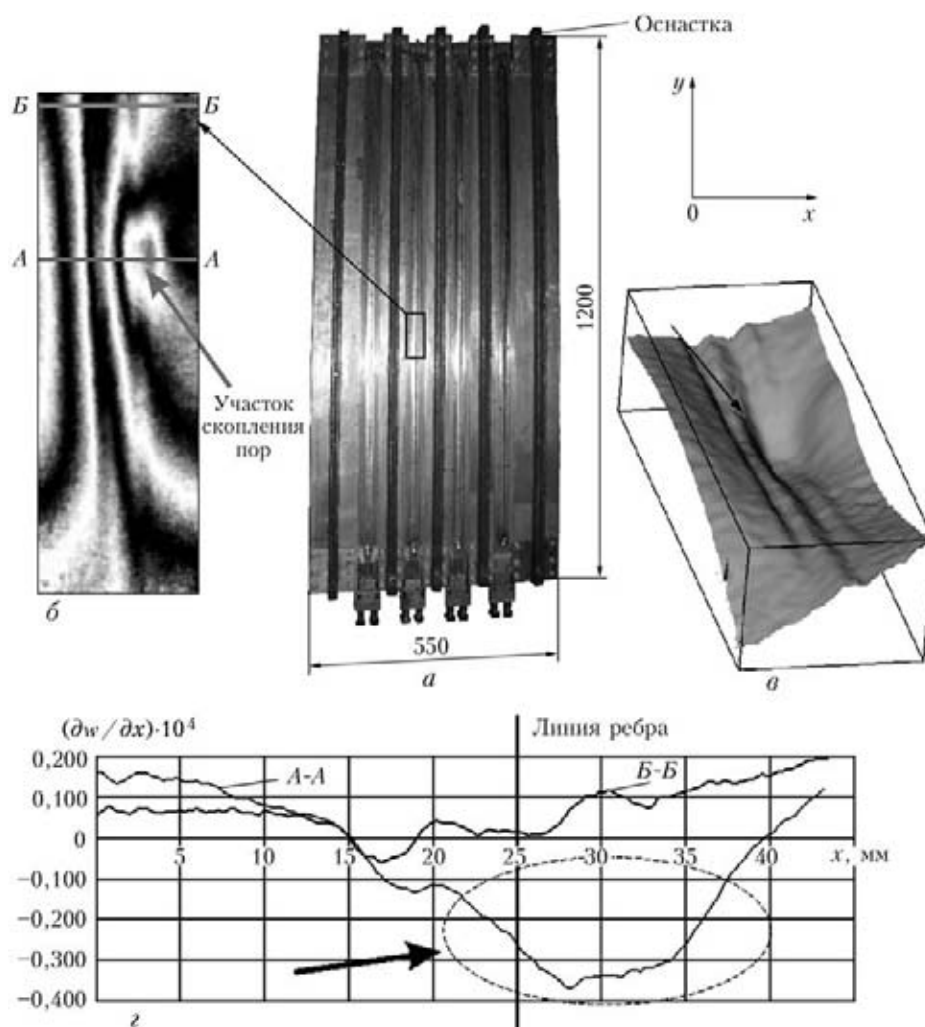


Рис. 2. НК качества титановой панели № 1 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях ее предварительного упругого растяжения: *а* — титановая панель в силовой механической оснастке после сварки; *б* — картина интерференционных полос исследуемого участка; *в* — трехмерная картина деформирования контролируемого участка панели; *г* — распределение производных $\partial w / \partial x$ вдоль исследуемых сечений: *А-А* — сечение с дефектом; *Б-Б* — бездефектное сечение

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{N\lambda}{2\delta y}, \quad (4)$$

где N — порядок полосы; λ — длина волны лазерного источника света; ∂x , ∂y — широмещения соответственно в направлениях осей ox , oy ; $\partial w / \partial x$, $\partial w / \partial y$ — производные от перемещений по нормали к поверхности контролируемого объекта.

С помощью уравнений (1)–(4) можно выполнить прямую оценку деформаций из плоскости объекта после определения порядка полосы.

Технологию НК качества с применением метода электронной широгрaфии использовали для диагностики элементов и узлов конструкций, изготовленных из различных конструкционных материалов [3].

В настоящее время в авиационной и аэрокосмической промышленности все более широкое

применение находят сварные тонкостенные панели с продольными ребрами жесткости, изготовленные из титановых сплавов. Контроль качества таких панелей достаточно трудоемкий и вызывает ряд трудностей. В связи с этим актуальным остается разработка новых методов исследования их качества.

Метод электронной широгрaфии применяли для НК качества стрингерных панелей, выполненных из высокопрочного титанового сплава ВТ-20 размерами $1200 \times 550 \times 2,5$ мм (рис. 1). Четыре продольных ребра жесткости высотой 25 мм и толщиной 2,5 мм приваривали прорезными швами к титановому листу. Расстояние между ребрами составляло 100 мм. Сварку титановых панелей выполняли в условиях их предварительного упругого растяжения. При этом использовали автоматическую аргонодуговую сварку погруженной дугой и автоматическую аргонодуговую сварку неплавящимся электродом по слою активирующего флюса. После сварки титановая панель оставалась в оснастке в растянутом состоянии.

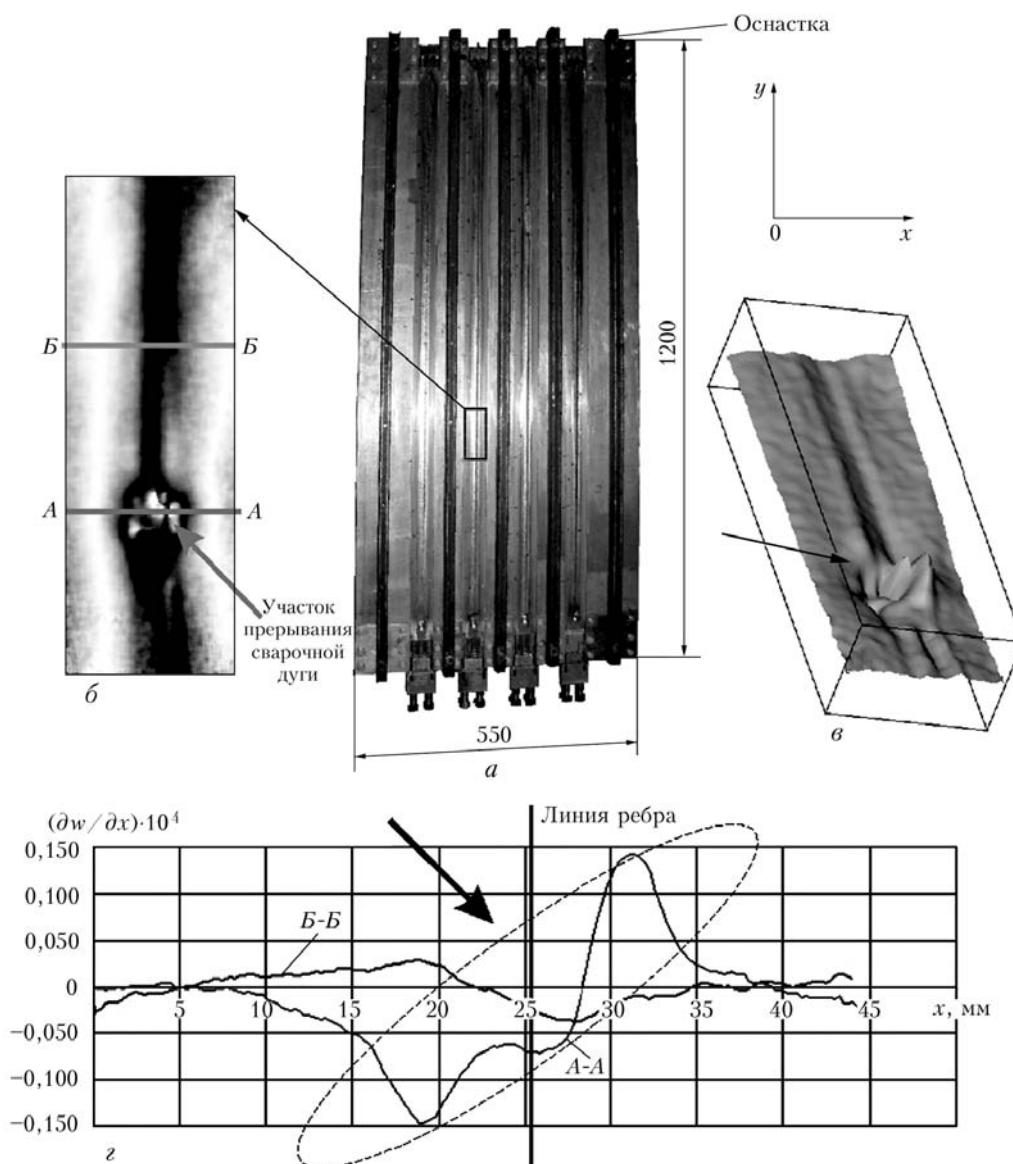


Рис. 3. НК качества титановой панели № 2 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях ее предварительного упругого растяжения: а–г — то же, что и на рис. 2

НК качества панелей выполняли в следующей последовательности. Контролируемый участок сварного шва растянутой панели освещали лазерным светом и отраженная световая волна, характеризующая исходное состояние контролируемой поверхности, записывалась в память компьютера. После этого контролируемый участок обдували теплым воздухом с температурой около 50...70 °С в течение 25...40 с, что приводило к его деформации. Затем световую волну, отраженную от деформированного участка исследуемой поверхности, также записывали в память компьютера. С помощью специальной компьютерной программы записанную оптическую информацию обрабатывали до получения широграммы и трехмерной картины деформирования исследуемой поверхности.

Результат контроля сварной панели № 1 из сплава ВТ-20, выполненной автоматической ар-

гонодуговой сваркой погруженной дугой, представлен на рис. 2. На широграмме исследуемого участка сварного шва (рис. 2, б) на общем фоне деформирования видно локальное изменение картины интерференционных полос, что свидетельствует о наличии внутренних дефектов. Построенная трехмерная картина деформирования (рис. 2, в) и кривые распределения производных $\partial w / \partial x$ вдоль выбранных сечений А–А и Б–Б соответственно дефектного и бездефектного (рис. 2, г) подтверждают наличие дефектов на исследуемом участке (показаны стрелкой).

Следует отметить, что в контролируемом участке панели на рис. 2, б приведено сечение А–А, в котором локальное изменение производной имеет наибольшее значение (выполняли анализ нескольких сечений и выбирали сечение с наибольшим локальным значением производной $\partial w / \partial x$).

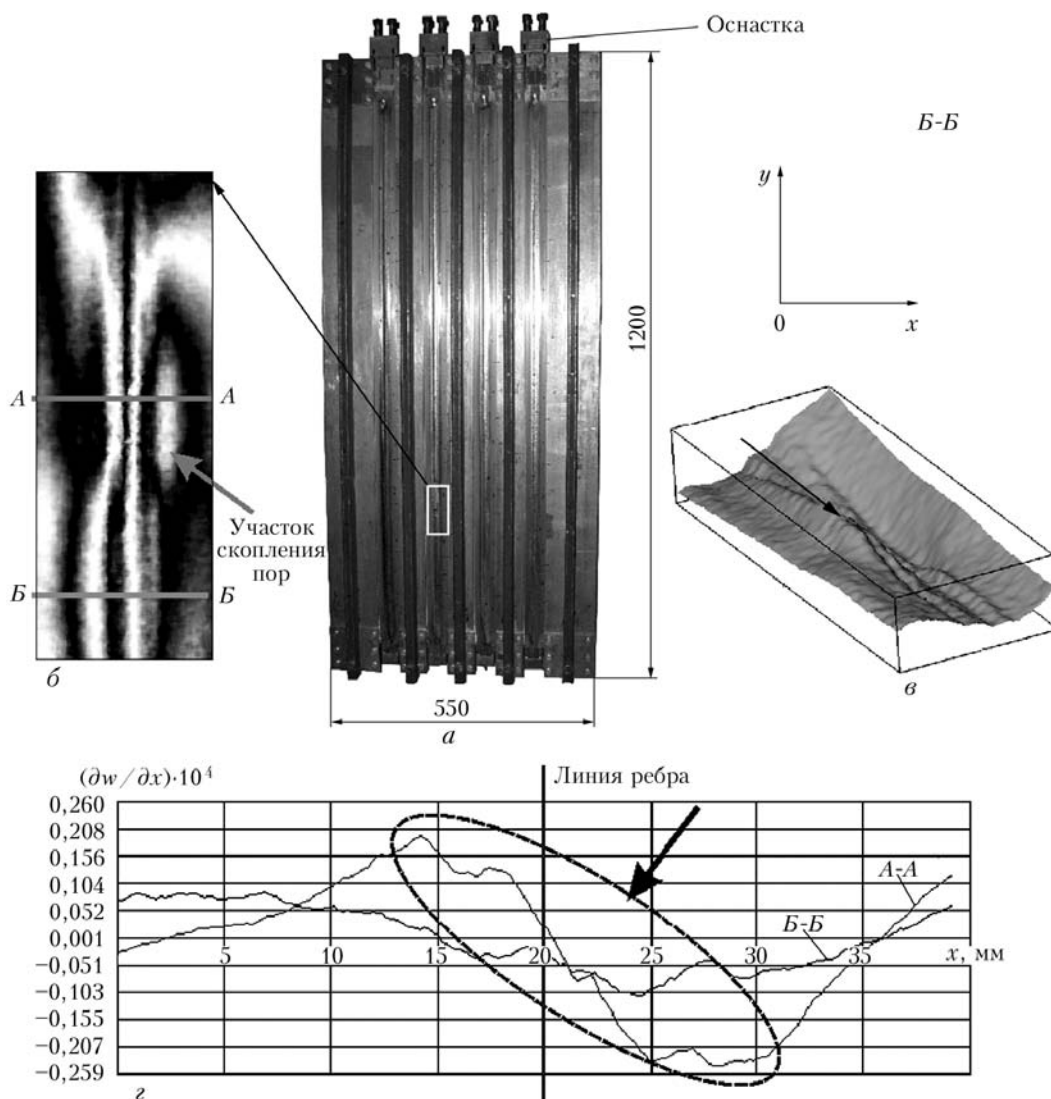


Рис. 4. НК качества титановой панели № 3 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях ее предварительного упругого растяжения: а-г — то же, что и на рис. 2

Проведенный рентгеновский контроль качества рассматриваемого участка сварного шва титановой панели из сплава ВТ20 показал наличие в нем скопления пор размером 0,2...0,4 мм.

При исследовании сварной титановой панели № 2 обнаружен участок прерывания дуги, на котором возникает концентрация деформаций в месте остановки сварки (рис. 3, б). Широкографический контроль качества выполняли с использованием аналогичных параметров нагрева, как и в предыдущем случае.

Результаты дальнейшей обработки интерференционных полос до получения трехмерной картины деформирования (рис. 3, в) и построения кривых распределения производных $\partial w / \partial x$ вдоль исследуемых сечений А-А и Б-Б (соответственно, дефектный и бездефектный участки шва) (рис. 3, г) подтвердили наличие локального скачка производной $\partial w / \partial x$ на участке прерывания дуги при сварке панели.

При НК качества сварной панели № 3, выполненной автоматической аргонодуговой сваркой погруженной дугой, также выявлены участки с резким изменением производных $\partial w / \partial x$. Результаты контроля качества, полученные на одном из них, представлены на рис. 4.

На трехмерной картине деформирования исследуемого участка шва и кривых распределения производной $\partial w / \partial y$ вдоль сечения А-А виден локальный участок резкого ее изменения (указаны стрелками), что свидетельствует о наличии дефектов в шве (рис. 4, в, г).

Выполненный рентгеновский контроль исследуемого участка шва показал в нем скопление пор размерами 0,2...1,0 мм и включений размерами 0,3 и 0,8 мм.

На рис. 5, б-г показаны соответственно картина интерференционных полос, трехмерная картина деформирования контролируемого участка шва сварной титановой панели № 4, выполненной автоматической аргонодуговой сваркой погру-

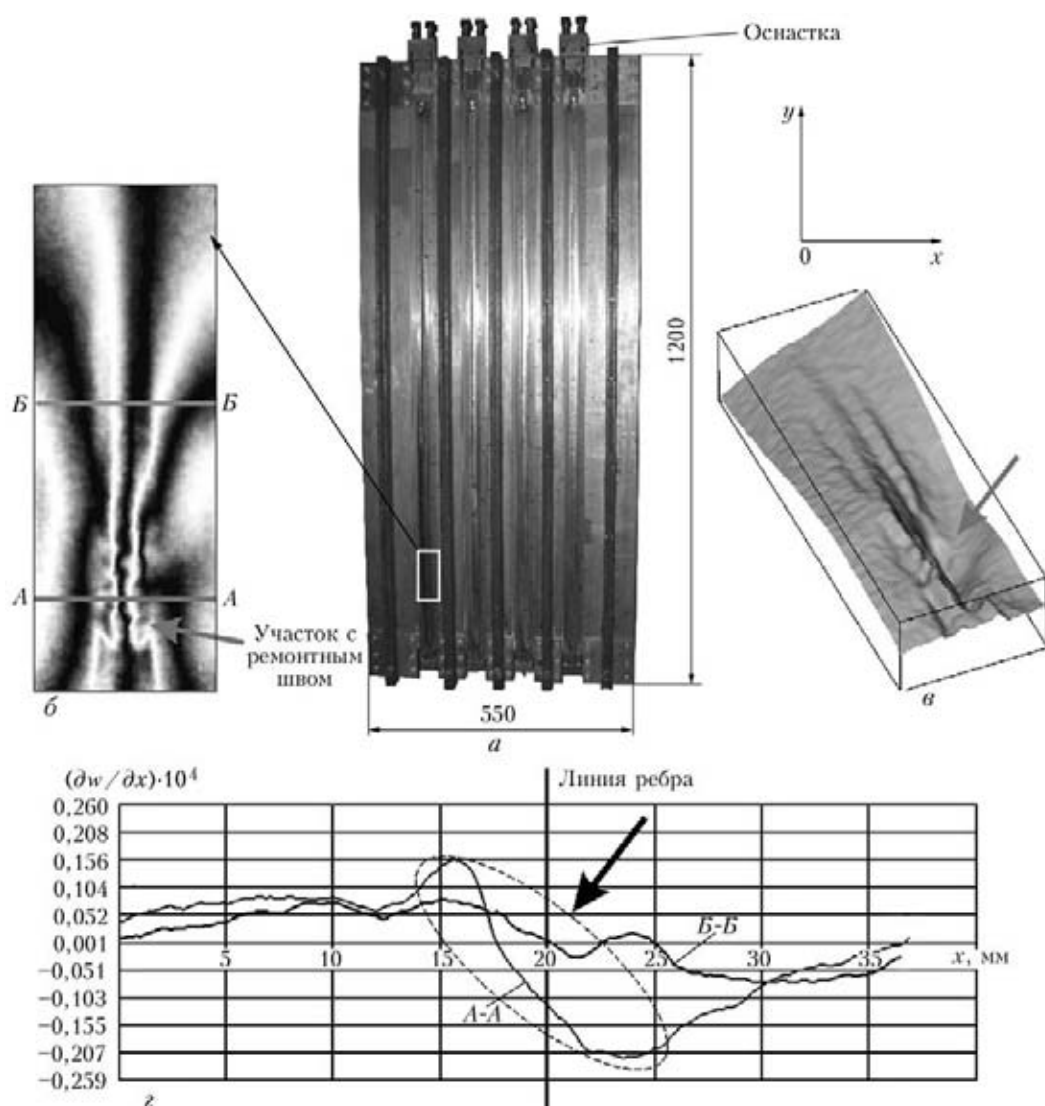


Рис. 5. НК качества титановой панели № 4 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях ее предварительного упругого растяжения: а-г — то же, что и на рис. 2

женной дугой, и распределение производных $\partial w / \partial x$ вдоль исследуемых сечений А-А и Б-Б на участке сварного шва после его ремонта с применением ручной дуговой сварки.

Наглядно видно, что после ремонта дефектного участка шва наблюдается резкое локальное изменение производной $\partial w / \partial x$, что характеризует концентрацию деформаций в восстановленном с помощью ремонта участке шва.

При сварке титановой панели № 5 с применением автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом по слою активизирующего флюса также обнаружен участок шва с локальной концентрацией деформаций, обусловленных скоплением пор (рис. 6, б, в).

Распределение производных $\partial w / \partial x$ вдоль исследуемых сечений А-А и Б-Б показано на рис. 6, г. Резкое изменение производной $\partial w / \partial x$ в сечении А-А на исследуемом участке сварного шва характеризует его дефектность.

Таким образом, проведенная серия экспериментов по бесконтактному НК качества сварных титановых панелей с ребрами жесткости, изготовленных из сплава ВТ20 и выполненных в условиях их предварительного упругого растяжения, показала, что метод электронной широгрaфии позволяет оперативно исследовать качество сварных панелей и определять дефектные участки сварных швов. Особенно важным является то, что метод позволяет без демонтажа оснастки для растяжения титановой панели выявлять дефекты и в случае необходимости сразу приступать к их устранению.

При сварке титановых панелей следует также учитывать, что прерывание сварочной дуги при выполнении шва и ручная ремонтная сварка участков шва вызывают локальную концентрацию деформаций, что может привести к снижению ресурса их работы при воздействии эксплуатационных нагрузений.

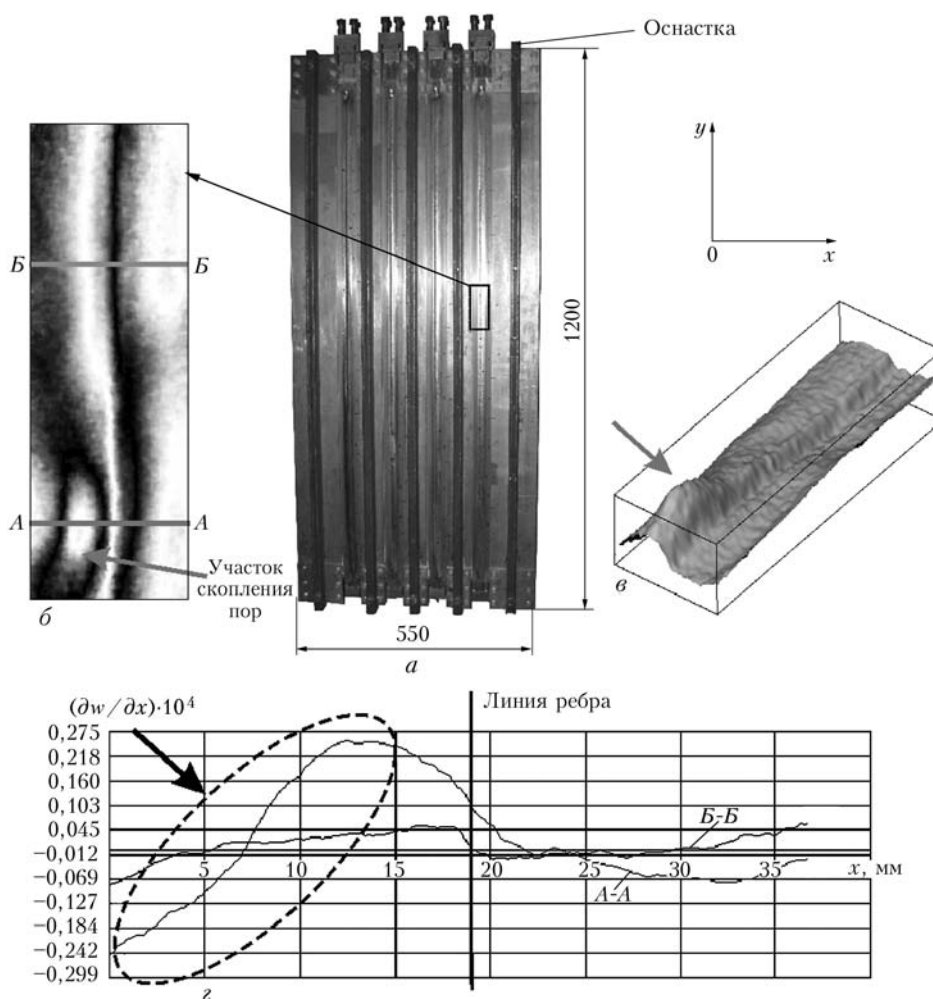


Рис. 6. НК качества титановой панели № 5 с ребрами жесткости, изготовленной в условиях ее предварительного упругого растяжения: а-в — то же, что и на рис. 2; б — картина интерференционных полос на участке скопления пор

1. *Rastogi P. K.* Trends in optical nondestructive testing and inspection. — Amsterdam—Lausanne: Elsevier, 2000. — 633 p.
2. *Методика, технология и аппаратура широкографического неразрушающего контроля материалов и элементов конструкций* / Л. М. Лобанов, В. А. Пивторак, Е. М. Олейник, И. В. Киянец // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2004. — № 3. — С. 1–4.
3. *Диагностика элементов и узлов конструкций с применением метода электронной широкографии* / Л. М. Лобанов, В. А. Пивторак, Е. М. Савицкая, И. В. Киянец // Там же. — 2008. — № 4. — С. 7–13.
4. *Newman J. W.* Holographic and Shearographic NDT. Application in Aerospace Manufacturing // *Materials Evaluation*. — 2005. — № 7. — P. 746–750.
5. *Collrep J., Krupka R., Siebert T.* Industrial applications of shearography for inspection of aircraft components // *NDT World Review*. — 2007. — **36**, № 6. — P. 28–31.
6. *Hung Y. Y., Ho H. P.* Shearography: An optical measurement technique and applications // *Materials Sci. and Eng.* — 2005. — № 49. — P. 61–87.

Application of modern NDT technique of electron shearography for NDT of welded titanium panels of VT20 alloy made with elastic prestressing, is considered. The effectiveness of application of the technique of titanium panel NDT without dismantling the stretching fixture is shown, which allows immediately starting defect repair, if required.

Поступила в редакцию 20.07.2011



ОДНО- И МНОГОПОСТОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ*

Н. М. МАХЛИН, инж., **А. Е. КОРОТЫНСКИЙ**, д-р техн. наук, **В. А. БОГДАНОВСКИЙ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
И. А. ОМЕЛЬЧЕНКО, инж. (Экспертный центр «Транссервисинжиниринг», г. Киев),
А. А. СВИРИДЕНКО, инж. (ОАО «ЧеЗаРа», г. Чернигов)

Описаны работы, выполненные в ИЭС им. Е. О. Патона, по созданию и производству орбитальных комплексов для автоматической сварки стыков трубопроводов диаметром 8...76 мм. Комплексы нашли применение при ремонтах оборудования энергоблоков атомных электростанций Украины.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварка TIG, неплавящийся электрод, присадочная проволока, неповоротные стыки трубопровода, одно- и многопостовые системы, автоматическая сварка, системы управления

Трубопроводы энергоблоков АЭС являются базовыми элементами технологических цепочек АЭС [1]. Согласно правилам и нормам в атомной энергетике трубопроводы, работающие преимущественно в условиях воздействия на них (во многих случаях одновременного) высоких температур, остаточных напряжений и повышенного давления коррозионно-агрессивного теплоносителя, выделены в отдельную группу устройств по их влиянию на надежность и безопасность АЭС [1, 2]. Выполняемые трубопроводами энергоблоков АЭС функции, сложность условий их эксплуатации, затесненность в местах проведения сварочных работ и ограниченность доступа к этим местам обуславливают высокие требования к качеству, прочности и коррозионной стойкости сварных соединений таких трубопроводов [1–3]. Трудозатраты на сварку стыков трубопроводов энергоблоков АЭС составляют до 40 % всех трудозатрат на монтаж АЭС и до 60 % общих трудозатрат на сварочные работы при монтаже энергоблоков. Основной объем работ (до 80 %) приходится на сварку стыков трубопроводов диаметром менее 100 мм. До 60 % общего количества стыков составляют стыки трубопроводов из аустенитных сталей [1, 4, 5].

Большинство сварных соединений трубопроводов энергоблоков АЭС представляет собой не-

поворотные стыки, доминирующими способами сварки которых являются ручная аргонодуговая сварка (TIG) с использованием присадочного материала и автоматическая орбитальная сварка неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки или без нее.

Ручная сварка TIG с использованием присадочного материала характеризуется относительно высокой технологической гибкостью, благодаря чему этот способ сварки нашел применение при монтаже и особенно при ремонте трубопроводов энергоблоков АЭС. Для осуществления ручной сварки TIG трубопроводов и другого оборудования энергоблоков в основном используют многопостовые сварочные системы (МСС) и значительно реже однопостовые специализированные установки для сварки TIG. Вместе с тем ручной сварке TIG присущ ряд существенных недостатков:

- привлечение большого количества высококвалифицированных сварщиков для выполнения значительного объема сварочных работ в сжатые сроки (например, при монтаже только одного энергоблока с реактором типа ВВЭР необходимо провести сварку не менее 41000...60000 стыков трубопроводов диаметром не более 100 мм) [5];

- не достигается требуемый уровень качества сварных соединений, вследствие чего уровень их дефектности при сдаче с первого предъявления составляет 15...45 %, что обуславливает необходимость ремонта дефектных стыков и в связи с этим неизбежность существенных дополнительных трудозатрат [4–6];

- машинное время при сварке TIG стыков трубопроводов (продолжительность горения дуги) обычно составляет не более 20 %, что не позволяет достигнуть необходимой производительности сварочного поста [6].

* Настоящая работа выполнена в рамках и при поддержке научно-технического проекта НАН Украины (2008) «Розробка та виготовлення орбітальних комплексів для автоматичного зварювання стиків трубопроводів діаметром 8...76 мм для планового ремонту ядерних реакторів атомних електростанцій (АЕС) України».



В отличие от ручной сварки TIG способ автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом (GTAW) обеспечивает:

- стабильно высокое качество и эксплуатационную надежность сварочных соединений трубопроводов (при GTAW без присадочной проволоки уровень дефектности при сдаче с первого предъявления не превышает 4 %, с присадочной проволокой — 7 %);

- повышение не менее чем в 4 раза производительности сварочных работ;

- значительное сокращение продолжительности обучения оператора автоматической сварки (несколько месяцев) по сравнению с продолжительностью подготовки высококвалифицированного сварщика ручной сварки TIG (несколько лет) [4–7].

Опыт эксплуатации выполненных с помощью орбитальных автоматов ОДА (разработки НИКИМТ) сварных соединений, водяных и пароводяных коммуникаций реакторов РБМК-1000, давно отработавших свой расчетный срок службы без единого ремонта, убедительно свидетельствует о том, что наибольший эффект от применения сварки GTAW достигается в результате многократного сокращения затрат на ремонт сварных соединений трубопроводов в период их эксплуатации [7].

Наиболее успешно сварка GTAW с использованием орбитальных автоматов серии ОДА и других моделей разработки НИКИМТ была применена при монтаже и ремонте трубопроводов энергоблоков АЭС с канальными реакторами типа РБМК, при этом уровень автоматизации сварочных работ достигал 60 % [1, 4, 6, 7].

В настоящее время в России, Украине и ряде других стран сооружаются и в обозримом будущем будут сооружаться энергоблоки АЭС в основном с реакторами типа ВВЭР и БН, при монтаже которых уровень автоматизации сварки трубопроводов пока не превышает нескольких процентов, что объясняется рядом объективных и субъективных причин. Среди них — отсутствие или недокомплект современных орбитальных автоматов, рассчитанных на типоразмеры трубопроводов, применяемых в конструкциях отечественных энергоблоков АЭС, а также оборудования, приспособлений и оснастки для качественной подготовки стыков трубопроводов под GTAW сварку; сложившиеся технологии монтажа трубопроводов диаметром до 100 мм, в соответствии с которыми такие трубопроводы в отсутствие их рабочих чертежей монтируются по месту, без укрупнения в блоки; недостаточное распространение таких прогрессивных технологий монтажа трубопроводов, как пакетный и кассетный способы монтажа, предварительная обвязка трубопроводами монтируемого теплотехнического оборудо-

вания и др., при которых применение сварки GTAW монтажных стыков наиболее эффективно; отсутствие промышленного изготовления оборудования для сварки GTAW, рассчитанного на питание от широко используемых на монтаже систем централизованного энергоснабжения сварочных постов [1, 4, 5, 8].

Сегодня на рынке сварочного оборудования имеется широкий выбор орбитальных автоматов, разработанных и изготавливаемых фирмами из стран дальнего зарубежья, например, «POLYSUDE» (Франция), ESAB (Швеция) и др. Однако они требуют значительных эксплуатационных расходов и, по мнению ведущих специалистов в области автоматической орбитальной сварки, заметно уступают даже ранее разработанным НИКИМТом автоматам (например, серии ОДА) по ресурсу машинного времени, адаптированности к размерам и межтрубным расстояниям трубопроводов отечественных энергоблоков, технологическим возможностям (в дальнейшем зарубежье до сих пор не освоены способы сварки стыков тонкостенных трубопроводов малых диаметров методами автоопрессовки или последовательного проплавления), способу охлаждения горелочного узла (все зарубежные модели орбитальных автоматов предполагают жидкостное охлаждение), ремонтпригодности составных частей автоматов [1].

Принимая во внимание масштабы развития атомной энергетики за счет модернизации и продления ресурса действующих и строительства новых энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР, применение сварки GTAW для выполнения более 120 тыс. сварных соединений трубопроводов на каждом энергоблоке представляется безальтернативным, а разработка и освоение промышленного производства современных отечественных орбитальных автоматов, особенно для сварки трубопроводов малых (до 100 мм) диаметров, и оснащение монтажных организаций и ремонтных подразделений АЭС такими автоматами и оборудованием для подготовки под сварку становятся все более актуальными задачами.

Определенную часть этих задач позволяют решить разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона однопостовые автоматы АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1 для орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов без присадочной проволоки неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 8 до 76 мм с толщиной стенки до 4 мм из сталей аустенитного или перлитного классов и высоколегированных сплавов в условиях монтажа и ремонта объектов энергетики, в том числе АЭС и ТЭС, а также в других отраслях промышленности.

Основные технические характеристики автоматов АДЦ 625УЗ.1, АДЦ 626УЗ.1 и АДЦ 627УЗ.1 приведены в таблице, а структурная схема авто-

Основные технические характеристики автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1

Параметр	Значение		
	Обозначение автомата		
	АДЦ 627 УЗ.1	АДЦ 628 УЗ.1	АДЦ 626 УЗ.1
Диаметр свариваемых труб, мм	8...24	18...42	42...76
Пределы регулирования скорости сварки, м/ч	1...20		
Диаметр вольфрамового электрода (марок ВЛ, ВИ или ВТ), мм	1,6	2,0; 3,0	
Наибольшее радиальное перемещение горелки, мм	15	16	20
Наибольшее перемещение горелки поперек стыка, мм	±0,10	±5,0	
Охлаждение горелки	Газовое		
Пределы регулирования сварочного тока, А	8...250		
Пределы регулирования напряжения дуги, В	9...18		
Точность поддержания сварочного тока, %, не хуже	±0,2		
Точность поддержания напряжения дуги, В, не хуже	±0,20	±0,15	
Расположение электропривода вращения планшайбы	Параллельно продольной оси трубы		
Радиус вращающихся частей, мм, не более	60	65	80
Способ стабилизации длины дуги	Механический копир	АРНД	
Количество проходов дуги	1...4		
Масса головки сварочной, кг, не более			
Потребляемая электрическая мощность (при сварочном токе 250 А), кВт·А, не более	5,7		

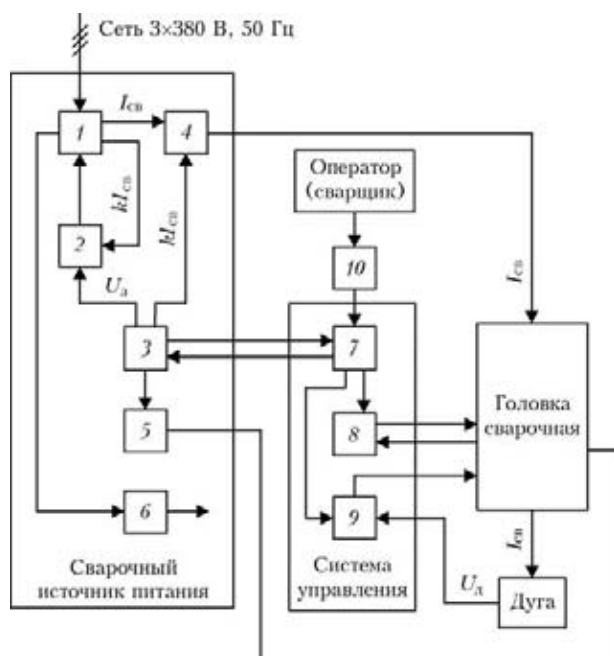


Рис. 1. Структурная схема орбитальных автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1: 1 — силовой блок сварочного источника питания; 2 — ШИМ-контроллер; 3 — блок управления сварочного источника питания; 4 — блок возбуждения дуги; 5 — газовая аппаратура; 6 — блок питания цепей управления; 7–9 — соответственно контроллер цикла сварки, привода вращения и АРНД; 10 — пульт управления выносной (пульт оператора)

матов — на рис. 1. В состав каждого из автоматов входят многофункциональный источник питания ИЦ 616 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов, блок контроллера (система управления) ИЦ 616.20.00.000, пульт управления выносной (пульт оператора) ИЦ 616.30.00.000, одна из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 или АДЦ 626.03.00.000 соответственно и коллектор АДЦ 625.07.00.000.

Источник питания ИЦ 616 УЗ.1 обеспечивает:

— формирование необходимых для процесса сварки TIG вертикальных («штыковых») внешних вольт-амперных характеристик (ВАХ);

— предустанов значений сварочного тока и временных составляющих цикла сварки по сварочному току и подаче инертного газа (длительностей интервалов времени «газ до сварки», «плавное нарастание сварочного тока», «прогрев», «плавный спад сварочного тока», «газ после сварки»);

— бесконтактное возбуждение сварочной дуги высоковольтным пробоем дугового промежутка;

— стабилизацию заданных значений сварочного тока и временных параметров цикла сварки при воздействии внешних возмущений (колебаний напряжения питающей сети, изменений длины дугового промежутка и т. п.);



— возможность реализации режимов автоматической шагоимпульсной сварки, ручной и автоматической сварки модулированным током, а также циклов сварки в режимах 2Т, 4Т и в специальном режиме 4Т-1;

— возможность дистанционного управления.

Силовой блок 1 (рис. 1) источника питания включает силовой разделительный трансформатор и силовой низковольтный выпрямитель, регулируемый преобразователь постоянного тока понижающего типа (конвертор DC-DC) и датчик сварочного тока. Основным узлом тракта управления конвертора DC-DC является ШИМ-контроллер 2, на управляющий вход которого с блока управления 3 поступает сигнал, пропорциональный напряжению задания (установки) сварочного тока, а на информационный вход — сигнал, пропорциональный сварочному току. Сварочный ток регулируется путем изменения напряжения задания (уставки), при этом сварочный ток и напряжение его задания связаны прямой линейной зависимостью. Стабилизация заданного значения сварочного тока обеспечивается за счет использования отрицательной обратной связи по сварочному току.

Блок управления 3 сварочного источника питания вырабатывает сигналы, с помощью которых осуществляется управление включением и автоматическим выключением блока возбуждения дуги 4 источника питания; формирование, регулирование и поддержание в процессе сварки заданных значений всех уставок и временных параметров токовой составляющей цикла сварки для режимов и стадий процесса сварки; управление газовой аппаратурой 5 источника питания, что обеспечивает управление и регулирование временных параметров газовой составляющей цикла сварки; формирование сигналов управления, необходимых для функционирования входящего в состав системы управления автомата контроллера цикла сварки 7.

Блок возбуждения дуги 4 представляет собой вольтдобавочное устройство, выходная цепь которого включена последовательно в сварочный контур между выходом силового блока источника питания 1 и электродом горелки, установленной в головке сварочной автомата, и предназначен для генерирования импульсов высокого напряжения, инжектируемых в дуговой промежуток для осуществления бесконтактного возбуждения сварочной дуги в начальной стадии процесса сварки.

Блок питания 6 источника питания обеспечивает формирование стабилизированных и нестабилизированных напряжений постоянного тока, а также пониженных напряжений переменного тока, необходимых для питания цепей, узлов и блоков управления источника питания, системы управления автомата, пульта управления выносного (пульта оператора), газовой аппаратуры, приводов механизмов головки сварочной.

Источник питания ИЦ 616УЗ.1 относится к сварочным источникам питания «чопперного» типа, которые имеют такие же высокие динамические характеристики и возможности управления, как и сварочные источники питания инверторного типа, при этом источники питания чопперного типа по массогабаритным показателям несколько уступают сварочным инверторам, однако существенно превосходят последние по показателям функциональной и эксплуатационной надежности и ремонтпригодности. Это объясняется тем, что по сравнению со сварочными инверторами источником питания чопперного типа присущи меньшее количество стадий преобразования потока энергии, передаваемой от питающей сети к сварочной дуге, размещение регулятора сварочного тока в низковольтной части этого потока, минимизация опасности лавинообразного развития невосстанавливаемых отказов при возникновении аварии.

При необходимости источник питания ИЦ 616УЗ.1 может быть эффективно использован для реализации процессов ручной сварки TIG, в том числе с применением режимов сварки модулированным током.

Система управления автомата предназначена для:

— формирования сигналов управления включением, отключением и длительностью функционирования составных частей и механизмов автомата в соответствии с заданными алгоритмами осуществления сварки GTAW неповоротных стыков трубопроводов;

— обеспечения регулирования, обработки сигналов обратных связей и поддержания в процессе сварки запрограммированных значений скорости сварки (скорости перемещения горелки с неплавящимся электродом), длины дугового промежутка и количества проходов дуги;

— автоматического осуществления изменений параметров цикла сварки (сварочного тока, скорости сварки, направления вращения планшайбы головки сварочной) в зависимости от номера прохода дуги, а также стадии цикла сварки.

Основными функциональными блоками системы управления автомата являются контроллеры цикла сварки 7, привода вращения 8 и автоматического регулятора напряжения дуги (АРНД) 9.

Контроллер цикла сварки 7 обеспечивает задание временных параметров цикла сварки GTAW, а также значений сварочного тока, скорости сварки, количества проходов дуги, направления ее перемещения в зависимости от диаметра, материала и толщины стенки свариваемого трубопровода.

Контроллер привода вращения 8 предназначен для регулирования и поддержания в процессе сварки заданных значений скорости вращения



планшайбы головки сварочной вокруг свариваемого трубопровода путем стабилизации скорости вращения мотор-редуктора привода вращателя головки сварочной за счет обратной связи с помощью сигналов, вырабатываемых энкодером мотор-редуктора.

Контроллер АРНД 9 обеспечивает поддержание в процессе сварки заданного значения длины дугового промежутка за счет автоматической компенсации ее отклонений от запрограммированного значения путем коррекции вертикального положения электрода горелки сварочной относительно поверхности свариваемого трубопровода. Примененный в автомате АРНД непрерывного типа представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования, построенную на использовании пропорциональности напряжения дуги ее длине при сварке неплавящимся электродом [9, 10].

Система управления автомата функционирует совместно с выносным пультом управления (пультом оператора), содержащим органы управления, сигнализации и индикации, обеспечивающими:

- выбор рода работы автомата;
- выбор вида режима управления;
- выбор вида режима сварки;
- задание направления вращения планшайбы головки сварочной;
- задание для наладочного режима направления радиального перемещения электрода головки сварочной;
- предварительный контроль расхода инертного газа;
- включение/выключение цикла сварки;
- задание значения напряжения дуги;
- задание значения скорости сварки;
- подрегулировку в процессе сварки значения сварочного тока (на $\pm 10\%$);
- цифровую индикацию предварительно задаваемых и текущих значений сварочного тока, напряжения дуги, скорости вращения планшайбы головки сварочной вокруг свариваемого трубопровода (скорости сварки) и расхода инертного газа в амперах, вольтах, оборотах/минуту и литрах/минуту соответственно.

Внешний вид источника питания ИЦ 616 УЗ.1, системы управления и пульта управления автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1 приведен на рис. 2.

Головки сварочные АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 для сварки GTAW трубопроводов диаметрами 8...24 мм, 18...42 мм, 42...76 мм соответственно выполнены по конструктивной схеме, характерной для головок накидного типа (рис. 3), с применением унифицированных узлов и механизмов. Конструкция головки позволяет осуществлять ее быструю установку на свариваемом трубопроводе, снятие одним сварщиком-оператором и надежное закрепление корпуса головки на трубопроводе (что исключает ее смещение вследствие толчков или вибрации), а также обеспечивает точность установки головки на трубопроводе (непараллельность оси горелки сварочной по отношению к радиальной оси трубопровода не превышает 3°), реверс направления вращения планшайбы по команде системы управления автомата, возможность поперечного корректирования положения электрода горелки относительно оси стыка трубопровода, ламинарное истечение инертного газа из горелки и надежную защиту зоны сварки, быструю замену изношенного вольфрамового электрода горелки. Каждая из головок сварочных включает корпус

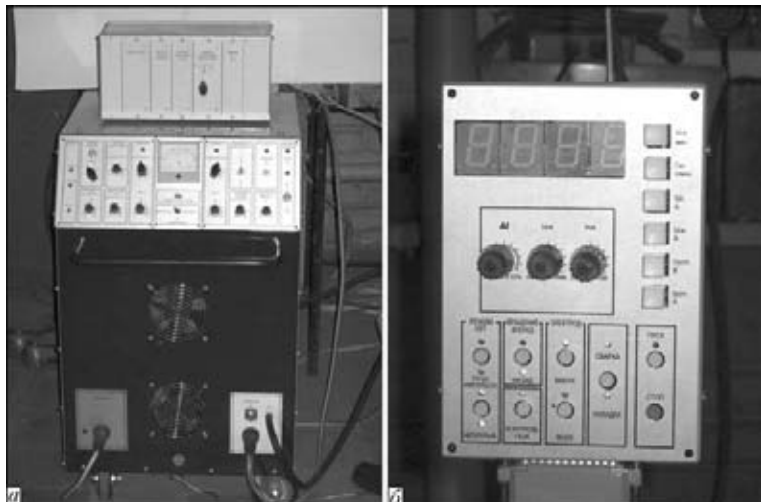


Рис. 2. Источник питания ИЦ 616 УЗ.1, система управления ИЦ 616.20.00.000 (а) и пульт управления выносного ИЦ 616.30.00.000 (б) автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1

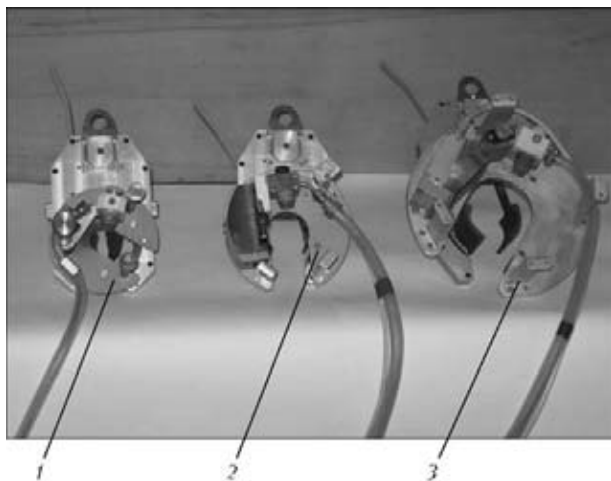


Рис. 3. Внешний вид головок сварочных: 1 — АДЦ 627.03.00.000; 2 — АДЦ 625.03.00.000; 3 — АДЦ 626.03.00.000



облегченной конструкции, механизм зажима головки на трубопроводе, вращающуюся вокруг оси трубопровода планшайбу, механизм вращения планшайбы (вращатель), установленные на планшайбу горелку сварочную и исполнительный механизм вертикального перемещения горелки сварочной системы АРНД в головках АДЦ 625.03.00.000, АДЦ 626.03.00.000 и системы стабилизации длины дуги с помощью копира в головке АДЦ 627.03.00.000.

Неподвижный корпус каждой головки сварочной является несущей конструкцией для механизма зажима головки на свариваемом трубопроводе и вращателя планшайбы. Закрепление головки на свариваемом трубопроводе или ее расфиксация осуществляется с помощью двух охватывающих часть цилиндрической поверхности трубопровода захватов механизма зажима, которые кинематически связаны с управляющим рычагом. Вращатель планшайбы состоит из размещенного внутри неподвижного корпуса редуктора и рукоятки с встроенным в нее приводом, представляющим собой мотор-редуктор с энкодером. Рукоятка вращателя параллельна оси трубопровода и может закрепляться в неподвижном корпусе головки в любом из двух противоположных направлений относительно плоскости планшайбы. Размеры и конструкция рукояток, а также электродвигатели и энкодеры приводов вращателей всех трех головок унифицированы, приводы вращателя каждой из головок отличаются лишь коэффициентом редукции мотор-редукторов. Вращатели головок выполнены по единой кинематической схеме.

На выходной шестерне редуктора вращателя установлена планшайба, на которой в головках АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 закреплен исполнительный механизм АРНД, а в головке АДЦ 627.03.00.000 — рычаг с копиром-стабилизатором длины дуги и горелкой с неплавящимся электродом. Исполнительный механизм АРНД содержит реверсируемый мотор-редуктор, выходной вал которого через зубчатую передачу соединен с устройством типа «винт-гайка», при этом гайка встроена в перемещающийся вдоль винта ползун. Ползун жестко связан с кронштейном, к которому прикреплен изолятор с установленной в нем горелкой. В состав конструктива «механизм АРНД – горелка» также входит механизм поперечного перемещения, позволяющий корректировать пространственное положение электрода поперек свариваемого стыка.

Горелки головок АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 по составу и конструкции полностью унифицированы и отличаются только длиной защитного керамического сопла, горелка головки АДЦ 627.03.00.000 отличается от этих горелок размерами, формой корпуса, цангой для фиксации электрода и местом расположения в нем

патрубка для подсоединения токогазоподвода головки.

Любая из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 к источнику питания ИЦ616 УЗ.1, системе управления ИЦ 616.20.00.000, пульту управления выносному ИЦ 616.30.00.000 и системе газоснабжения подключается с помощью коллектора АДЦ 625.07.00.000, который может быть удален от головки на расстояние до 15 м.

Автоматы АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 обеспечивают возможность двух видов работы — «Наладка» и «Сварка», двух способов управления — «Ручное» и «Автоматическое» и трех типов режимов сварки — «Непрерывный», «Импульсный» и «Сварка модулированным током».

Вид работы автомата «Наладка» используется для контроля функционирования вращателя головки сварочной и проверки ее центровки, проверки траектории вращения горелки вокруг стыка свариваемого трубопровода, проверки и регулировки вылета неплавящегося электрода и технологически обоснованной длины дугового промежутка, предварительной установки (задания) скорости вращения горелки с неплавящимся электродом. Особенностью вида работы «Наладка» является отсутствие в сварочной цепи сварочного тока. При виде работы автомата «Наладка» и способе управления «Ручное» моменты начала и останова вращения горелки задаются командами оператора с помощью кнопок «Пуск» и «Стоп» в пульте управления выносном ИЦ 616.30.00.000. При виде работы автомата «Наладка» и способе управления «Автоматическое» момент начала вращения горелки также задается оператором, а останов вращения происходит автоматически в момент завершения заданной длительности цикла в соответствии с выбранным количеством оборотов и с некоторым «перекрытием» участка начала вращения.

Вид работы автомата «Сварка» при типе режимов «Непрерывный» позволяет выполнять все стадии цикла сварки по всем его составляющим при поддержании в течение каждого прохода дуги (каждого полного оборота планшайбы) неизменными заданных для этого прохода значений сварочного тока, напряжения дуги и скорости вращения планшайбы (скорости сварки).

При виде работы автомата «Сварка» и типе режимов «Импульсный» обеспечивается процесс шагоимпульсной сварки, который осуществляется на двух следующих друг за другом с заданной периодичностью энергетических уровнях сварочного тока — «высоком», называемом импульс, и «низком», называемом пауза, причем перемещение горелки (вращение планшайбы) с заданной скоростью происходит только в течение интерва-



лов времени, соответствующих длительности пауз сварочного тока.

Режим «Сварка модулированным током» реализуется при виде работы автомата «Сварка» и типе режимов «Непрерывный» с помощью режима «Модуляция» источника питания ИЦ 616 УЗ.1, при этом обеспечивается модуляция сварочного тока, а скорость вращения планшайбы в течение каждого прохода поддерживается неизменной на заданном для этого прохода уровне.

Для осуществления любого из трех видов режимов сварки возможно использование, как и при виде работы автомата «Наладка», одного из двух способов управления — «Ручное» или «Автоматическое». При способе управления «Ручное» начало и завершение цикла сварки задаются командами оператора. При способе управления «Автоматическое» начало цикла сварки также задается оператором, а завершение цикла происходит автоматически, причем вращение планшайбы головки сварочной осуществляется в течение интервала времени, продолжительность которого представляет собой сумму длительностей всех заданных проходов дуги (полных оборотов планшайбы вокруг свариваемого трубопровода), длительности «перекрытия» места начала сварки и длительности плавного спада сварочного тока («заварки кратера»).

В ходе ранее проведенных исследований [11, 12] установлено, что при сварке GTAW без присадочной проволоки стыков трубопроводов существуют области режимов, в которых соответствующие соотношения между значениями сварочного тока, напряжения дуги, скорости сварки и расхода защитного газа обеспечивают возможность получения высокого и стабильного качества сварных соединений. Этими же исследованиями также установлено, что для достижения высокого качества сварных швов максимально допустимое отклонение в процессе сварки одного из параметров режима сварки GTAW неповоротных стыков трубопроводов от заданных значений не должно превышать $\pm 14\%$ для сварочного тока, $\pm 13\%$ для напряжения дуги, $\pm 10\%$ для скорости сварки и $\pm 20\%$ для расхода защитного газа, а при одновременном внесении возмущений по всем параметрам режима максимально допустимые отклонения по каждому параметру не должны превышать $\pm 2,5\%$.

В автоматах АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 приведенные выше требования по точности поддержания в процессе сварки заданных параметров ее режима выполняются в полной мере. Это, а также схемотехнические и конструктивные решения автоматов и их функциональные возможности позволяют осуществлять реализацию всех известных технологий, включая импульсные процессы, сварку GTAW неповоротных сты-

ков трубопроводов диаметром от 8 до 76 мм с толщиной стенки до 4 мм, а также сварку способами автоопрессовки, последовательного проплавления и сравнительно новым способом, получившим название антиопрессовки [12]. В 2008–2009 гг. в Украине было освоено промышленное изготовление автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1, что позволило начать оснащение ими предприятий отрасли атомной энергетики и ремонтных подразделений АЭС. Примером успешного применения автоматов этой серии служит их использование при сварке GTAW в среде гелия герметизирующих соединений трубы с наконечником и заглушкой (серийное производство) в ОП «Атомэнергомаш» НАЭК «Энергоатом» поглощающих элементов для контейнеров системы сухого хранения отработанного ядерного топлива.

Опытно-промышленное опробование автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 показало, что они могут эффективно применяться для сварки GTAW неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов как при ремонте действующих, так и при монтаже сооружаемых энергоблоков АЭС и других объектов энергетики, при этом на монтаже наивысшая эффективность использования автоматов достигается при укрупнении трубопроводов в блоки.

Вместе с тем до настоящего времени широкое применение сварки GTAW при сооружении объектов энергетики сдерживается рядом факторов, в том числе особенностями монтажа теплотехнического оборудования и трубопроводов энергоблоков АЭС, в частности, сжатыми сроками монтажа, необходимостью концентрации и одновременной работы десятков индивидуальных сварочных постов на ограниченной производственной площадке, специфическими потенциально опасными условиями выполнения работ, исключаящими использование для энергоснабжения сварочного и другого технологического оборудования разводок питающих сетей переменного тока напряжением 220 и 380 В [13]. Это обуславливает преимущественное применение при монтаже энергоблоков АЭС систем централизованного энергоснабжения постов ручной дуговой сварки (сварки MMA) и ручной сварки TIG. В состав каждой из таких МСС входят мощный многопостовой сварочный выпрямитель с жесткой внешней ВАХ, индивидуальные сварочные посты и соединяющие их магистральные разводки. В большинстве случаев режимы сварки MMA и TIG регулируются балластными реостатами в цепи каждого индивидуального поста [9, 14]. Преимуществами существующих МСС являются относительно безопасный уровень напряжения в магистральных разводках, значение которого не превышает значения напряжения холостого хода многопос-

тового сварочного выпрямителя (т. е. не более 80 В), а также простота, надежность и мобильность постового сварочного оборудования, существенными недостатками — резко выраженная зависимость сварочного тока каждого индивидуального поста от длины дугового промежутка и колебаний напряжения питающей многопостовой выпрямитель сети, взаимное влияние сварочных постов при их одновременной работе, отсутствие возможности поддерживать с необходимой точностью заданные параметры технологических режимов и программировать цикл сварки, высокая энергозатратность сварочных работ.

Отмеченных недостатков существующих МСС полностью лишены МСС, построенные на базе электронных регуляторов сварочного тока для сварки MMA и TIG, которые обеспечивают не только значительное повышение коэффициента полезного действия МСС (с 41 % до не менее 83 % при MMA сварке и с 21 % до не менее 84 % при TIG сварке), но и существенное расширение технологических возможностей, что является предпосылкой повышения качества сварных соединений [15, 16]. Свойства и характеристики электронных регуляторов сварочного тока для МСС сварки MMA и TIG обуславливают возможность создания МСС для сварки GTAW неповоротных стыков трубопроводов при монтаже и ремонте объектов энергетики.

Одна из таких МСС, структурная схема которой приведена на рис. 4, разработана в ИЭС им. Е. О. Патона на базе составных частей автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 и модернизированных регуляторов сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 для сварки TIG.

В качестве централизованного источника питания в МСС для сварки GTAW используется многопостовой сварочный выпрямитель 1 серий ВДМ, ВКСМ, ВМГ или им аналогичный из числа, как правило, имеющихся на действующих энергоблоках АЭС и ТЭС и широко применяемых при монтаже сооружаемых объектов энергетики. Каждый индивидуальный пост содержит запитываемые от магистральных разводов электронный регулятор сварочного тока 2 и блок питания цепей управления 3, блок возбуждения дуги 4, систему управления 5, пульт управления выносной (пульт оператора) 6, головку сварочную 7.

Применяемый в МСС модернизированный регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 имеет такие же внешние ВАХ, динамические свойства и функциональные возможности (за исключением обеспечения возбуждения дуги), что и источник питания ИЦ 616 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов, а по построению силовой части и тракта управления регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 практически не отличается от конвертора DC-DC силового бло-

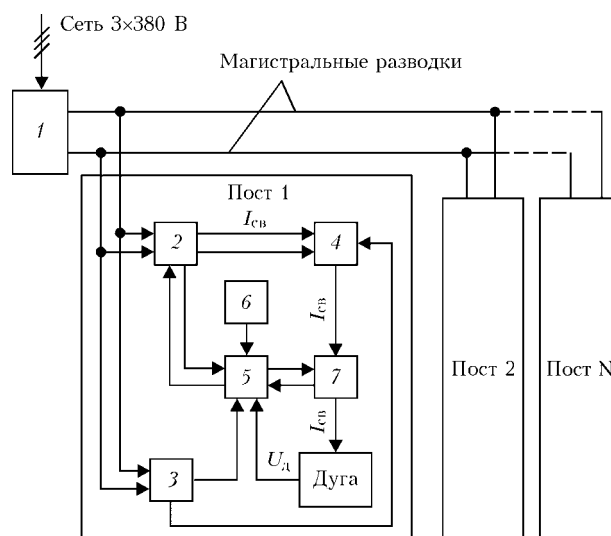


Рис. 4. Структурная схема многопостовой сварочной системы для автоматической орбитальной сварки: 1 — многопостовой сварочный выпрямитель; 2 — регулятор сварочного тока; 3 — блок питания цепей управления; 4 — блок возбуждения дуги; 5 — система управления; 6 — пульт управления выносной (пульт оператора); 7 — головка сварочная

ка этого источника питания. В составе постового оборудования МСС регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 обеспечивает предустанов значений параметров и реализацию токовой и газовой составляющей сварки GTAW при всех типах режимов сварки (непрерывный, шагоимпульсный, сварка модулированным током). Техническая характеристика модернизированного регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 приведена ниже, а его внешний вид — на рис. 5.

При необходимости входящий в состав постового оборудования МСС для GTAW сварки регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 может быть использован и для ручной TIG сварки (например, для выполнения прихваток, ремонта дефектов и т. п.).

Многоканальный блок питания цепей управления 3 (рис. 4) осуществляет преобразование напряжения магистральных разводов в стабилизированные и нестабилизированные напряжения постоянного тока, необходимые для питания блока возбуждения дуги 4, системы управления 5, пульта управления выносного (пульта оператора) 6 и приводов исполнительных механизмов головки сварочной 7. Основные каналы блока питания цепей управления представляют собой обратноходовые преобразователи DC-DC понижающего типа с повышенной частотой преобразования (до 132 кГц), что позволило миниатюризировать их конструктивные размеры и массу.

Блок возбуждения дуги (БВД) 4 выполнен по схеме тиристорного генератора высоковольтных импульсов с резонансной накачкой [9], вторичная обмотка выходного импульсного трансформатора которого включена последовательно в сварочную



цепь. Вырабатываемые БВД импульсы высокого напряжения вызывают пробой промежутка между электродом головки сварочной и поверхностью свариваемого трубопровода, что создает условия для возникновения в этом промежутке устойчивого дугового разряда.

Техническая характеристика модернизированного регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1

Напряжение питания (напряжение магистральных разводок), В	52...88
Номинальный сварочный ток, А	200
Пределы регулирования сварочного тока, А, не более:	
нижнее значение	8
верхнее значение	260
Наибольшее отклонение сварочного тока от заданного значения при изменениях напряжения питания (напряжения магистральных разводок) до $\pm 25\%$ номинального значения 70 В, %, не более	2
Пределы регулирования длительностей, с:	
плавного нарастания сварочного тока	1...5
«прогрева» места сварки	1...5
импульсов (пауз) сварочного тока в режиме сварки модулированным током	0,10...2,25
плавного спада сварочного тока (заварки «кратера»)	1...5
продувки газа (интервала времени «газ до сварки»)	5...25
обдува газом (интервала времени «газ после сварки»)	5...25
Коэффициент полезного действия (при номинальном сварочном токе), %, не менее	80
Габаритные размеры, мм, не более	515×281×353
Масса, кг, не более	24

В качестве системы управления 5, пульта оператора 6 и головки сварочной 7 постового оборудования МСС используют систему управления ИЦ 616.20.000, пульт управления ИЦ 616.30.00.000 и в зависимости от диаметров свариваемых трубопроводов одну из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 или АДЦ 626.03.00.000.

Входящие в состав постового оборудования МСС для сварки GTAW модернизированный регулятор сварочного тока РДГ-201У 3.1, система управления ИЦ 616.20.00.000, пульт управления



Рис. 5. Внешний вид регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов

ИЦ 616.30.00.000 и коллектор для подключения коммуникаций головки сварочной выполнены в виде моноблочных конструкций, при этом в конструктив системы управления встроены блок питания цепей управления, а в конструктив коллектора — БВД и датчик расхода инертного газа. Для обеспечения компактности, мобильности, удобства использования и хранения постового оборудования одним из возможных компоновочных решений может быть размещение и закрепление регулятора сварочного тока и системы управления в передвижной конструкции, представляющей собой оснащенную колесами аппаратную стойку.

Максимальная длина сварочного контура для индивидуальных постов МСС для сварки GTAW и автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1, при которой обеспечивается качественный процесс автоматической орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов, составляет 60 м.

Особенностью МСС для автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом является возможность одновременной работы индивидуальных постов для сварки GTAW и постов ручной сварки TIG при условии, что ток нагрузки многопостового сварочного выпрямителя не превышает допустимого значения, при этом в постах для ручной сварки TIG для регулирования сварочного тока могут применяться как электронные регуляторы, так и балластные реостаты.

Нагрузочную способность многопостового сварочного выпрямителя при использовании в качестве постовых регуляторов балластных реостатов определяют по соотношению [9]

$$N = \frac{I_{2\text{ ном}}}{k_0 I_{d\text{ ном}} \sqrt{\text{ПН}/100}}, \quad (1)$$

где N — наибольшее количество постов, которые могут быть подключены к многопостовому выпрямителю; $I_{2\text{ ном}}$ — номинальный вторичный ток (ток нагрузки) многопостового выпрямителя; k_0 — коэффициент одновременной работы постов; $I_{d\text{ ном}}$ — номинальный сварочный ток индивидуального поста; ПН — продолжительность нагрузки индивидуального поста, %.

При использовании в МСС электронных регуляторов сварочного тока нагрузочную способность многопостового выпрямителя определяют по формуле [16]

$$N = \frac{\eta I_{2\text{ ном}} U_{2\text{ ном}}}{k_0 I_{d\text{ ном}} U_{d\text{ ном}} \sqrt{\text{ПН}/100}}, \quad (2)$$

где η — коэффициент полезного действия электронного регулятора; $U_{2\text{ ном}}$ — номинальное вторичное рабочее напряжение многопостового выпрямителя; $U_{d\text{ ном}}$ — номинальное напряжение дуги (напряжение сварки).



Если в состав МСС входят индивидуальные посты как с электронными регуляторами сварочного тока, так и посты с балластными реостатами, определение нагрузочной способности многопостового выпрямителя проводят по выражению

$$N = \frac{\eta(I_{2\text{ ном}} - nI_{d\text{ ном}}^1 \sqrt{\frac{\text{ПН}}{100}} U_{2\text{ ном}})}{k_0 I_{d\text{ ном}} U_{2\text{ ном}} \sqrt{\frac{\text{ПН}}{100}}}, \quad (3)$$

где n — количество постов с балластными реостатами; $I_{d\text{ ном}}^1$ — номинальный сварочный ток поста с балластным реостатом.

Сравнительные характеристики нагрузочной способности МСС могут быть проиллюстрированы следующим примером. При использовании в МСС многопостового сварочного выпрямителя ВДМ-1001, у которого номинальный вторичный ток $I_{2\text{ ном}} = 1000$ А, а номинальное вторичное рабочее напряжение $U_{2\text{ ном}} = 60$ В, при $k_0 = 0,65$, номинальном сварочном токе индивидуального поста $I_{d\text{ ном}} = 200$ А и ПН = 60 %, нагрузочная способность составляет:

— 10 постов сварки TIG или MMA в варианте применения в качестве постовых регуляторов сварочного тока балластных реостатов;

— 26 постов ручной сварки TIG или сварки GTAW при использовании электронных регуляторов сварочного тока;

— 10 постов ручной сварки TIG или GTAW в случае, если в состав МСС входят четыре поста с балластными реостатами и шесть постов сварки TIG или GTAW при наличии в составе МСС пяти постов с балластными реостатами.

Выводы

1. Создание и освоение промышленного изготовления автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для орбитальной сварки без присадочной проволоки позволяет оснастить монтажные организации и ремонтные подразделения и предприятия отрасли энергетики современным отечественным оборудованием, обеспечивающим возможность реализации как опробованных, так и новых технологий автоматической сварки неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов диаметром от 8 до 76 мм из сталей аустенитного и перлитного классов и высоколегированных сплавов при монтаже и ремонте объектов энергетики.

2. Применение промышленно изготавливаемых электронных регуляторов сварочного тока в МСС не только существенно расширяет технологические возможности и улучшает технико-экономические показатели таких систем, но и является необходимым условием, выполнение которого обеспечивает возможность построения МСС

для автоматической орбитальной сварки, в том числе путем модернизации существующих МСС, что открывает перспективы значительного повышения уровня автоматизации сварки неповоротных стыков трубопроводов при монтаже сооружаемых и ремонте действующих энергоблоков АЭС, ТЭС и других крупных объектов энергетики.

3. Достижение высокого уровня унификации составных частей автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для сварки GTAW и использование этих составных частей в постовом оборудовании МСС для автоматической орбитальной сварки обеспечивают возможность эффективной и гибкой эксплуатации таких автоматов, сужения номенклатуры и уменьшения количества единиц оборудования, необходимого для выполнения сварочных работ при монтаже и ремонте объектов энергетики, снижения эксплуатационных расходов на это оборудование, ускорения подготовки обслуживающего персонала.

4. Дальнейшим развитием одно- и многопостовых систем сварки GTAW является расширение их функциональных и технологических возможностей путем совершенствования системы управления автоматов и постового оборудования МСС за счет создания банка типовых режимов сварки и применения микропроцессоров и энергонезависимой памяти.

В заключение авторы считают необходимым отметить, что в разработке и конструировании описанных выше одно- и многопостовых систем для автоматической орбитальной сварки активное и непосредственное участие приняли инженеры В. Ю. Буряк, Н. С. Федоренко, В. Л. Кобрянский, А. Г. Скирта, Э. В. Кункина, Д. С. Олиженко, в отработке технологических процессов сварки GTAW и доводке разработанного оборудования — инженеры В. М. Гавва, А. Д. Чередник, А. В. Ткаченко, а в освоении производства этого оборудования — инженеры О. И. Коркач, В. Н. Андрейченко, В. Е. Иванов, А. У. Мнухин, В. П. Тищенко, Г. И. Писарев, В. М. Золотов, В. С. Павловский.

1. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций / В. И. Гриненко, В. В. Рошин, В. А. Хаванов, С. И. Полосков // *Технология машиностроения*. — 2008. — № 8. — С. 48–51.
2. ПН АЭ Г-7-008–89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
3. ПН АЭ Г-7-009–90 и ПН АЭ Г-7-010–90. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения.
4. Белкин С. А., Шефель В. В. Автоматическая аргонодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС // *Энерг. стро-во*. — 1985. — № 11. — С. 43–46.
5. Галышев В. К. Применение автоматической сварки на монтаже трубопроводов Запорожской АЭС // Там же. — 1988. — № 3. — С. 9–10.



6. Белкин С. А. О ходе выполнения программы механизации работ по сварке стыков трубопроводов диаметром до 150 мм // Там же. — 1988. — № 3. — С. 3–4.
7. Шефель В. В. Состояние и перспективы разработки нового малогабаритного трубосварочного оборудования // Там же. — 1988. — № 12. — С. 3–4.
8. Сидоренко В. Ф., Кусков М. Ф., Зубова Н. Ф. Повышение мобильности трубосварочных автоматов // Там же. — 1988. — № 6. — С. 42–43.
9. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособ. / Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.
10. Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке: Учеб. пособ. — М.: Академия, 2006. — 432 с.
11. Полосков С. И., Букаров В. А., Иценко Ю. С. Влияние отклонений параметров режима аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений // Сварка и смежные технологии. Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. докл. — М.: МЭИ (ТУ), 2000. — С. 22–25.
12. Букаров В. А. Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Тр. НИКИМТ. — М.: ИздатАТ, 2002. — Т.1. — С. 149–210.
13. Сварка при монтаже оборудования и металлоконструкций реакторных установок / В. В. Рошин, В. А. Хаванов, Л. И. Акулов, В. А. Букаров // Там же. — М.: ИздатАТ, 2002. — Т.1. — С. 81–118.
14. Бункин П. Я., Донской А. В. Многопостовые сварочные системы. — Л.: Судостроение, 1985. — 228 с.
15. Коротынский А. Е., Махлин Н. М., Богдановский В. А. К расчету электронных регуляторов систем сварочного тока для многопостовых сварочных систем // Автомат. сварка. — 2002. — № 12. — С. 19–27.
16. Электронные регуляторы сварочного тока для многопостовых сварочных систем / Н. М. Махлин, А. Е. Коротынский, В. А. Богдановский и др. // Свароч. пр-во. — 2004. — № 5. — С. 13–18.

The paper describes PWI activities on development and manufacture of orbital complexes for automatic welding of butts of 8...76 mm pipelines. These complexes became accepted for repair of equipment of nuclear reactors of Ukrainian nuclear power plants.

Потупила в редакцию 05.09.2011

Новые расходные детали для высокоточной резки и резки на низких токах с разделкой кромки

Компания «Thermal Dynamics» запустила в производство новый спектр расходных деталей, которые позволяют увеличить качество при резке фасок на низких силах тока и при роботизированной резке.

Предприятием спроектированы и запущены в производство два новых набора расходных деталей на 15 и 30 А, обеспечивающих высокое качество при резке тонких материалов на более низких скоростях резки. Их применяют в сочетании с источником тока для высокоточной резки Ultra-Cut и XTR плазмотроном для роботизированной резки.

Шариковые опоры защитного наконечника плазмотрона, которые позволяют отслеживать кривизну поверхности разрезаемого изделия и поддерживать правильный и постоянный зазор между соплом и деталью, а также установка плазмотрона на подпружиненный держатель позволяют достичь качество резки вполне сравнимое с результатами, достигаемыми при лазерной резке.

Качество резки на тонких материалах также может быть улучшено с помощью передовых технологий управления газом, обеспечиваемых **Автоматической Газовой Консолью Thermal Dynamics**. Современные режимы управления газами сокращают время,

необходимое для очистки от предварительного газа (газа на котором поджигается дуга), при этом снижается потребность в чрезмерных требованиях по подводу газов и повышается качество резки на коротких резках.

«Thermal Dynamics» производит оборудование для плазменной резки более пятидесяти лет и предлагает полный спектр систем от портативных однофазных машин «хобби класса» до самых сложных систем высокоскоростной резки.



Контакты: тел.: (44) 1257 261755

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ (Обзор)

И. И. ЗАРУБА, д-р техн. наук, **В. В. АНДРЕЕВ**, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

В. И. СТЕПАХНО, д-р физ.-мат. наук, **В. А. КОРИЦКИЙ**, канд. техн. наук
(ОЗСО Ин-та электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлена информация о современных способах управления током короткого замыкания в переходных процессах, вызванных переносом электродного металла при механизированной сварке в углекислом газе.

Ключевые слова: механизированная дуговая сварка, плавящийся электрод, сварочный ток, постоянный ток, сварочный дроссель

При механизированной дуговой сварке в углекислом газе с периодическими короткими замыканиями дугового промежутка ток короткого замыкания $I_{к.з}$ можно ограничивать дросселем или резистором в цепи постоянного тока при жесткой или пологопадающей вольт-амперной характеристике сварочного источника питания, либо путем использования в сварочном выпрямителе силового трансформатора с развитым рассеянием [1, 2]. При этом форма кривой $I_{к.з}$ зависит от способа его ограничения (рис. 1).

В свое время на основе безынерционного ограничения $I_{к.з}$ резистором создали простую систему многопостового питания [3]. По сравнению с инерционным ограничением $I_{к.з}$, например дросселем, безынерционный способ облегчает первоначальное возбуждение дуги, что особенно важно при сварке электродной проволокой диаметром 2 мм и более.

Способы ограничения $I_{к.з}$ при сварке в углекислом газе в нижнем положении описаны в работе [4]. При сварке в углекислом газе вертикальных и потолочных швов различие в способах ограничения $I_{к.з}$ особенно заметно. Установлено, что чем меньше амплитудное значение $I_{к.з}$, тем меньше разбрызгивание металла. При сварке в нижнем положении минимальная амплитуда $I_{к.з}$ ограничивается только условием устойчивости процесса [5].

При сварке в вертикальном и потолочном положениях значение $I_{к.з}$ выбирают исходя прежде всего из условия переноса металла и формирования шва. Чем выше амплитудное значение $I_{к.з}$ (до определенного предела), тем больший импульс по направлению к изделию получают капля элект-

родного металла и ванна, что способствует удержанию их на вертикальной и потолочной поверхностях. Обнаруживается явное противоречие между требованиями уменьшения разбрызгивания (минимальный $I_{к.з}$) и обеспечения формирования вертикального и потолочного швов (максимальный $I_{к.з}$).

Сварщики часто пренебрегают разбрызгиванием и работают при больших амплитудных значениях $I_{к.з}$. В этом случае, как показала практика, лучших результатов достигают при способе инер-

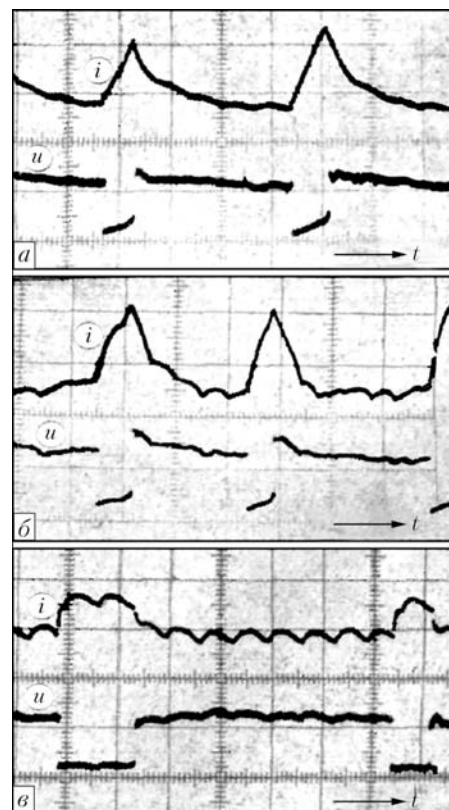


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения при ограничении тока короткого замыкания дросселем (а), наклоном внешней характеристики сварочного выпрямителя, трансформатор которого имеет развитое рассеяние (б) и резистором (в) [2]

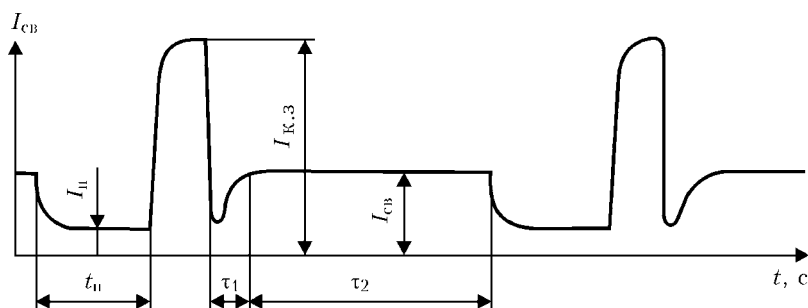


Рис. 2. Осциллограмма тока при сварке с короткими замыканиями с использованием тиристорного ключа; τ_1 — длительность паузы в протекании сварочного тока к моменту разрыва переключки; τ_2 — длительность плавления электрода; t_n — длительность паузы перед коротким замыканием

ционного ограничения $I_{к.з.}$. В случае безынерционного ограничения тока балластным реостатом размер капель увеличивается, что затрудняет их перенос в ванну и формирование шва.

Капли, как правило, смещаются на боковую поверхность электрода, поскольку при их первоначальном соприкосновении с ванной, когда площадь контакта меньше сечения шейки между электродом и каплей, электродинамическая сила направлена от ванны к электроду и препятствует переносу капли. Основная их масса отталкивается от ванны, однако не теряет связи с электродом и, пополняясь новыми порциями жидкого металла, увеличивается в размерах. Последующие соприкосновения сопровождаются такими же явлениями, пока капля, приведенная толчками электродинамической силы в интенсивное колебательное движение, не оторвется от электрода и улетит в сторону либо не столкнется с ванной большей частью своей поверхности и поглотится последней, что при сварке вертикальных швов бывает реже.

В нижнем положении образование большой капли не отражается на формировании шва, поскольку гравитационная сила способствует ее продвижению на торец электрода и в большинстве случаев — в ванну. Для уменьшения электродинамической силы, отталкивающей каплю от ванны в первый момент их соприкосновения, необходимо снизить $I_{к.з.}$. Однако значение $I_{к.з.}$ должно быть достаточным для создания соответствующего импульса, прижимающего после этого каплю к ванне. Указанные требования не удовлетворяются при ограничении $I_{к.з.}$ балластным реостатом.

Для поисков оптимальных решений в 1985 г. сотрудники ИЭС им. Е. О. Патона и Томского политехнического института провели эксперименты с использованием тиристорного ключа [6] и предложили способ сварки с короткими замыканиями дугового промежутка, суть которого заключается в управлении током в переходных процессах, вызванных переносом металла (рис. 2).

При сварке от источника питания постоянного тока, содержащего в сварочной цепи дроссель, перед коротким замыканием дугового промежутка производят кратковременное снижение тока на период t_n . В момент начала короткого замыкания дроссель шунтируют резистором, что приводит к резкому росту тока от минимального до пикового

значения. Резкое повышение тока короткого замыкания способствует увеличению электродинамической силы, направленной от электрода к сварочной ванне и стремящейся ускорить переход электродного металла в сварочную ванну за счет действия сил пинч-эффекта по линии расплавления электрода. Это вызывает сокращение длительности короткого замыкания от $(4...5) \cdot 10^{-3}$ с (средняя длительность короткого замыкания при наличии в сварочной цепи дросселя) до $(1,5...2,0) \cdot 10^{-3}$ с.

При достижении критических размеров переключки между сварочной ванной и расплавленной частью электрода ($U_d = 6...8$ В) сварочный ток резко снижается до значения $20...40$ А при длительности $(0,2...0,4) \cdot 10^{-3}$ с (рис. 2, τ_1). По истечении длительности паузы τ_1 сварочный ток вновь увеличивают. При этом в цепь протекания тока опять включают дроссель, наличие которого повышает эластичность дуги и устойчивость ее горения на интервале плавления электрода τ_2 и снижения тока перед коротким замыканием t_n (рис. 2).

Создание таких условий приводит к значительному уменьшению дугового промежутка и размера капли металла, переносимого в ванну. Сокращение длительности короткого замыкания позволяет при незначительном напряжении холостого хода $U_{х.х.}$ увеличить подачу электродной проволоки и соответственно производительность процесса сварки при высокой его стабильности.

Рассмотренный способ дуговой сварки получил развитие в середине 1990-х гг. в разработанном компанией «Lincoln Electric» процессе STT (Surface Tension Transfer) для сварки корневых швов [6].

Процесс STT — преемник обычного процесса механизированной сварки в защитном газе, реализующего перенос металла посредством коротких замыканий дугового промежутка. Однако STT принципиально отличается от него возможностью прямого управления условиями переноса электродного металла в сварочную ванну, что обеспечивается за счет быстродействующей инверторной схемы источника питания, специального электронного микропроцессорного модуля, принудительно задающего необходимый уровень сварочного тока, а также контура обратной связи, динамично отслеживающего изменения напряжения

на дуге. В течение всего цикла переноса капли в сварочную ванну значения сварочного тока жестко зависят от фазы формирования капли и последующего ее перехода в ванну. Идентификация фазы переноса осуществляется путем обработки уровня напряжения, постоянно снимаемого с дугового промежутка.

Компанией «Lincoln Electric» специально для этого процесса разработан 225-амперный инверторный источник питания Invertec STT II [7], реализующий технологию управления формой сварочного тока. Invertec STT II отличается от обычных сварочных источников, поскольку не является источником ни с жесткой, ни с крутопадающей характеристикой. Аппарат имеет обратную связь, отслеживающую основные этапы переноса капли и мгновенно реагирующую на процессы, происходящие между электродом и сварочной ванной, изменяя значение и форму сварочного тока.

Следует отметить, что оборудование для ведения процесса STT относится к довольно дорогостоящему, для которого требуется создание соответствующих условий эксплуатации. То же касается и процесса с минимальной теплоотдачей CMT (Cold Metal Transfer—перенос холодного металла), разработанного фирмой «Fronius» [8]. Процесс переноса металла происходит за счет реверса подачи электродной проволоки в момент возникновения короткого замыкания, что помогает отделению капли. При этом ток короткого замыкания незначителен, что обеспечивает перенос металла с минимальным разбрызгиванием.

В настоящее время данную технологию используют в тех случаях, когда требуется пониженное, гибко регулируемое тепловложение. За счет очень высокой производительности процесса сварки можно заполнять более широкие зазоры при работе с тонкими и ультратонкими листами. Низкий процент перемешивания с основным металлом создает новые возможности и особые преимущества.

Основные особенности процесса заключаются в следующем:

- регулирование короткой дуги исключительно в источнике питания;
- новая динамичная инвертирующая схема;
- очень быстрое цифровое регулирование процесса;
- значительное снижение пика мощности при повторном зажигании дуги;
- существенное уменьшение теплопередачи на этапе расплавления.

Ускорение переноса капли в ванну путем принудительного выключения тока в цепи на первой и последней фазах короткого замыкания позволяет повысить производительность процесса. Однако практическое применение ключевых элементов в установках для механизированной сварки пока затруднено из-за сложности устройств и вы-

сокой стоимости основных элементов схемы. Поэтому более предпочтительными следует считать сравнительно недорогие устройства, например сварочные дроссели, которыми комплектуются серийные выпрямители для механизированной сварки и наплавки. Проведенные нами исследования показали, что аналогичных результатов можно достичь без сложных систем введения обратных связей.

Нами обращено внимание на влияние накопленной в дросселе и в сварочном контуре энергии при коротком замыкании дугового промежутка на последующие после него возбуждение дуги и интенсивность плавления электрода. Как оказалось, принудительное управление этой энергией с помощью внутренней обратной связи позволяет получать положительные результаты по качеству формирования шва и потерям металла. Достаточно управлять энергией дросселя таким образом, чтобы после короткого замыкания минимизировать длину дуги, а значит, и размер капель электродного металла.

При сварке в углекислом газе с короткими замыканиями разбрызгивание металла в некоторой степени зависит от напряжения дуги, поскольку размер капли и энергия взрыва перемычки пропорциональны длине дугового промежутка [9]. Поэтому естественное в этом случае стремление вести сварку на режимах с малым напряжением дуги не всегда технологически оправдано. Как показали наблюдения, при ограничении тока короткого замыкания дросселем запасенная в нем на растущем участке переходного процесса электромагнитная энергия после разрыва перемычки обуславливает резкое увеличение дугового промежутка за счет интенсивного плавления электрода, что видно на типичных осциллограммах напряжения дуги. Нами исследовалась возможность управления и стабилизации длины дугового промежутка путем дозирования поступающей в дугу энергии после короткого замыкания. С этой целью разработали и испытали специальный дроссель, электрическая схема которого показана на рис. 3 [10].

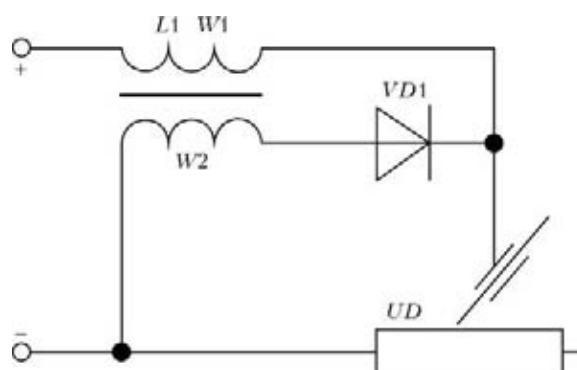


Рис. 3. Электрическая схема дросселя с диодом в цепи обмотки управления

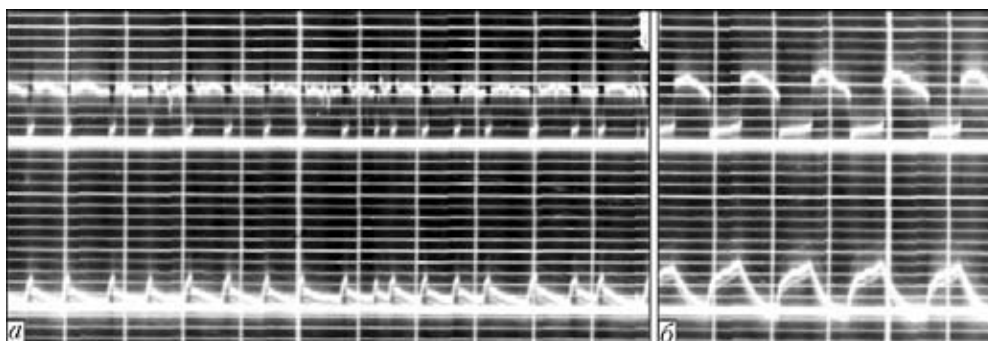


Рис. 4. Осциллограммы напряжения дуги и тока сварки ($U_d = 20$ В, $I_{св} = 100$ А, $U_{х.х} = 26$ В, $D_{э.п} = 1,2$ мм): а — дроссель с внутренней обратной связью; б — дроссель без внутренней обратной связи

Дроссель $L1$ содержит силовую обмотку $W1$, включенную последовательно в сварочную цепь, вспомогательную обмотку $W2$, магнитопровод, диод $VD1$ в цепи вспомогательной обмотки, причем диод с помощью катода подключен к электроду, если сварку ведут на токе при обратной полярности, а конец обмотки $W2$ подключен к изделию. При сварке на токе при прямой полярности включение диода изменяется.

Устройство работает в переходных режимах, вызываемых замыканиями дугового промежутка каплями расплавленного металла. При нарастании тока в силовой обмотке дросселя происходит нарастание тока во вспомогательной обмотке, который суммируется с основным током. Резкий спад сварочного тока после разрыва жидкой перемычки между электродом и ванной обуславливается изменением результирующего магнитного потока дросселя на стадии нарастания сварочного тока, а также значения индуктивности дросселя.

При этом достигается более резкое кратковременное увеличение тока в период короткого замыкания, способствующее активному сжатию перемычки расплавленного металла электрода и ее разрушению. Одновременно отмечено существенное уменьшение длительности коротких замыканий и увеличение их частоты (рис. 4). Перенос металла становится мелкокапельным. Резкое сни-

жение тока после короткого замыкания обеспечивает минимальную длину дугового промежутка.

Подобными дросселями в настоящее время комплектуются сварочные выпрямители ВС-650СР, выпускаемые ОЗСО ИЭС им. Е. О. Патона [11]. В отличие от традиционных сварочных выпрямителей источник, благодаря оригинальному дросселю с внутренней обратной связью, обеспечивает стабилизацию длины дугового промежутка и размера капель переносимого металла при сварке в защитных газах с короткими замыканиями, что существенно улучшает формирование шва и качество сварки во всех пространственных положениях при минимальном разбрызгивании электродного металла (рис. 5).

Нами разработаны также варианты схемных решений устройства с тиристором в цепи обмотки управления [12]. Применение тиристорного управления в дросселе позволяет существенно уменьшить скорость нарастания тока в начале короткого замыкания, что обеспечивает надежное слияние капли с ванной расплавленного металла. Максимальное значение тока короткого замыкания благодаря тиристорному регулированию может быть в определенной мере оптимизировано и выбрано таким, чтобы обеспечить надежное разрушение жидкой перемычки между каплями и электродом, а также переход капли в ванну.



Рис. 5. Внешний вид наплавленных валиков при сварке в углекислом газе от выпрямителя с дросселем с внутренней обратной связью



Одновременно такое регулирование может уменьшить максимальное значение тока короткого замыкания, что ограничивает энергию взрыва жидкой перемычки и уменьшает вероятность выброса капли за пределы сварочной ванны. Все это способствует уменьшению коэффициента разбрызгивания металла. Ускоренное снижение сварочного тока после окончания короткого замыкания уменьшает перегрев металла и выгорание легирующих элементов, что в ряде случаев имеет важнейшее технологическое значение. Включение источника низкого постоянного напряжения последовательно с обмоткой управления дросселя и тиристором значительно расширяет возможности управления энергии сварочного дросселя в переходных процессах за счет регулирования уровня и формы тока короткого замыкания.

Таким образом, модернизация дросселей серийных сварочных выпрямителей путем снабжения их специальной дополнительной обмоткой внутренней обратной связи позволяет получить технологический эффект, сравнимый с таковым при сварке с использованием дорогостоящего оборудования.

Основными достоинствами устройства являются простота, направленное использование запасенной дросселем электромагнитной энергии и повышение качества сварки. Сварка с применением внутренней обратной связи в дросселе позволяет получить мелкокапельный перенос электродного металла при малых его потерях на угар и разбрызгивание; снижение выгорания легирующих элементов и окисления электродного металла вследствие уменьшения времени пребывания расплавленной капли металла в зоне дуги; повышение стабильности процесса сварки и устойчивости горения дуги; саморегулирование

уровня $I_{к.з}$, уменьшение длительности $I_{к.з}$, увеличение частоты $I_{к.з}$; качественную сварку во всех пространственных положениях шва.

1. Заруба И. И., Андреев В. В. Особенности применяемых способов ограничения тока короткого замыкания при сварке в углекислом газе // Автомат. сварка. — 1978. — № 1. — С. 16–19.
2. Влияние метода ограничения тока короткого замыкания на формирование вертикальных и потолочных швов при сварке в углекислом газе / И. И. Заруба, В. П. Баргамен, В. В. Андреев, М. Н. Сидоренко // Там же. — 1973. — № 4. — С. 64–67.
3. Лебедев В. К., Медведев Н. Ф., Заруба И. И. Исследование многопостовых систем питания для сварки в углекислом газе // Там же. — 1967. — № 10. — С. 40–44.
4. Заруба И. И. Механизм разбрызгивания металла при дуговой сварке // Там же. — 1970. — № 11. — С. 12–16.
5. Заруба И. И. Условие устойчивости процесса сварки с короткими замыканиями // Там же. — 1971. — № 2. — С. 1–4.
6. А. с. 1310140 СССР, МПК В 23 К 9/00. Способ дуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления / И. И. Заруба, Ю. Н. Сараев, А. Ф. Князьков, А. К. Тимошенко. — Оpubл. 15.05.87; Бюл. № 18.
7. Иоффе Ю. Е., Квасов Ф. В. Новые высокотехнологичные системы полуавтоматической сварки компании «Линкольн Электрик» // Свароч. пр-во. — 1997. — № 4. — С. 40–43.
8. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (Обзор) // Автомат. сварка. — 2010. — № 10. — С. 45–53.
9. Заруба И. И. Электрический взрыв как причина разбрызгивания металла // Там же. — 1970. — № 3. — С. 14–18.
10. А. с. 694308 СССР, МПК В 23 К 9/00. Сварочный дроссель / В. К. Лебедев, И. И. Заруба, В. В. Андреев и др. — Оpubл. 30.10.79; Бюл. № 40 10.
11. Степачно В. И., Андреев В. В., Корицкий В. А. Источники питания для дуговой сварки и наплавки с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Вагон. парк. — 2011. — № 5. — С. 26–30.
12. А. с. 1087282 СССР, МПК В 23 К 9/00. Устройство для стабилизации сварочного тока при сварке постоянным током с периодическими короткими замыканиями / И. И. Заруба, В. В. Андреев, Г. Н. Москвич и др. — Оpubл. 23.04.84; Бюл. № 15.

Information on modern methods of controlling short-circuiting current in the transient processes caused by electrode metal transfer in mechanized CO₂ welding is presented.

Поступила в редакцию 04.08.2011



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА СТАЛИ И СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ КИТАЯ (Обзор)

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

Представлены обобщенные данные о состоянии производства в отраслях черной металлургии и сварочной техники Китая в период 2009–2010 гг. и перспективы их дальнейшего развития.

Ключевые слова: производство стали, сварочная техника, экономика, статистика

Производство стали. С 1978 г. (начала проведения экономической реформы в Китае) темп среднего ежегодного роста экономики страны сохраняется стабильно высоким — около 10 %. Производство стали также постоянно возрастает. Средний ежегодный рост производства стали в 1980-е годы составил около 7, в 1990-е — 10, а с 2000 г. — более 20 %. В 2010 г. в Китае было произведено 626,6 млн т стали, что превысило суммарный объем производства 15 стран — ведущих мировых производителей стали (табл. 1). Доля Китая в мировом производстве стали за тридцать лет возросла с 5,1 в 1980 г. до 44,2 % в 2010 г. [1].

Рост производства и потребления стали прежде всего обусловлен высокими темпами индустриализации и урбанизации, значительными инвестициями в ключевые сектора китайской экономики, связанные с высоким потреблением металла, такие, как машиностроение, автомобиле-, судостроение, гражданское и промышленное строительство. Объем потребления стали в Китае за десять лет с 2001 г. по 2010 гг. вырос в 3,5 раза и превысил в 2010 г. 600 млн т. За этот же период показатель потребления стали на душу населения вырос в 3,4 раза и составил в 2010 г. 445,2 кг [1, 2].

Более 95 % производимой в Китае стали потребляется на внутреннем рынке. Китай экспортировал в 2010 г. около 42 млн т и импортировал 17 млн т готовой стальной продукции. Основными отраслями-потребителями стали в Китае являются промышленное и гражданское строительство (56 %), машиностроение (18 %), автомобиле- (6 %), судостроение (3 %), энергетика (2 %). Потребность китайской экономики в высококачественной стальной продукции постоянно растет [3].

Повышение эффективности и конкурентоспособности черной металлургии — одна из актуальных задач современного Китая. Плановое реформирование отрасли осуществляется с 2004 г., когда правительством Китая был утвержден

«План развития черной металлургии Китая до 2020 г.». В государственном плане развития экономики Китая на 2011–2015 гг. поставлены задачи по решению проблем избытка производственных мощностей, раздробленности, технического перевооружения отрасли, стимулирования экспорта, загрязнения окружающей среды. Согласно показателям плана в 2011 г. планируется увеличить долю отрасли черной металлургии в ВВП страны до 4 %. При этом в течение трех лет планируется сократить мощности по производству стали до 500 млн т [4, 5].

Согласно оценке World Steel Association общие мощности КНР по выплавке сырой стали с 2000 по 2009 гг. выросли более чем в 4 раза и достигли 743 млн т, что составляет 80,4 % общемирового прироста мощностей за этот период. В настоящее время сталелитейные мощности на 20...30 % выше уровня реального потребления. В 2010 г. планировалось вывести из эксплуатации доменные

Таблица 1. Страны мира — основные производители стали в 2010 г.

Страна	Ранг	Объем производства стали, млн т	Доля в мировом производстве, %
Китай	1	626,65	44,2
Япония	2	109,60	7,7
США	3	80,59	5,7
Россия	4	67,02	4,7
Индия	5	66,85	4,7
Республика Корея	6	58,45	4,0
Германия	7	43,82	3,0
Украина	8	33,56	2,4
Бразилия	9	32,82	2,3
Турция	10	29,00	2,0
Италия	11	25,75	1,8
Тайвань	12	19,64	1,4
Мексика	13	17,04	1,2
Испания	14	16,31	1,1
Франция	15	15,42	1,0

печи объемом менее 300 м³, конверторы и электропечи емкостью до 20 т. В течение 2011 г. ожидается вывод из эксплуатации доменных печей объемом менее 400 м³ и конверторов и электропечей емкостью менее 30 т. В течение 2010–2011 гг. должны быть выведены из эксплуатации устаревшие доменные печи общей мощностью порядка 100 млн т/год. Согласно намеченным планам в результате реформы в 2015 г. — 60, а в 2020 г. 70 % сталелитейных мощностей будут контролироваться десятью крупнейшими государственными компаниями. В 2010 г. доля пяти крупнейших компаний по производству стали в общем объеме производства стали в стране была равна 32,6 %, в 2011 г. планируется ее рост до 45 %.

Строительство современных крупных металлургических комплексов позволило не только увеличить объем производства стали, но и изменило структуру технологии сталеплавильного производства и выпускаемой продукции в Китае, способствовало внедрению энергосберегающих технологий. Достигнуты заметные успехи в области охраны окружающей среды [6]. В 2001 г. в Китае была выведена из эксплуатации последняя мартеновская печь. Доля выплавки стали в кислородных конверторах в 2010 г. составила 90,2 % (565,4 млн т), а в дуговых печах — 9,8 % (61,3 млн т). Доля производства стали способом непрерывной разливки составила в 2010 г. 97,9 % (613,7 млн т). Конверторный способ выплавки стали снижает удельные выбросы в атмосферу по сравнению с мартеновским в 3 раза. В процессе непрерывной разливки стали расход металла снижается до 15 % и уменьшаются удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в 2,5 раза. Значительно вырос объем производства горячекатаного проката. В Китае в 2010 г. было произведено 796,3 млн т горячекатаного проката, в структуре производства которого в 2007 г. впервые доля плоского проката превысила долю сортового. В 2010 г. в Китае было произведено 362,9 млн т сортового и 408,1 млн т плоского проката. В табл. 2 приведены данные производства некоторых основных видов металлопродукции в Китае в разные годы [1].

В результате технического перевооружения отрасли планируется, что в 2011 г. качество 60 % конечной стальной продукции, производимой ведущими крупными и средними сталеплавильными предприятиями, будет соответствовать мировым стандартам, а предприятия Китая смогут обеспечить внутреннюю потребность основных видов готовой стальной продукции на 90 %. Освоение выпуска новых видов стальной продукции и изделий с высокой добавленной стоимостью является одним из основных приоритетов отрасли. В 2011 г. на техническое перевооружение и поддержку научных исследований в отрасли централь-

Таблица 2. Объем производства готовой стальной продукции в Китае, млн т

Вид продукции	2004	2009	2010
Сортовой прокат	162,9	332,5	362,9
Плоский прокат	127,7	307,7	408,1
Мелкосортный профиль (≤80 мм)	21,9	39,1	42,5
Сортовой круглый прокат для армирования железобетонных конструкций	57,7	121,5	131,0
Другие виды изделий из горячекатаного проката	23,1	55,4	69,0
Катанка	50,2	96,7	105,5
Металлический покрытый лист и полоса	6,0	20,7	28,5
Трубы и фитинги	21,2	—	57,7
Сварные трубы	13,0	30,4	32,4

ным правительством Китая выделено около 25 млрд юаней (около 4 млрд дол.).

Правительством Китая в 2010 г. опубликованы «Нормы производства и функционирования предприятий черной металлургии», в которых определены конкретные стандарты параметров производства и оборудования, а также мероприятия по защите окружающей среды для металлургических предприятий. В частности, в соответствии с нормами по защите окружающей среды при производстве 1 т стали выбросы сточной воды не должны превышать 2 м³, выбросы в атмосферу пыли 1 кг и выбросы диоксида серы 1,8 кг. С целью снижения потребления электроэнергии и загрязнения окружающей среды определено обязательное применение на средних и крупных металлургических предприятиях технологии сухого тушения кокса [7, 8].

Конечной целью реализации мероприятий, направленных на экономию энергии и уменьшение выбросов, оптимизацию промышленной структуры, повышение концентрации производства и закрытие отсталых мощностей, является повышение конкурентоспособности китайской черной металлургии [5].

Сварочная техника. По оценке ESAB доля Китая на мировом сварочном рынке в 2010 г. составляла 23 % (3,1 млрд дол.) [9]. По объему производства и потребления сварочных материалов Китай занимает первое место в мире. По сравнению с 2009 г. объем рынка сварочной техники Китая возрос на 14 %. Объем производства сварочных материалов в 2009 г. составил около 2,5 тыс. т, а стоимостный объем рынка сварочных материалов Китая — около 1,1 млрд дол. [9]. В табл. 3 приведены данные объема производства основных сварочных материалов в Китае в 2004–2009 гг.



Таблица 3. Производство сварочных материалов в Китае, тыс. т

Сварочные материалы	2004	2005	2006	2007	2009
Электроды	1100	1200	1250	1300	1450
Проволока	400	480	560	650	1050
Всего	1550	1750	1900	2050	2500

Структура производства сварочных материалов в Китае быстро меняется: растет производство проволоки сплошного сечения и порошковой проволоки при сокращении производства сварочных электродов.

В 2009 г. около 60 % всех производимых в Китае сварочных материалов составляли покрытые электроды для ручной дуговой сварки и 40 % — сварочные проволоки (25 % — сплошная и 15 % — порошковая проволока).

По прогнозу China Iron and Steel Research Institute к 2015 г. объем производства сварочных материалов в Китае достигнет 3,5...4,0 млн т, при этом доля производства покрытых электродов для ручной дуговой сварки снизится до 22 %, сплошной проволоки для сварки в CO₂ возрастет до 50 %, порошковой проволоки — до 15 %, проволоки для электродуговой сварки под флюсом и флюсов будет составлять около 12 %, а материалов для сварки неплавящимся электродом сохранится на уровне 1 % [10].

Основными отраслями — потребителями сварочных материалов в Китае являются строительство, машиностроение, энергетика (строительство нефте- и газопроводов), судостроение, железнодорожный транспорт. Доля потребления сварочных материалов в строительстве составляет порядка 40...50 % [11].

Вследствие экономического кризиса экспорт сварочных материалов в 2009 г. был значительно сокращен, однако уже в 2010 г. показатели экспорта сварочных материалов вышли на докризисный уровень. В натуральном выражении объем экспорта сварочных материалов в Китае более чем в 4 раза превышает объем импорта, однако в стоимостном

выражении объем импорта почти на 40 % превышает объем экспорта сварочных и присадочных материалов. По рассматриваемой группе товаров Китай в 2010 г., как и в предыдущие годы, имел отрицательный торговый баланс.

В табл. 4 приведены данные стоимостного и натурального объемов экспорта и импорта сварочных и присадочных материалов согласно данным базы данных Организации Объединенных Наций «COMTRAD» [12]. Анализ группы материалов, которая включает сварочную легированную сплошную проволоку (код 7217), в статье не представлен, так как в базе данных «COMTRAD» продукция классифицирована по шестизначному коду и в классе 721710 (проволоки и ленты), подкласс по сплошным сварочным проволокам (седьмая и восьмая позиции) не представлен.

Основную долю экспорта сварочных материалов (45 % в стоимостных показателях и почти 70 % в натуральных) составляют покрытые электроды. Объем экспорта покрытых электродов постоянно возрастает. В структуре импорта основную долю составляют порошковая проволока (30 %), материалы для газовой сварки (21 %) и материалы для пайки (26 %).

Основные виды сварочного оборудования.

К этому виду продукции, производимой в Китае, относятся серийные аппараты для дуговой сварки на переменном токе; оборудование для дуговой сварки на постоянном токе; автоматические и полуавтоматические машины; машины для сварки сопротивлением; специальное автоматизированное оборудование для сварки и резки.

В 2009 г. стоимостный объем производства электросварочного оборудования в Китае составил 2,9 млрд дол., что на 12 % ниже уровня 2008 г. В послекризисный период, в 2010 г. объем производства сварочного оборудования возрос до 3,4 млрд дол. В дальнейшем до 2012 г. ежегодный рост производства сварочного оборудования по оценке китайских экспертов составит 11,2 %. Ожидается, что в 2012 г. стоимостный объем производства сварочного оборудования превысит 4,2 млрд дол. [13].

Таблица 4. Экспорт и импорт сварочных и присадочных материалов, тыс. т (числитель), млн дол. (знаменатель)

Сварочные материалы	Экспорт			Импорт		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Покрытые электроды и проволока (без сплошной проволоки), всего	323,7/422,3	336,0/347,4	315,6/352,4	53,0/300,1	51,9/245,0	56,5/293,6
В том числе:						
покрытые электроды для электродуговой сварки	191,9/173,8	247,3/191,0	239,7/187,5	6,9/53,5	4,2/35,3	6,0/49,5
материалы для пайки	17,1/37,5	20,9/34,8	21,7/43,5	11,6/149,6	11,0/125,4	12,4/161,4
флюс, вспомогательные материалы	19,6/18,5	17,5/14,7	16,0/14,4	23,0/93,5	19,6/84,8	23,6/108,0
Сварочные материалы, всего	360,4/478,3	374,4/396,9	353,3/410,3	85,6/543,2	82,5/455,2	92,5/563,0

В структуре производства сварочного оборудования Китая преобладает производство оборудования низкого класса (сварочные трансформаторы переменного тока для дуговой сварки), но доля его ежегодного прироста незначительна (порядка 5...6 %) и постоянно сокращается. Напротив, доля производства высокотехнологического и энергосберегающего оборудования — инверторных источников питания для сварки на постоянном и импульсном токе, автоматического и полуавтоматического оборудования с цифровым управлением постоянно возрастает (рисунки). В 2010 г. доля инверторных источников питания в стоимостном объеме производства сварочного оборудования составляла 28 %, что на 60...70 % меньше, чем в развитых странах мира. Ожидается, что к 2012 г. доля инверторных источников питания в структуре производства возрастет до 39 % [13].

Ежегодная потребность Китая в оборудовании для дуговой сварки оценивается приблизительно в 380 тыс. шт., из которых 25 % составляет оборудование для дуговой сварки плавящимся электродом (MAG) в среде углекислого газа [11].

Увеличивается уровень автоматизации и роботизации сварочного производства. Потребность в роботах для дуговой сварки оценивается в 2,4...2,5 тыс. ед. Сварочные роботы широко применяются не только в автомобилестроении, но и в машиностроении, строительстве, транспортном машиностроении (железнодорожный и электротранспорт).

Возрастает потребление оборудования для резки. Ежегодная потребность в оборудовании для газовой, плазменной и лазерной резки оценивается в 2 тыс. ед. Основную долю (около 95 %) составляют машины для плазменной и газовой резки. Китайские производители обеспечивают около 70 % внутреннего рынка оборудования для резки. Доля импорта данного вида оборудования из Японии и стран ЕС составляет 30 %. Значительна также потребность в оборудовании для резки водной струей. Ежегодная потребность данного вида оборудования составляет около 500 шт.

Производство Китая обеспечивает внутренний рынок сварочного оборудования на 60...70 %. Этот показатель практически не изменился с 2007 г. вследствие опережающего роста производства стали и металлоконструкций. Поэтому вполне закономерно сохранение значительного объема импорта сварочного оборудования, который ежегодно возрастает и в 2010 г. превысил 1 млрд дол.

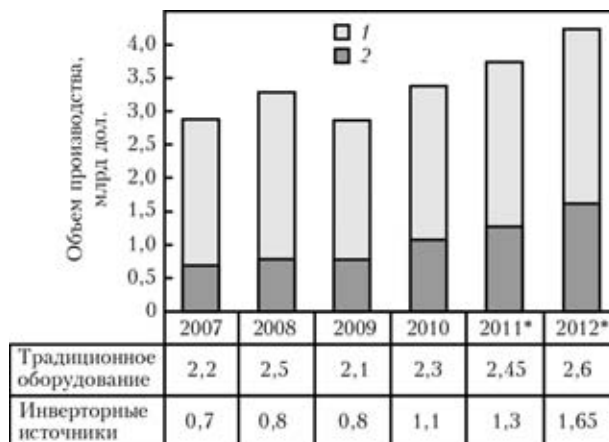
В Китае увеличивается импорт сварочных роботов. В основном осуществляются поставки из Японии (80 %), Германии, Австрии, Швейцарии. Импорт сварочных роботов для дуговой сварки из Японии в 2009 г. составил 1 765 шт. (возрос

на 12,1 % по отношению к 2008 г.). В 2009 г. было также приобретено 400 шт. роботов для точечной сварки, 150 шт. для лазерной сварки — в основном для микроэлектроники (производство мобильных телефонов и компьютеров) [11].

В табл. 5 приведены данные объема внешней торговли электросварочным оборудованием Китая в 2008–2010 гг. согласно данным базы данных ООН «COMTRAD» [12].

Имея преимущество по цене, значительными темпами увеличивается экспорт электросварочного оборудования. Как видно из данных табл. 5 за период 2008–2010 гг. экспорт электросварочного оборудования вырос на 40, а импорт — на 5 %, несмотря на мировой кризис. Продукция экспортируется в большинство развитых стран мира, включая США, Канаду, Германию, Францию, Россию, Японию, Корею и др. В структуре экспорта электросварочного оборудования Китая доминирует оборудование для дуговой сварки (источники питания на переменном и постоянном токе) — 24 %, оборудование для плазменно-дуговой сварки и резки — 20 %, запасные части — 22 %. Китай в основном импортирует высокотехнологическое электросварочное оборудование для электронно-лучевой и лазерной сварки, электродуговой и контактной автоматической и полуавтоматической сварки.

Стремительное развитие китайской сварочной индустрии в XXI в. тесно связано с открытием внутреннего национального рынка и приходом на него ведущих мировых производителей сварочной техники: «Lincoln Electric», «General Electric», ESAB, «Osaka Transformer Company» (OTC), «KUKA», «Termadyne», «Miller» и др., что позволило осуществить перестройку в стране национальной сварочной индустрии, наладить производство самой современной зарубежной сварочной техники, внедрить современные методы управления собственным производством, значительно повысить уровень подготовки сварщиков.



Стоимостный объем производства сварочного оборудования в Китае: 1 — традиционное оборудование; 2 — инверторные источники; * — прогнозные данные



Таблица 5. Экспорт и импорт электросварочного оборудования, млн дол.

Оборудование	Экспорт			Импорт		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Электрическое оборудование для сварки, пайки, резки, напыления, всего	583,467	476,617	798,439	1044,182	751,004	1099,107
Паяльники электрические	36,053	32,056	47,053	6,072	4,670	7,982
Машины и аппараты для пайки	6,661	4,190	10,681	36,390	34,565	59,265
Машины и аппараты для контактной сварки, автоматические	36,288	52,483	106,767	195,114	98,498	198,886
Машины и аппараты для контактной сварки металлов другие	90,275	51,782	58,460	42,914	13,632	35,387
Оборудование для дуговой сварки автоматическое	25,620	14,586	22,544	131,511	140,192	137,360
Машины и аппараты для дуговой сварки другие	139,373	122,394	250,212	19,040	19,040	13,436
Электрические машины и аппараты для лазерной и/или другой лучевой или плазменно-дуговой сварки; электрические машины и аппараты для термического напыления металлов	119,991	124,805	168,741	481,122	336,917	497,283
Запасные части машин и аппаратов для пайки или сварки или термического напыления металлов	129,205	74,319	133,977	131,918	109,092	142,678

Крупнейший мировой производитель сварочной техники — шведская фирма ESAB активно вышла на китайский рынок в 2005 г., учредив фирму по продаже сварочной техники и открыв завод по производству оборудования для автоматизированной сварки и резки «Shanghai — ESAB Welding & Cutting Systems China Ltd.». В 2006 г. вступил в действие первый завод ESAB в Китае по выпуску сплошной и порошковой сварочной проволоки с производственной мощностью 40 тыс. т сварочной проволоки в год. В 2008 г. был открыт еще один завод по производству сварочных материалов — порошковой проволоки. Инвестиции в данное предприятие составили 30 млн дол. Производственная мощность предприятия — 10 тыс. т порошковой проволоки в год [14].

Американская компания «Lincoln Electric» открыла свой первый завод по производству сплошной и порошковой сварочной проволоки в 1989 г. и в настоящее время имеет в Китае пять заводов по производству сварочных и присадочных материалов (порошковой и сплошной проволоки, плавящего флюса) и автоматического сварочного оборудования. В 2010 г. компания начала строительство завода по производству новых марок проволоки для сварки МИГ, а также нового завода по производству сварочного флюса [15].

Национальная сварочная индустрия Китая насчитывает более 1000 предприятий. Это в основном малые и средние фирмы с ежегодным объемом производства до 160 тыс. дол. В стране имеются более десятка национальных промышленных фирм и концернов, как например, «Nantong Sanjiu Welding Machine Co. Ltd.», «Shougang Group», «Chengdu Hanyan Weida Automatic Welding Equipment Co. Ltd.», «Shanghai DONSUN Welding

Group Co. Ltd.», с ежегодным объемом производства порядка RMB 10 млрд. (около 1,6 млрд дол.) — это, как правило, крупные научно-производственные комплексы. Их деятельность охватывает всю цепочку жизненного цикла продукции: от разработки до послепродажного обслуживания, включая подготовку кадров.

С целью увеличения конкурентоспособности китайской сварочной индустрии на мировом рынке и роста экспорта продукции в стране осуществляется реорганизация промышленных предприятий, создаются условия для увеличения количества предприятий крупномасштабного и серийного производства. Исходя из особенностей малых и средних предприятий, акцент делается на создание малых, но сильных специализированных компаний, отвечающих понятию «уникальное» предприятие.

Рост конкуренции на рынке вынуждает предприятия повышать темп технологического перевооружения, ускорять создание новых продуктов. В сварочной индустрии Китая уже появилось достаточное количество предприятий, которые могут вкладывать капитал в исследования и создание новых технологий и продуктов. Так, например, в результате совместного проекта Института робототехники Харбинского института технологий и китайского автогиганта «Chery Automobile Co.» был разработан и внедрен в производство первый национальный робот для точечной сварки «165 spot-welding robot» [16].

Как отмечают китайские специалисты, в Китае в ближайшее время наступит «эра малой прибыли». Рост прибыли за счет низкой стоимости сырья, заработной платы себя уже исчерпал. Единственно возможным путем роста прибыли



предприятий становится внедрение современных высоких технологий, методов управления предприятием и повышение квалификации рабочих и служащих.

1. *Steel Statistical Yearbook 2011* // Worldsteel committee on Economic Studies. — Brussels, 2011. — 220 p.
2. *Обзор* черной металлургии Китая за 2010 г. // Черн. металлургия. — 2011. — № 4. — С. 88–95.
3. *Hong Y., Mu Y.* China's steel industry: an update // EAI Background Brief. — 2010. — **501**, № 1. — 24 p.
4. *China steel industry and its impact on United States. Issues for Congress* // CRS Report for Congress. — 2010. — № 8. — 28 p.
5. *Юшенз Ж.* Тенденции развития китайской черной металлургии // Черн. металлургия. — 2011. — № 1. — С. 5–9.
6. *Походня И. К., Котельчук А. С.* Прогресс черной металлургии и производства сварочных материалов в КНР // Автомат. сварка. — 2010. — № 4. — С. 37–41.
7. *China's 12 th five-year plan: iron and steel* // KPMG. — 2011. — № 4. — 7 p.
8. *Уменьшение выбросов CO₂ в черной металлургии* // Новости черной металлургии за рубежом. — 2011. — № 1. — С. 94–98.
9. *Chapter International plc.* // Annual report. — 2010. — 50 p.
10. *Welder branch of view, to seize the changes in market demand, it is the key to the development* // <http://www.feipush.com/news/>.
11. *Chinese market a fast demand recovery advances* // The Japan Welding News for the World. — 2010. — **14**, № 51. — P. 3–4.
12. *United Nations Statistics Division — Commodity Trade Statistics Database (COMTRADE)* / <http://comtrade.un.org>.
13. *China inverter welding and cutting equipment industry report, 2010–2011* by ResearchInChina // www.pr-inside.com/china-inverter-welding-and-cutting-equipment-r2627494.htm
14. *Welding-machine-industry-China-step-step-enhance-competitiveness of enterprises* // <http://www.sourcejuice.com>.
15. *Strong... and Growing Stronger.* 2010 Annual report. — Lincoln Electric, 2010. — 14 p.
16. *China's first 165 kilograms class successful application of spot welding robot* // <http://www.sourcejuice.com>.

Generalised data on the state-of-the-art in the ferrous metallurgy and welding engineering industries of China in a period of 2009-2011 are presented, and prospects of their further developments are considered.

Поступила в редакцию 23.09.2011

6–9 декабря 2011

г. Москва

В рамках деловой программы 10-й юбилейной Российской выставки «Трубопроводные системы. Строительство, эксплуатация, ремонт» и форума «НефтеГаз Промышленность России» (6–9 декабря 2011 г.) состоятся:

**Научно-техническая конференция
«Современные технологии строительства и ремонта трубопроводов»
(6 декабря 2011 г., Москва, ЦВК «Экспоцентр», пав. 5)**

**Круглый стол «Трубопроводный транспорт углеводородов»
(6 декабря 2011 г., Москва, ЦВК «Экспоцентр», пав. 5)**

**Научно-техническая конференция «Стратегия и проблемы развития
нефтегазовых комплексов Восточной Сибири и Дальнего Востока
на современном этапе»**

(7 декабря 2011 г., Москва, Торгово-промышленная палата РФ)

**Круглый стол «Новое в проектировании и строительстве в связи с принятием
СП 62.13330.2011 «Газораспределительные системы» и
«Технического регламента о безопасности сетей
газораспределения и газопотребления»
(7 декабря 2011 г., Москва, ЦВК «Экспоцентр», пав. 5)**

**Аттестация специалистов в области промышленной безопасности
и неразрушающего контроля
(7 декабря 2011 г., Москва, ЦВК «Экспоцентр»)**

Оргкомитет: тел./факс: (499) 760-21-89, (499) 760-31-61

Сайты: www.expobroker.ru, www.trubosystem.ru

E-mail: expoprom@rambler.ru, expo-salon@rambler.ru



СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ СВАРКИ ТИГ ТИТАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

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

Разработана система видеонаблюдения за процессом сварки ТИГ титановых конструкций в узкий зазор при токах до 500 А. Система видеонаблюдения снабжена средствами автоматического управления чувствительностью фотоприемника в зависимости от интенсивности светового излучения сварочной дуги.

Ключевые слова: сварка титана, видеонаблюдение, световое излучение дуги, цифровая видеокамера, управление чувствительностью, автоматический регулятор

В последнее время значительно увеличиваются объемы использования титановых сплавов в разных областях промышленности, особенно в авиа- и судостроении. Применительно к судостроительной отрасли широкое распространение получил процесс многослойной сварки титановых конструкций толщиной 20...100 мм в узкий зазор с магнитоуправляемой дугой. Для управления данным технологическим процессом оператору сварочной установки необходимы средства обратной связи, обеспечивающие визуальное наблюдение за зоной сварки, которое затруднено из-за малых размеров зазора и переменной интенсивности светового излучения сварочной дуги. Как следствие, в данном случае для реализации визуального контроля целесообразно использовать средства технического зрения. Стандартные системы видеонаблюдения для решения данной задачи не подходят, поскольку функции автоматической регулировки усиления сигнала или подстройки диафрагмы объектива не могут в достаточной мере решить проблему перенасыщения фотоприемника при высоком уровне внешнего светового излучения.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана система видеонаблюдения за процессом сварки ТИГ титановых конструкций, оснащенная элементами адаптации к уровню светового излучения сварочной дуги. Система представляет собой монохромную цифровую видеокамеру с интегрированным микропроцессорным контроллером. Между объективом видеокамеры и матрицей фотоприемника установлены специальные светофильтры. В качестве выходного сигнала используется стандартный телевизионный сигнал в формате PAL. Микропроцессорный контроллер служит для анализа получаемых изображений, автоматической подстройки режима работы матрицы фотоприемника и формирования выходного телевизионного сигнала. Реализована также функция масштабирования, позволяющая выбирать на изображении участок,

соответствующий зоне сварки, и представлять его в виде полноэкранных кадров.

Цифровые изображения, формируемые с помощью матрицы фотоприемника, имеют ограниченный динамический диапазон интенсивности пикселей, зависящий от разрядности аналогово-цифровых преобразователей фотоприемных ячеек. При недостаточном уровне внешней освещенности изображения могут иметь нулевую или крайне низкую яркость. При этом интенсивность пикселей будет находиться в окрестности нижней границы динамического диапазона. В то же время при высоком уровне освещенности может наблюдаться превышение предела насыщения матрицы фотоприемника, т. е. интенсивность пикселей будет соответствовать верхней границе диапазона. В обоих случаях визуальное качество и информативность формируемых изображений крайне низкие. Таким образом, для стабилизации визуального качества выходного телевизионного сигнала необходимо поддерживать высокую яркость изображений и при этом не допускать значительного перенасыщения матрицы фотоприемника.

Световое излучение сварочной ванны при сварке ТИГ титановых конструкций характеризуется значительными колебаниями интенсивности, для уменьшения которых необходимо управлять режимом работы видеокамеры. В качестве управляющего сигнала выбрано время экспозиции видеокамеры e , которое определяет общую чувствительность фотоприемника. Максимальная интенсивность любого из пикселей изображения $i_{\max}$ зависит от уровня освещенности фотоприемника L и значения параметра e , заданного на предыдущем такте работы видеокамеры:

$$i_{\max}[n] = l_{\max}[n]e[n-1]k_1,$$

$$I_{\min} \leq i_{\max}[n] \leq I_{\max}, \quad l \geq 0, \quad E_{\min} \leq e[n] \leq E_{\max}, \quad (1)$$

где n — номер такта; $l_{\max} \in L$ — максимальный уровень освещенности одной из ячеек фотоприемника; $k_1 > 0$ — коэффициент усиления видеокамеры; $l_{\max} > 0, I_{\min} \geq 0$ — соответственно верхняя

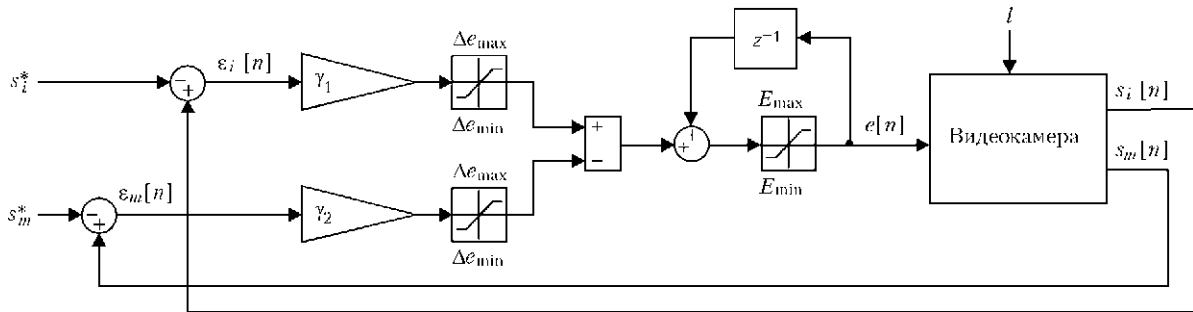


Рис. 1. Схема автоматического регулятора для стабилизации визуального качества изображений (обозначения см. в тексте)

и нижняя границы общего динамического диапазона интенсивности пикселей; $E_{\max} > 0$, $E_{\min} > 0$ — соответственно пределы изменения экспозиции.

Если значение в правой части уравнения (1) равно или превышает $I_{\max}$, то возникает насыщение пикселей матрицы фотоприемника. Количество пикселей с максимальной интенсивностью можно задать в виде

$$m_{\max}[n] = i_s[n]k_2[n], \quad i_s \geq 0, \quad (2)$$

где $i_s[n] = I[n]e[n-1]k_1 - I_{\max}$, $k_2[n] \geq 0$ — коэффициент, зависящий от распределения интенсивности светового излучения наблюдаемого объекта.

Из выражений (1) и (2) следует, что видеокамера является нелинейным объектом, для автоматического управления которым целесообразно использовать оптимальный или адаптивный подход [1]. Параметры $I_{\max}[n]$ и $m_{\max}[n]$ являются независимыми. Следовательно, обратная связь регулятора должна быть представлена двумя сигналами, один из которых характеризует текущую яркость изображения, а второй — уровень насыщения фотоприемника. Показатель яркости вычисляется как

$$s_i[n] = \frac{I_{\max} - i_{\max}[n]}{I_{\max}}. \quad (3)$$

Уровень насыщения фотоприемника определяется следующим образом:

$$s_m[n] = \frac{m_{\max}[n]}{M}, \quad (4)$$

где M — общее количество пикселей изображения.

Критерий качества управления для минимизации мгновенного значения ошибок имеет следующий вид:

$$J(e) = \varepsilon^2[n] + \varepsilon_m^2[n] = (s_i[n] - s_i^*)^2 + (s_m[n] - s_m^*)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где s_i^* , s_m^* — задающие воздействия.

При нулевых значениях s_i^* , s_m^* и фиксированной диафрагме минимизация ошибки по показателю яркости достигается повышением экспозиции видеокамеры, минимизация ошибки по уровню насыщения, наоборот, понижением. Для поиска оптимального решения выбран градиентный метод [2], в соответствии с которым уравнение дискретного регулятора запишется следующим образом:

$$e[n] = e[n-1] + \nabla J(e) = e[n-1] + \gamma_1 \varepsilon_i[n] - \gamma_2 \varepsilon_m[n], \quad (6)$$

где $\gamma_1 > 0$, $\gamma_2 > 0$ — коэффициенты усиления ошибок.

Схема синтезированного автоматического регулятора показана на рис. 1. Значения коэффициентов усиления γ_1 , γ_2 предварительно определяли путем моделирования в среде MatLab и дополнительно уточняли экспериментальным путем. В качестве основного критерия настройки регулятора выбрана минимизация ошибки управления, поскольку значительное перерегулирование может приводить к колебательному процессу (мерцанию изображения). На амплитуду изменения управляющего сигнала $e[n]$ также наложены дополнительные ограничения от $\Delta e_{\min}$ до $\Delta e_{\max}$.

Логика работы регулятора при $s_i^* = 0$, $s_m^* = 0$ проиллюстрирована с помощью рис. 2. В начальный момент времени при $I[0] > 0$ возникает ошибка по показателю яркости $\varepsilon_i[n]$. На последующих тактах экспозиция $e[n]$ увеличивается до достижения верхней границы диапазона яркости ($i_{\max}[n] \rightarrow I_{\max}$). При насыщении матрицы фотоприемника ($\varepsilon_m[n] > 0$) экспозиция видеокамеры постепенно уменьшается и т. д. Таким образом, обеспечивается стабилизация визуального качества изображения вблизи границы насыщения. В случае необходимости, задав $\Delta e_{\min} = 0$, $s_i^* > 0$ и/или $s_m^* > 0$, можно обеспечить некоторую зону нечувствительности регулятора к изменению внешней освещенности.

При нулевой или низкой внешней освещенности экспозиция увеличивается до достижения

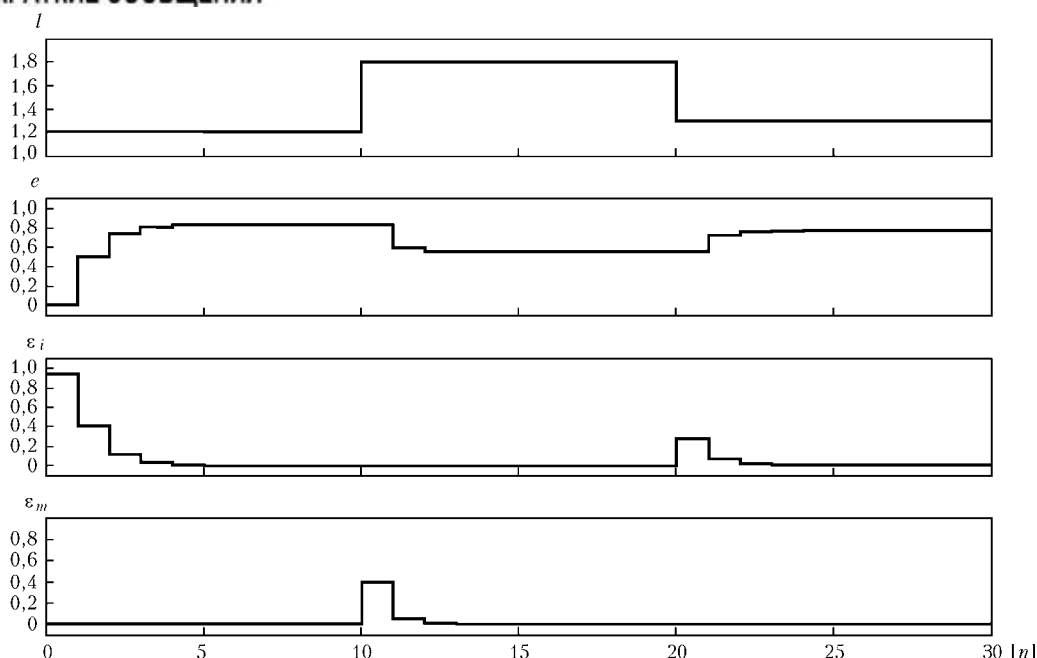


Рис. 2. Поведение автоматического регулятора при изменениях внешней освещенности фотоприемника

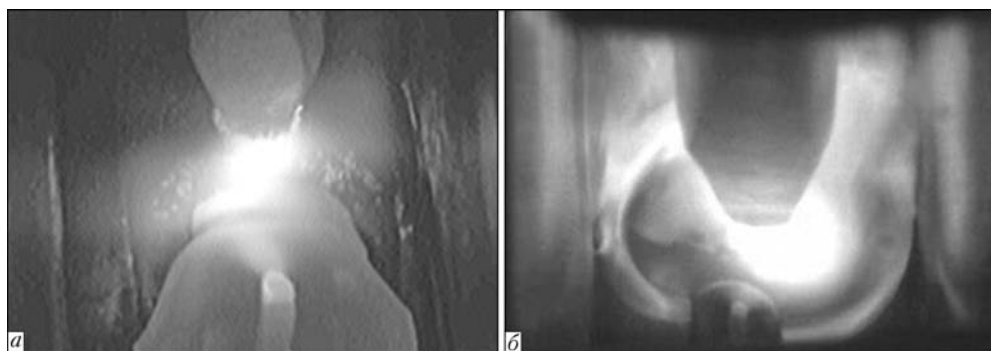


Рис. 3. Примеры формируемых изображений зоны сварки ТИГ при токе сварки 100 (а) и 500 (б) А

верхней границы $E_{\max}$, при этом максимально можно увеличивать общую яркость изображения. Диапазон эффективной стабилизации визуального качества изображений может быть отрегулирован с помощью диафрагмы объектива.

Для улучшения визуального восприятия телевизионного сигнала дополнительно выполняется поэлементная гамма-коррекция выходных изображений. Увеличение коэффициента гамма-коррекции позволяет повысить контрастность, разборчивость темных участков изображения, не делая при этом чрезмерно контрастными или яркими светлые детали кадра.

В ходе экспериментов установлено, что разработанная система видеонаблюдения обеспечивает приемлемый уровень детализации выходного телевизионного сигнала для всего диапазона токов сварки (100...500 А) и позволяет оператору-свар-

щику в достаточной мере контролировать сварочный процесс. На рис. 3 четко различимы все необходимые объекты: электрод, сварочная дуга, стенки разделки, область жидкого металла.

Система видеонаблюдения внедрена в качестве штатного оборудования установки для сварки ТИГ конструкций из титана марок ВТ20 и ВТ6. Предложенный подход к управлению чувствительностью фотоприемника можно применять для создания систем видеонаблюдения за любыми объектами, которые характеризуются значительным диапазоном изменения интенсивности светового излучения.

1. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. — М.: Высш. шк., 1989. — 263 с.
2. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. — М.: Наука, 1968. — 400 с.

The system for video observation of the process of narrow-gap TIG welding of titanium structures at currents of up to 500 A was developed. The video observation system is equipped with the means for automatic control of sensitivity of the photodetector depending on the intensity of radiation of the welding arc.

Поступила в редакцию 04.07.2011



II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПОВРЕЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, МЕТОДЫ ЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ»

В процессе эксплуатации материалы конструкций накапливают различные повреждения, зависящие от вида нагрузки и условий эксплуатации (термическое, силовое, коррозионное воздействие, радиационное облучение и т. д.). Поэтому этот фактор необходимо учитывать при оптимизации физико-механических свойств материалов, повышении надежности и прогнозировании остаточного ресурса элементов конструкций. Ввиду сложности физических процессов, определяющих инициирование и развитие дефектов, актуальной является проблема разработки методологии прогнозирования состояния конструкций длительной эксплуатации и проведения соответствующих экспериментальных исследований.

С целью анализа и обобщения новейших результатов теоретических и экспериментальных исследований процессов накопления поврежденности, зарождения и развития дефектов, диагностики состояния конструктивных элементов для обеспечения их надежности 20–25 сентября 2011 г. в Тернопольском национальном техническом университете им. И. Пулюя прошла II Международная научно-техническая конференция «Повреждение материалов во время эксплуатации, методы его диагностирования и прогнозирования». Для участия в конференции были приглашены представители различных научных школ теории механики разрушения, математических и экспериментальных методов исследования предельных состояний конструкций и конструктивных элементов, неразрушающего контроля и технической диагностики, физики твердого тела, материаловедения.

Особое внимание в ряде докладов уделялось вопросам зарождения и развития трещинообразных дефектов в конструкциях, работающих в условиях усталостного нагружения. В частности, исследование специалистов Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, результаты которого представил чл.-кор. НАН Украины А. Я.



Красовский, затрагивают важную для Украины проблему деградации свойств стали магистральных трубопроводов после длительной эксплуатации и зарождения трещин стресс-коррозии в областях с переменным нагружением. Новые подходы в методологии оценки работоспособности конструкций, учитывающие специфику сложного усталостного нагружения, характерного, в частности, для авиационных конструкций, продемонстрировали в своих докладах чл.-кор. НАН Украины А. Е. Андрейкив и Ю. И. Пиндус.

Глубокий теоретический анализ в рамках новой методологии исследования развития трещин представлен в докладе американского специалиста в области механики разрушения М. Внука, который предложил численный критерий предельного состояния тела с трещиной в случае хрупкопластического поведения материала, в том числе в условиях развитых деформаций ползучести.

Подводя итог, необходимо отметить высокий научный уровень и бесспорную актуальность представленных докладов, хорошую работу организационного комитета, которая позволила успешно выполнить программу мероприятий и реализовать продуктивный обмен опытом и новейшими результатами исследований между участниками конференции.

А. С. Миленин, канд. техн. наук

3-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «HIGH MAT TECH»

3–7 октября в Киеве состоялась 3-я Международная материаловедческая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения выдающегося ученого В. Н. Еременко. Организаторами конференции выступили Национальная академия наук Украины, Фонд фундаментальных исследований Украины, Украинское материаловедческое общество, НТУУ «Киевский политехнический институт», Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Национальный информационный центр по РП7 в Украине, ООО «ИНТЕМ» (Украина). Информационными партнерами конференции были журналы «Вестник украинского материаловедческого общества» (Украина), «Порошковая металлургия» (Украина), «Наноструктурное материаловедение» (Украина), «Деформация и разрушения» (Россия).

Конференция проходила под патронатом Федерации европейских материаловедческих обществ, Европейского материаловедческого общества, EUREKA, Европейской ассоциации порошковой металлургии, Alloy Phase Diagram International Commission, Materials Science International Team (Германия). Конференцию спонсировали: Фонд фундаментальных исследований Украины, НТУУ «Киевский политехнический институт», Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, U.S. Army International Technology Center — Atlantic (USAITC-A).

В работе конференции принимали участие около 200 ученых, инженеров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов из ведущих мировых научно-исследовательских центров, университетов, НИИ, академий, научно-промышленных объединений из 20 стран.

Конференцию открыли академики НАН Украины В. В. Скороход и С. И. Сидоренко. Они пожелали всем участникам успешной и плодотворной работы, делового сотрудничества, поставили задачи конференции и изложили организационные вопросы.

Конференция состояла из двух секций. Тематика первой секции: фундаментальные основы современного материаловедения; диаграммы состояния; поверхностные явления и высокотемпературная капиллярность; моделирование технологических процессов получения материалов и свойств современных материалов; порошковая металлургия; новейшие материалы на основе дисперсных частиц (порошков, волокон и др.), свойства, технологии; металлические материалы и технологии их получения и обработки; наноматериаловедение, технологии и материалы.

Тематика второй секции: новейшие разработки в области создания полимерных материалов с улуч-

шенными характеристиками и G-композиционные материалы; керамика функционального и конструкционного назначения; оборудование и методики для оценки свойств материалов; материалы медицинского назначения.

Ряд докладов, в частности оригинальное решение материаловедческих задач путем использования нанотехнологий и наноматериалов, вызвал оживленные дискуссии.

Некоторые доклады, заинтересовавшие участников конференции, были посвящены получению новых конструкционных и функциональных материалов путем применения сварочных и родственных технологий. Например, «Электронно-лучевая технология твердо- и жидкофазных медицинских субстанций с наноразмерной структурой» Б. А. Мовчана (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины); «К деградации металла паропроводов ТЭС» В. В. Дмитрика, С. Н. Барташ (НТУ «ХПИ», УИПА, Харьков); «Актуальные проблемы пайки жаропрочных никелевых сплавов» В. Ф. Хорунова, С. В. Максимовой (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины); В. С. Журавлева «О применении ниобия в металлических расплавах для управления смачиванием ими неметаллов и пайкой неметаллических материалов на основе оксидов, нитридов и углерода» (Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев); «Термодинамика жидкофазного спекания композиционных материалов» А. Ф. Лисовского (Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев); «Современное лабораторное и промышленное электронно-лучевое оборудование для плавки металлов и сплавов, получение композиционных материалов и нанесение покрытий» В. В. Скорохода, Н. И. Гречанюка, Р. В. Минакова и др. (Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев, НПП «Электротряжмаш», Винница); «Диффузионная сварка разнородных материалов: технология и оборудование» А. В. Люшинского (ОАО «Раменское приборостроительное КБ», Раменское, Россия); «Гибридное лазерно-плазменное напыление покрытий на основе титана в среде азота» Ю. С. Борисова, С. Г. Войнаровича, А. Н. Кислицы и др. (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины); «Технология получения ионно-плазменных покрытий стехиометрического состава на изделиях из инструментальных материалов» В. В. Бендункевича (ФГОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», Чебоксары, Россия) и др.

Следует отметить существенно возросшее количество докладов, посвященных различным способам нанесения покрытий, в том числе сделанных



учеными ИЭС им. Е. О. Патона. Наряду с устными докладами были представлены и стендовые — всего 230 докладов и устных сообщений.

Представленные на конференции доклады характеризовались высоким научно-техническим уровнем. Прошли необходимую апробацию доклады молодых ученых и аспирантов. Уровень организации конференции был высоким, о чем свидетельствует возросшее по сравнению с прошлой конференцией количество ее участников.

В течение работы конференции ее участники обменивались информацией, обсудили пути эффективного решения материаловедческих проблем, установили деловые контакты, определили задачи для совместного решения.

При подведении итогов конференции участники отметили ее актуальность и полезность, наметили перспективы дальнейшего научного сотрудничества.

В. В. Дмитрик, д-р техн. наук

УДК 621.791:061.2/.4

V МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО СВАРКЕ

«20 лет — путь от сварки электродом до роботизации процесса!» — под таким девизом прошел V Международный семинар по сварке, организованный Запорожским предприятием «Триада Сварка» 12 октября 2011 г. Семинар проведен на базе технического центра «Триада-Сварка» и в нем приняли участие около 130 человек. Среди них представители крупнейших промышленных предприятий «Мотор Сич», «Ивченко-Прогресс», «Атомэнергомаш», «Южмаш», «Днепртяжмаш», «Запорожтрансформатор», «ЗАЗ», «Искра», «Криворожский завод горного оборудования», «Азовский машиностроительный завод» и фирмы «Fronius International GmbH» (Австрия) и ООО «Фрониус Украина»; представители фирмы «YASKAWA Nordik AB former MOTOMAN Robotics Europe AB» (Швеция) и «YASKAWA Nordik AB» (Россия), Общество сварщиков Украины (канд. техн. наук В. М. Илюшенко); Запорожского НТУ и др., ведущие специалисты 84 промышленных предприятий Юго-восточного региона Украины.

Темой нынешнего семинара была роботизация, автоматизация и механизация сварочных процессов. Основное внимание уделено ознакомлению и демонстрации в работе новинок электросварочного оборудования, разработанных и освоенных фирмой «FRONIUS», в том числе для механизации, автоматизации; вопросам роботизации сварочных процессов, демонстрации возможностей сварочного робота фирмы «Мотоман»; оказанию индивидуальных практических консультаций по применению электросварочного оборудования в производстве.

Открыл семинар директор предприятия «Триада Сварка» К. В. Красносельский. Он, в частности, рассказал об основных направлениях его развития. С 1992 г. «Триада-Сварка» работает на рынке сварочного оборудования и занимается вопросами, связанными с развитием и становлением различных сварочных производств. Многолетний опыт работы построен на тесном сотрудничестве с крупнейшими разработчиками и производителями сварочного оборудования: «Fronius International GmbH» (Авс-

трия), «HYPERTHERM» (США), ОАО «СЭЛМА» (Украина), «ABICOR BINZEL» (Германия), «ASKAYNAK» (Турция). Предприятие «Триада-Сварка» предлагает весь спектр услуг по подбору, поставке и обслуживанию сварочного оборудования для ручной дуговой сварки, механизированной сварки в защитных газах, аргонодуговой сварки неплавящимся электродом; автоматической под слоем флюса, контактной, плазменной и лазерной сварки. Оборудование для плазменной резки, сварочные принадлежности и расходные материалы являются немаловажной частью ассортимента компании. В сервисном центре работают технически грамотные и высококвалифицированные специалисты, имеющие опыт работы в развитии технологии сварки, прошедшие стажировку на заводах-производителях оборудования Австрии, Германии, Турции и Украины.

Хочется отметить, что предприятие «Триада-Сварка» первым в мире и единственным в Украине прошло сертификацию фирмы «Fronius International GmbH» и получило сертификат SFD официального сертифицированного дилера.

В феврале 2011 г. компания подписала договор с эксклюзивным представителем в Украине турецким производителем сварочных материалов фирмой «ASKAYNAK». Подписан договор официального и единственного дистрибьютора в Украине с компанией «YASKAWA Nordik AB», производителем роботов «Motoman».

Высокий технический и профессиональный уровень специалистов «Триада Сварка» позволяет успешно решать задачи подбора и поставок любого современного сварочного оборудования, осуществлять квалифицированную консультативную помощь при разработке технологий и пуско-наладочных работах. Компания открыла офис в Днепрпетровске, который также сможет предлагать передовое сварочное оборудование и сварочные материалы. На базе нового офиса сформирован склад расходных материалов и запчастей к предлагаемо-



му оборудованию, что позволит уменьшить сроки поставок продукции на предприятия заказчиков. Непосредственно в офисе имеется выставочный зал, где можно ознакомиться с предлагаемым ассортиментом.

С приветственным словом к участникам семинара обратился генеральный менеджер «Фрониус Украина» Mr. Schimpf A. (Fronius International, Austria). Были заслушаны следующие доклады: «Механизация и автоматизация сварочных процессов. Обзор существующих проектов, перспективные проекты для Украины» (Mr. Nussbaumer R., Fronius International, Austria); «Аксессуары и принадлежности для сварки и сварщиков» с наглядной демонстрацией на тренажере сварщика «Virtual Welding» (Mr. Wirnsperger J., Fronius International, Austria).

Затем провела презентацию компания «YASKAWA Nordik AB». С докладом «Обзор существующих проектов и перспективные проекты для Украины в области роботизации сварочных процессов» выступил менеджер по продажам В. С. Вихарев («YASKAWA Nordik AB», Россия).

Доклад «Новое поколение инверторных сварочных полуавтоматов серии TransSteel представил руководитель проектов А. А. Чепец («Триада Сварка», г. Запорожье).

Доклад на тему «Процесс сварки — CMT» представил руководитель TSN В. П. Слюта «Фрониус Украина», г. Киев.

В ходе работы семинара его участники имели возможность ознакомиться с работой широкой гаммы оборудования: Плазма (Plasma Module 10, TransTig 2200 Job); Virtual Welding; TPS 2700 CMT; TransSteel 3500 Compact; Visor Air 3000 Professional; TPS 2700; VST 2500; VS5000W; роботизированный комплекс «Мотоман» SSA 2000+контроллер управления NX100; ORBITAL System — Controller FPA2030 Digital с головкой MW65; FDV50; Time 5000; TT 1750; MW 3000 + KD 4000; MW 2200; TP 1500; Hupertherm 45; TransSteel 5000W.

Состоялся обмен мнениями по вопросам роботизации, автоматизации и механизации сварочных процессов.

В заключение представитель Общества сварщиков Украины В. М. Илюшенко торжественно вручил директору «Триада Сварка» К. В. Красносельскому свидетельство о приеме предприятия «Триада-Сварка» в коллективные члены Общества сварщиков Украины, отметил хорошую организацию и полезность семинара, необходимость регулярного проведения таких семинаров в Украине.

На следующий день семинар продолжил работу для студентов кафедры сварки ЗНТУ и учащихся ЗВИПУ. В его работе приняли участие более 100 человек.

Е. Г. Красносельская, инж.,
зам. директора предприятия «Триада Сварка»

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А. А. КАЗИМИРОВА



24 октября известному ученому в области сварных конструкций, бывшему заместителю директора Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины кандидату технических наук, лауреату Государственной премии УССР, Премии Совета Министров БССР и Премии им. Е. О. Патона АН УССР исполнилось

100 лет. После окончания Киевского строительного техникума А. А. Казимиров работал на предприятии «Дніпроколгоспбуд» в Днепропетровске, потом на предприятии «Райкопзерно» в Новомосковске. В 1930–1935 гг. учился в Киевском инженерно-строительном институте.

Инженерная и научная деятельность А. А. Казими́рова связана с ИЭС им. Е. О. Патона, где он прошел путь от инженера до заместителя директора института (1959–1984). До 1987 г. возглавлял отдел сварочных напряжений и деформаций.

Свыше 50 лет А. А. Казимиров занимался исследованиями прочности и разработкой технологии

изготовления сварных конструкций. Еще перед Великой Отечественной войной он начал изучать характер деформаций и напряжений, которые возникают во время сварки, и исследовал эту проблему на протяжении многих лет. В годы войны А. А. Казимиров принимал участие в усовершенствовании сварных конструкций танковых корпусов и других видов военной техники, организации серийного выпуска сварных танковых корпусных конструкций с широким использованием автоматической сварки под флюсом. После войны он продолжил начатые ранее работы по сварке в судостроении. Занимался исследованиями по усовершенствованию корпусных конструкций, разработке новых технологических процессов и способов поточного, секционного-блочного строительства корпусов судов. Изучал механизм образования сварочных деформаций и разрабатывал мероприятия по предупреждению вредного влияния деформаций и напряжений в листовых конструкциях.

А. А. Казимиров внес весомый вклад в решение проблем механизации сварочных работ, повышения технологичности сварных конструкций, разработку



новых технологий и создание оборудования для сборки и сварки металлических конструкций. Он уделял много внимания проблемам уменьшения металлоемкости машин и оборудования. Особенно следует отметить его исследования, посвященные вопросам дифференциации конструкционных сталей по их прочности для более эффективного использования реальных свойств проката черных металлов.

А. А. Казимиров занимался также вопросами прочности, конструктивного оформления, точности изготовления элементов в узлах решетчатых и балочных конструкций из сталей повышенной и вы-

сокой прочности, тонкостенных оболочек и шарообразных конструкций из сталей, титановых, алюминевых и других сплавов.

А. А. Казимиров подготовил несколько кандидатов технических наук. Он — автор более 150 научных статей и авторских свидетельств.

А. А. Казимиров был награжден орденами Трудового Красного Знамени и Дружбы народов, многими медалями, а также Почетной грамотой Президиума Верховного Совета УССР.

Светлую память об Александре Андреевиче навсегда сохраняют его ученики, сотрудники и все, кто его знал.

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ!

В. В. АНДРЕЕВУ — 70



В ноябре исполнилось 70 лет Вячеславу Валентиновичу Андрееву, кандидату технических наук, видному специалисту в области сварочных источников питания.

После окончания в 1963 г. электроэнергетического факультета Киевского политехнического института по специальности «Электрические машины и аппараты» В. В. Андреев был направлен в Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Здесь он прошел большой путь от инженера до заведующего отделом института. За время работы в институте В. В. Андреев выполнил ряд теоретических и экспериментальных исследований по созданию и совершенствованию источников питания для различных видов дуговой и электрошлаковой сварки.

В 1975 г. Вячеслав Валентинович успешно защитил кандидатскую диссертацию, оригинальные материалы которой существенно расширяют и уточняют представления о связи свойств источников питания с течением и технологическими показателями сварочных процессов.

Результаты исследований В. В. Андреева реализованы в сварочных источниках питания широкого круга самого разного назначения — от общепромышленных до специализированных. В частности, им были внедрены в производство впервые в мировой практике многостовые системы питания с безреостатным регулированием на постах для механизированной сварки в судостроении.

Особенно широкое распространение во многих отраслях производства Украины и стран СНГ получили системы питания десятков постов при сварке в защитных газах на основе выпрямителя ВМГ-5000. Созданы также источники питания с автономным тиристорным регулированием и стабилизацией режимов сварки.

С 1995 г. В. В. Андреев исполняет обязанности заведующего отделом сварочных источников питания. В этой должности он проявил себя инициативным и энергичным руководителем. В отделе выполняются работы по ведомственной и договорной тематике.

Под руководством и при непосредственном участии В. В. Андреева ведутся исследования, направленные на улучшение технического уровня, технологических показателей и показателей качества оборудования, а также процессов сварки в защитных газах, под флюсом, электрошлаковой сварки и, конечно, сварки покрытыми электродами. Многие разработки этого периода деятельности В. В. Андреева как в области импульсно-дуговой сварки, так и сварки переменным током прямоугольной формы, импульсной стабилизации горения дуги и др. получили высокую оценку специалистов, внедрены в производство.

В. В. Андреев — автор около 120 печатных работ, в том числе авторских свидетельств и патентов. Награжден Почетной грамотой НАН Украины за «Профессиональные достижения».

Отличается общительностью, пользуется уважением и доверием товарищей и сотрудников.



А. А. РЫБАКОВУ — 70



В ноябре исполнилось 70 лет кандидату технических наук заведующему отделом сварки газонефтепроводных труб ИЭС им. Е. О. Патона Анатолию Александровичу Рыбакову.

После окончания Киевского политехнического института в 1963 г. А. А. Рыбаков пришел в ИЭС им. Е. О. Патона, где прошел путь от инженера-исследователя до руководителя отдела. Около 50 лет он посвятил инженерной и научной деятельности, направленной на создание высокоэффективных производств, материалов, сварочных и других технологий, обеспечение качества сварных соединений и надежности магистральных газонефтепроводов. Принимал активное участие в разработке технологии сварки и пусконаладочных работах в новых цехах по производству труб на Мариупольском (Ждановском) и Выксунском металлургических заводах, Новомосковском и Харцызском трубных заводах.

За комплекс исследований и разработок, направленных на предупреждение образования кристаллизационных трещин в сварных швах газонефтепроводных труб А. А. Рыбакову присуждена ученая степень кандидата технических наук.

В 1981 г. А. А. Рыбаков возглавил технологический подразделение, которое занималось комплексными работами по созданию опытно-промышленного производства принципиально нового вида продукции — газопроводных труб многослойной конструкции.

Сварочные технологии в производстве труб большого диаметра являются одними из главных направлений научной и практической деятельности института. Разработанная при активном участии А. А. Рыбакова трехслойная сварка, впервые освоенная при производстве спиральношовных труб, впоследствии стала основополагающим компонентом технологии, повсеместно используемой в современном трубном производстве.

Научные интересы Анатолия Александровича связаны с разработкой многодуговой сварки с программным управлением процессом, созданием новых трубных производств, мониторингом технического состояния и восстановлением старых трубопроводных систем, оценкой процессов старения и выбора новых материалов, предупреждением коррозионных разрушений.

За комплекс работ по электрохимическому мониторингу коррозионного состояния магистральных газопроводов А. А. Рыбакову в 2002 г. присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники.

В последние годы он значительное внимание уделял работам по созданию многодуговых процессов сварки толстостенных труб для магистральных, в том числе подводных газопроводов сверхвысоких рабочих параметров. Высокопроизводительные четырех- и пятидуговые процессы сварки с использованием современных агломерированных флюсов успешно осваиваются на Харцызском, Выксунском, Ижорском и Челябинском заводах при производстве труб с толщиной стенки до 50 мм.

Трубные предприятия, научно-исследовательские, проектно-конструкторские и другие организации машиностроения, металлургии, газовой и нефтяной промышленности, строительства трубопроводов хорошо знают и высоко ценят многогранную деятельность Анатолия Александровича, автора многих разработок и изобретений, технических решений, одного из ведущих специалистов института.

А. А. Рыбаков пользуется заслуженным авторитетом в коллективе. Успешной деятельности способствуют его глубокие знания, научная интуиция, исключительное трудолюбие, ответственность, требовательность руководителя, умение до конца доводить начатое дело, творческие связи, уважительное отношение к учителям, коллегам и подчиненным, отзывчивость и порядочность.

*Сердечно поздравляем юбиляров,
желаем им доброго здоровья, творческой активности,
долголетия и благополучия!*

ПАМЯТИ И. М. ЖДАНОВА



8 октября 2011 г. на 83-м году ушел из жизни кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник народного образования Украины, заслуженный преподаватель НТУУ «КПИ» Игорь Михайлович Жданов.

Вся его многолетняя трудовая, педагогическая и научная деятельность связана с кафедрой сварочного производства Киевского политехнического института, который он закончил в 1952 г., проработав в нем почти 60 лет. Именно здесь И. М. Жданов приобрел первые навыки и освоил специфику проведения научно-исследовательских работ, которые помогли ему в 1965 г. успешно защитить кандидатскую диссертацию и на протяжении более полувека активно сочетать педагогическую и научную деятельность.

Как ученого и руководителя лаборатории «Технологичность сварных конструкций» сварочного факультета НТУУ «КПИ» И. М. Жданов всегда отличало постоянное стремление к новому и прогрессивному. В широких кругах специалистов-сварщиков он известен как автор почти 300 научных и методических публикаций, авторских свидетельств и патентов. Круг его научных интересов распространялся на создание научных основ производства сварных конструкций, диагностику, исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сварных соединений.

Под руководством и при непосредственном участии И. М. Жданова созданы эффективные тех-

нологические процессы сварки и оборудование, нашедшие широкое применение в различных отраслях промышленности: машино-, автомобилестроении, строительстве, нефтегазовом комплексе и т. д. Этому в значительной степени способствовала эрудиция И. М. Жданова, а также стремление поддерживать и расширять контакты с коллективами ведущих вузов, научно-исследовательских институтов, промышленных предприятий Украины и других стран. Он один из немногих был отмечен Почетным знаком Общества сварщиков Украины «За особистий внесок в розвиток зварювального виробництва».

Огромное внимание Игорь Михайлович уделял подготовке научных кадров, постоянно оказывая с присущим ему тактом высококвалифицированную помощь в повышении их профессионального уровня. Под его руководством подготовлено 3 доктора и 23 кандидата наук, в том числе 7 специалистов для зарубежных стран.

Талант ученого и педагога, душевная теплота и отзывчивость, доброжелательность и скромность снискали И. М. Жданову авторитет и уважение сварочной общественности. Многочисленные ученики, друзья и коллеги с глубокой скорбью переживают эту потерю, выражают искреннее соболезнование родным и близким Игоря Михайловича, всем, кто знал, любил и уважал его. Светлая память об этом человеке навсегда останется в их сердцах.

Сварочный факультет НТУУ
«Киевский политехнический институт»
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

ПАМЯТИ Л. Г. ПУЗРИНА



На 76-м году жизни скончался кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института электросварки им. Е. О. Патона, известный специалист в области высокотемпературной пайки, сварки давлением и электрошлаковых технологий Леонид Густавович Пузрин.

Родился Л. Г. Пузрин 6 декабря 1935 г. в Киеве. После окончания в 1958 г. Киевского политехнического института по специальности «Технология и оборудование сварочного производства» он с 1958 г. трудился в Институте электросварки им. Е. О. Патона до последних дней жизни.

С первых дней работы в институте способный юноша зарекомендовал себя вдумчивым и изобретательным экспериментатором. Выделяло его неравнодушное отношение ко всему, что он делал, стремление глубоко вникать в суть проблем, которые ему приходилось решать ежедневно. Им предложены идеи, реализованные в десятках изобретений в области сварки, пайки и специальной электрометаллургии.

В 1967 г. Л. Г. Пузрин защитил кандидатскую диссертацию. Проведенные им материаловедческие исследования в области соединения жаропрочных хромоникелевых сталей и сплавов способами дуговой, электронно-лучевой и диффузионной сварки позволили создать уникальные технологии и обо-



рудование для решения задач, связанных с повышением ресурса двигателей авиационных и космических летательных аппаратов.

Леонид Густавович был творческой личностью, его научные интересы отличались большим разнообразием. Он является одним из разработчиков и исследователей технологий сварки без расплавления основного металла: автовакуумной сварки давлением, прессовой сваркопайки, получивших применение в производстве биметалла, прецизионных тонкостенных биметаллических труб для энергетического машиностроения. Обнаруженное и изученное с его участием явление самопроизвольной очистки поверхности металла при нагреве в условиях ограниченного доступа воздуха послужило основой для автовакуумной сварки давлением.

Он предложил и довел до промышленного применения способ автовакуумной высокотемпературной некапиллярной пайки изделий, в том числе и биметаллических практически неограниченных размеров. Им создан ряд новых процессов электрошлакового переплава и наплавки (неподвижный расходимый электрод), нашедших применение в промышленности при изготовлении термобиметалла, индукционное шлаковое и порционное электрошлаковое литье для получения крупнотоннажных слитков.

В 1972–1996 гг. Л. Г. Пузрин руководил лабораторией высокотемпературной пайки. Как высокоавторитетный специалист в области пайки Леонид Густавович многие годы возглавлял секцию «Пайка материалов» научного совета ГКНТ СССР по проблеме «Новые процессы сварки и сварные конструкции».

Л. Г. Пузрин — автор более 150 научных работ, авторских свидетельств и зарубежных патентов на изобретения.

Свой богатый научный и жизненный опыт Л. Г. Пузрин неустанно и щедро передавал своим молодым сотрудникам, помогал им советом и делом в подготовке и защите кандидатских диссертаций.

У Леонида Густавовича было много друзей, которых он любил и которые любили и уважали его за ум и порядочность, доброжелательность и надежность, умение в трудную минуту ненавязчиво и бескорыстно предложить свою помощь.

Светлая память о Л. Г. Пузрине — мудром, добром и отзывчивом человеке, высокоэрудированном специалисте — навсегда сохранится в сердцах тех, кто его знал, имел счастье трудиться рядом с ним, общаться.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия журнала

НОВЫЕ КНИГИ

ТИТАН. Технологии. Оборудование. Производство. — Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2011. — 324 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.

Сборник включает 70 статей, опубликованных в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» за период 2005–2010 гг. по электрометаллургии и сварке титана и его сплавов. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты. Тематика статей посвящена созданию новых технологических процессов и оборудования для производства и сварки титана.

Сборник предназначен для широкого круга инженеров, технологов, конструкторов, занятых в машиностроении, энергетике, строительстве, судостроении, металлургии и других отраслях промышленного производства, связанных с обработкой и потреблением титана; полезен также преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Стоимость сборника* 200 грн/1000 руб/36\$.



СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. — Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2011. — 216 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.

Сборник включает 42 статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2006–2010 гг., по проблемам разработки, изготовления и применения сварочных материалов, включая покрытые электроды, порошковые проволоки и ленты, сварочные флюсы, а также материалы для наплавки. Представлены обзоры состояния рынка сварочных материалов в Украине, России и Китае.

Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров, технологов и аспирантов, занимающихся сварочными технологиями и их применением.

Стоимость сборника* 140 грн/700 руб/25\$.



СТЫКОВАЯ СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ. — Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2011. — 132 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.

Сборник включает 24 статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2005–2010 гг., по проблемам контактной стыковой сварки оплавлением и другим способам сварки давлением. Разделы сборника посвящены разработке технологии и оборудования для контактной сварки рельсов, стальных труб, арматуры и проката из высокопрочного алюминия. Рассматриваются также технологии прессовой сварки магнитоуправляемой дугой и сварки трением. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области сварки давлением.

Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров, технологов, конструкторов и аспирантов, занимающихся проблемами сварки давлением сталей, алюминиевых и титановых сплавов, интерметаллидов и других материалов.

Стоимость сборника* 100 грн/500 руб/18\$.



PRESSURE BUTT WELDING OF HIGH-STRENGTH STEELS AND ALLOYS. — Kiev: The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 2011. — 120 p. Soft cover, 200×290 mm.

Collection includes 24 articles, published in «The Paton Welding Journal» in the period of 2005–2010, on the problems of flash-butt welding and other methods of pressure welding. Chapters of the Collection are devoted to the development of technology and equipment for flash-butt welding of rails, steel pipes, reinforcement bars and rolled metal of high-strength aluminium. The technologies of magnetically-impelled arc welding and friction welding are also described. The authors of articles are scientists and specialists, known both in Ukraine and abroad in the field of pressure welding. It is intended for scientists, engineers, technicians, designers and post-graduates, dealing with the problems of pressure welding of steels, aluminium and titanium alloys, intermetallics and other materials.

Cost of collection* 100 hrrn/500 rub/18\$.



Заказы на сборники просьба направлять в редакцию журнала «Автоматическая сварка»:

03680, г. Киев, ул. Боженко, 11, Украина
тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-54-84, 200-81-45
E-mail: journal@paton.kiev.ua

* Стоимость указана с учетом доставки заказной бандеролью соответственно для Украины, России и ДЗ.

ПОДПИСКА — 2012 на журнал «Автоматическая сварка»

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

В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Реклама публикуется на обложках и внутренних вклейках следующих размеров

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

Технические требования к рекламным материалам

- Размер журнала после обрезки 200×290 мм

- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации

Все файлы в формате IBM PC

- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 7.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

Стоимость рекламы и оплата

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

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

Контакты:

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

Подписано к печати 2.11.2011. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 9,02. Усл.-отт. 10,00. Уч.-изд. л. 10,24 + 6 цв. вклеек.

Печать ООО «Фирма «Эссе».

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

ЧАО «АРТЕМОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»



- **ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОДОВ:**
АНО-4; АНО-21; АНО-36; VISWELD E6013;
MP-3; УОНИ-13/45; УОНИ-13/55

84500, Украина, Донецкая область,
г. Артемовск, ул. Артема, 6
Тел.: +38 (062) 340-19-11, 341-13-42
(0627) 44-02-50
Факс: +38 (062) 340-19-10
+38 (0627) 44-02-50
e-mail: office@vistec.dn.ua



www.vistec.com.ua

ПАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»



Украинское предприятие ПАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий» является на протяжении многих лет одним из крупнейших в Европе производителем сварочных флюсов и силиката натрия.

На сегодняшний день мы предлагаем более 20 марок сварочных флюсов.



На заводе разработана и внедрена Система управления качеством с получением Сертификатов TUV NORD CERT GmbH на соответствие стандарта ISO 9001:2008 и Государственного предприятия научно-технического центра «СЕРП03» ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001–2009 (ISO 9001:2008, IDT).

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



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



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

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

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

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

Широко применяется для изготовления жидкого стекла и сварочных электродов.

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

ПАО «Запорожстеклофлюс»

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

Официальный представитель ПАО «Запорожстеклофлюс» по реализации флюсов сварочных на территории Российской Федерации

ЗАО «ЕвроЦентр», г. Москва.

Отгрузка со складов Москвы, Курска.

Тел.: (495) 646-2755, 988-3897 — Коваленко Людмила Викторовна,
Кашацев Владимир Викторович, Кашацев Юрий Викторович

VIRTUAL WELDING: ЭФФЕКТИВНОЕ, ЭКОНОМИЧНОЕ И БЕЗОПАСНОЕ ОБУЧЕНИЕ

Виртуальная сварка — это метод обучения, который используется уже сегодня и имеет перспективу широкого применения в будущем. Высокотехнологическая система характеризуется интуитивностью, наглядностью и структурированностью программы обучения, позволяет значительно экономить ресурсы, является абсолютно безопасной и доступна в любое время и в любом месте.

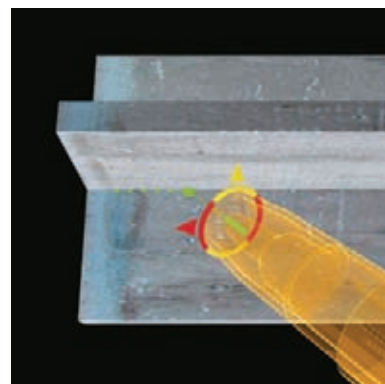
Известная своими новаторскими разработками в области сварочных технологий компания «Fronius» представляет систему виртуального обучения практической сварке под названием Virtual Welding. Теперь появилась возможность проходить обучение и совершенствовать профессиональные навыки в области сварки на специальном тренажере, в максимально приближенных к реальности условиях — в сварочной маске, с эргономичной горелкой, моделями традиционных изделий и регулировкой параметров сварки. Виртуальными являются как дуговой процесс с характерным шумом, так и создаваемый сварной шов. В то время, когда многие производственные компании остро ощущают нехватку квалифицированных специалистов, система Virtual Welding от «Fronius» является огромным шагом в направлении улучшения имиджа и популяризации профессии сварщика.

Остановимся более подробно на устройстве и принципе работы системы Virtual Welding.

Благодаря применению инновационной магнитной системы слежения, в виртуальную реальность переносятся даже незначительные движения руки со сварочной горелкой, которые затем воспроизводятся на экране тренажера, и которые также отчетливо видны через специальные 3D-очки, встроенные в маску сварщика. Дополнительный сенсор маски способствует мгновенной реакции системы на малейшие изменения положения головы ученика, т. е. позволяет максимально реалистично видеть на различном расстоянии и под разными углами весь процесс сварки.

Программное обеспечение системы Virtual Welding содержит полный курс основных теоретических сведений и практических заданий для сварочных соединений различных типов, пространственных положений и количества проходов. Практическое обучение на тренажере проходит в несколько этапов. Первый этап — это режим пошагового обучения, состоящий из трех основных уровней. Виртуальный учитель, так называемый «Ghost», дает подсказки, указывая оптимальную технику выполнения сварки начиная от первого уровня, где пользователь должен обеспечить необходимую скорость движения горелки, и заканчивая уровнем, где кроме скорости контролируется также угол наклона горелки и вылет электрода. Аналогичная светофору цветовая индикация на экране тренажера и в 3D-очках, а также звуковые сигналы отражают текущий статус процесса таким образом, что обучающийся в реальном времени видит все свои ошибки и имеет возможность сразу же их исправить. Следующим этапом обучения является режим моделирования. На данном этапе ученики тренируются выполнять сварку в ситуации, максимально приближенной к реальной — без помощи виртуального тренера, а также с возможностью самостоятельного ввода сварочных параметров. Эта продуманная структура обучения обеспечивает всегда высокий результат.

Комплексная система начисления баллов позволяет объективно и систематически оценивать достигнутый прогресс в обучении. Позитивное восприятие у студентов значительно облегчает процесс обучения. Даже те ученики, которые никогда не держали в руках сварочную горелку, или имели минимальный практический опыт, моментально начинают включаться в работу. Буквально с первых



Цветовая индикация и звуковые сигналы показывают текущий статус процесса таким образом, что обучающийся в реальном времени видит все свои ошибки и имеет возможность сразу же их исправить



На этапе моделирования ученики тренируются выполнять сварку в ситуации, максимально приближенной к реальной — без помощи виртуального тренера, а также с возможностью самостоятельного ввода сварочных параметров

* Статья на правах рекламы.



Программное обеспечение системы Virtual Welding содержит полный курс основных теоретических сведений и практических заданий для сварочных соединений различных типов, пространственных положений и количества проходов



Процесс обучения на сварочном тренажере в максимально приближенных к реальности условиях — в сварочной маске, с эргономичной горелкой, моделями традиционных изделий и регулировкой параметров сварки

же упражнений на сварочном тренажере у них формируется понимание основных технологических процессов и вырабатываются профессиональные навыки. Система Virtual Welding оценивает каждое выполненное задание, документирует заработанные баллы и ведет общую статистику. Соревнуясь между собой, студенты стремятся к победе и соответственно к достижению все более высоких результатов.

На первый взгляд, виртуальная сварка может показаться просто еще одним дополнительным инструментом обучения сварщиков, а никак не заменой их практических занятий в реальных условиях. Однако при ближайшем рассмотрении эта форма обучения очень эффективна. Она существенно сокращает время эксплуатации реального оборудования и создает предпосылки для экономии до 25 % расходных материалов. Нельзя забывать также про временной параметр. Ведь при использовании сварочного тренажера нет необходимости тратить значительную часть учебного времени на подготовку к работе и заключительную уборку. Учебное время используется исключительно целевым образом.

Существует два варианта исполнения тренажера Fronius: стационарный терминал и компактное устройство для мобильного применения. Обладая идентичной функциональностью, основное отличие между ними состоит лишь в разнице массо-габаритных параметров.

Система Virtual Welding позволяет всегда идти в ногу со временем благодаря новым обучающим модулям и, при необходимости, индивидуально разработанным упражнениям, которые доступны в качестве обновлений программного обеспечения.

В распоряжении пользователя тренажера всегда находится служба поддержки онлайн. При возникновении проблемы системная служба поддержки компании «Fronius» моментально получает электронное письмо с уведомлением об ошибке и в кратчайшие сроки восстанавливает работоспособность системы. Автоматическая защита данных от несанкционированного доступа и архивация всех результатов обучения исключают непрогнозируемую потерю данных. Вместе с тем, в любое время можно получить доступ к сохраненным данным, а также загрузить резервную копию системных и пользовательских настроек и программ.

Виртуальная сварка от «Fronius» проста в эксплуатации, наглядна и обладает интуитивно понятным интерфейсом. Virtual Welding — это эффективное, экономичное и безопасное обучение будущего.

Все желающие смогут поближе познакомиться со сварочным тренажером Virtual Welding, а также с другими инновационными сварочными технологиями на стенде компании ООО «Фрониус Украина» (В12) во время выставки «Х Международный Промышленный Форум», которая состоится 22–25 ноября 2011 г. в Международном выставочном центре, г. Киев.



ООО «ФРОНИУС УКРАИНА»

07455, Киевская обл.,

Броварской р-н, с. Княжичи, ул. Славы, 24

Тел.: +38 044 277 21 41; факс: +38 044 277 21 44

E-mail: sales.ukraine@fronius.com

www.fronius.ua