



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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

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

Редакторы:

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

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

Новости	3
---------------	---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<i>Махненко В. И., Квасницкий В. В.</i> Напряженно-деформированное состояние узлов цилиндрической формы при диффузионной сварке	5
<i>Нестеренко Н. П., Сенченков И. К., Червинко О. П., Менжерес М. Г.</i> Моделирование температурных полей и напряжений в полиэтиленовых трубах при сварке нагретым инструментом	11
<i>Гецкин О. Б., Ерофеев В. А., Полосков С. И.</i> Моделирование процесса переноса электродного металла при сварке с короткими замыканиями	16
<i>Шлепаков В. Н., Наумейко С. М.</i> Особенности десульфурации металла шва при сварке порошковой проволокой	22
<i>Лазоренко Я. П., Шаповалов Е. В., Мельник Е. С., Луценко Н. Ф., Долинченко В. В.</i> Эффективность методов автоматического распознавания отпечатков электрода при точечной сварке трехслойных сотовых конструкций	26

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<i>Сидлин З. А.</i> Состояние производства сварочных материалов в России	31
<i>Барвинко А. Ю., Барвинко Ю. П., Голинько В. М.</i> К шестидесятилетию промышленного применения технологии изготовления цилиндрических резервуаров из рулонных заготовок	35
<i>Скульский В. Ю., Гаврик А. Р.</i> Влияние углерода на фазовый состав металла швов сварных соединений мартенситной стали с 9 % Cr	38
<i>Хаскин В. Ю.</i> Применение лазерно-дуговой наплавки для заплывания узких полостей в изделиях из алюминиевых сплавов	41

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Макаренко Н. А., Чигарев В. В., Грановский Н. А., Богоцкий А. А., Куций А. М.</i> Устройство для поджигания дуги двуханодного плазмотрона	46
<i>Цыгуленко К. А.</i> О роли контактных сопротивлений в процессе электрошлаковой наплавки	48
Патенты в области сварочного производства	51
По зарубежным журналам	53
Новые книги	56

ХРОНИКА

Международная выставка Expowelding 2008 и конференция в Сосновце	57
Международная конференция «Сварка и родственные технологии — в третье тысячелетие»	59
Международный форум по нанотехнологиям	61
Наши поздравления	62
Бернадскому В. Н. — 80	63
К 90-летию со дня рождения Ю. А. Стеренбогена	64

ИНФОРМАЦИЯ	65
------------------	----

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)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
V. I. Lysak (Russia)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
G. A. Turichin (Russia)
Zhang Yanmin (China)

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

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

Editors:

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

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved

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

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

CONTENTS

NEWS	3
------------	---

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

<i>Makhnenko V. I., Kvasnitsky V. V.</i> Stress-strain state of cylindrical sub-assemblies in diffusion welding	5
<i>Nesterenko N. P., Senchenkov I. K., Chervinko O. P., Menzheres M. G.</i> Modeling of temperature fields and stresses in polyethylene pipes in welding with a hot tool	11
<i>Getskin O. B., Erofeev V. A., Poloskov S. I.</i> Modeling of process of electrode metal transfer in short-circuit welding	16
<i>Shlepakov V. N., Naumejko S. M.</i> Specifics of weld metal desulphurization in flux-cored wire welding	22
<i>Lasorenko Ya. P., Shapovalov E. V., Melnik E. S., Lutsenko N. F., Dolinenko V. V.</i> Effectiveness of methods of automatic recognition of electrode prints in spot welding of three-layer honey-comb structures	26

INDUSTRIAL

<i>Sidlin Z. A.</i> State-of-the art of welding consumables production in Russia	31
<i>Barvinko A. Yu., Barvinko Yu. P., Golinko V. M.</i> Towards the 60th anniversary of industrial application of manufacture of cylindrical tanks from coiled sheets	35
<i>Skulsky V. Yu., Gavrik A. R.</i> Effect of carbon on phase composition of weld metal of welded joints of 9% Cr martensitic steel	38
<i>Khaskin V. Yu.</i> Application of laser-arc cladding for filling of narrow cavities in products of aluminium alloys.....	41

BRIEF INFORMATION

<i>Makarenko N. A., Chigarev V. V., Granovsky N. A., Bogutsky A. A., Kushchiiy A. M.</i> Device for ignition of two-anode plasmatron arc	46
<i>Tsykulenko K. A.</i> About the role of contact resistances in the process of electroslog cladding	48
Patents in the field of welding	51
Review of foreign journals	53
New books	56

NEWS

International exhibition «Expowelding-2008» and conference in Sosnowiec	57
International Conference «Welding and Related Technologies into the Third Millennium»	59
International forum on nanotechnologies	61
Our congratulations	62
Bernadsky V. N. is 80	63
Towards the 90th anniversary of Yu. A. Sterenbogen.....	64

INFORMATION	65
-------------------	----

НКМЗ МАГНИТОГОРСКОМУ МЕТКОМБИНАТУ

Новокраматорский машиностроительный завод (г. Краматорск Донецкой обл.) выполняет объемный контракт, предполагающий коренную реконструкцию стана горячей прокатки 2500 на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Трудности, которые испытывают уральские металлурги с реализацией продукции во время кризиса, поставили под угрозу финансирование 11 крупных проектов развития предприятия. Однако меры, предпринятые руководством Магнитогорского меткомбината, позволили ему найти формулу, применение которой обеспечит исполнение основных программ технического перевооружения, в том числе и реконструкцию стана 2500.

В первом квартале 2009 г. изготовление оборудования для стана горячей прокатки 2500 на Новокраматорском машиностроительном заводе будет продолжаться.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ОТКЛОНЕН- НЫМ ПУЧКОМ ЭЛЕКТ- РОНОВ

В Институте электросварки им. Е. О. Патона разработана техника и технология электронно-лучевой сварки изделий из сталей и алюминиевых сплавов отклоненным на 90° пучком электронов. Такая техника позволяет выполнять сварку и косметическое «заглаживание» швов в труднодоступных местах или с внутренней стороны трубчатых конструкций длиной до 1200 мм. Благодаря этому исключается необходимость в трудоемкой механической обработке корневой части швов, что имеет место при сварке, осуществляемой с внешней стороны изделия. Технология сварки отклоненным пучком

электронов предусматривает использование компьютерной техники, позволяющей управлять параметрами сварки, а формирование шва и оплавление свариваемых кромок отображать с помощью вторично-электронной эмиссии на экране дисплея в режиме реального времени.

БЕЗОПАСНЫЙ НЕПЛАВЯЩИЙСЯ ЭЛЕКТРОД

Большинство вольфрамовых электродов, используемых сегодня, все еще содержит радиоактивные и канцерогенные составляющие тория и оксида тория.

Несколько лет назад разработчики компании «Huntington Fusion Techniques Limited» создали новый вольфрамовый электрод Multi Strike, который не содержит тория, более того, работает в десять раз эффективнее, чем опасные торированные вольфрамовые электроды.

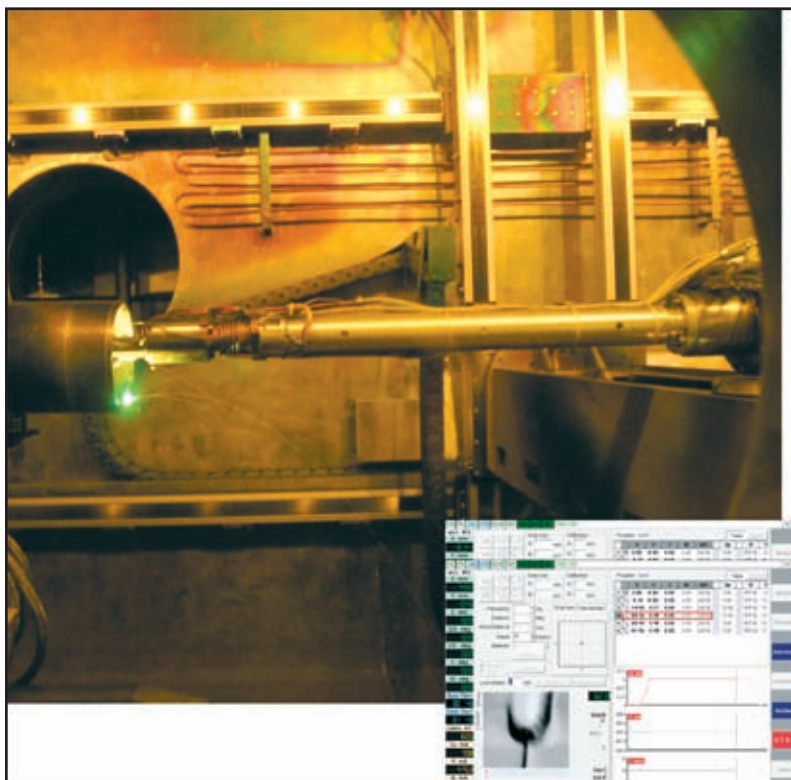
Достоинства: 10-разовое улучшение зажигания дуги; значительное увеличение продолжительности процесса сварки без необходимости заменять и затачивать рабочие поверхности электродов.

Эти достоинства делают электроды особенно удобными для автоматических способов сварки, в особенности, когда дугу необходимо часто зажигать или гасить.

К тому же, потребители, которые используют процессы сварки непрерывным швом, отмечают, что дуга горит дольше при использовании Multi Strike Electrodes.

Эти специальные вольфрамовые электроды можно оценить по первой партии, обеспечивающей пользователю гарантию качества изделия с высокой надежностью, воспроизводимостью и однородностью.

Электроды упакованы в упаковки по 10 штук, диаметром от 1,00 до 4,00 мм. Компания также предоставляет образцы электродов для пробы перед покупкой, если необходимо.



ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СПИРАЛЬНОШОВНЫХ ТРУБ

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины разработана и внедрена технология автоматического производства электросварных спиральношовных труб. Данная технология реализует высокопроизводительный способ производства точных по размерам электросварных труб, которые могут быть использованы взамен цельнотянутых и прямошовных труб, либо труб, получаемых сворачиванием из отдельных карт.

Предлагаемый способ реализуется как при дуговой сварке, гибридных технологиях, так и при высокочастотной сварке со скоростью от 30 м/мин и более.

В смену на одной сварочной линии может производиться 1...2 км труб из сталей марок 08 кп, Ст.3, 30ХГСА, 17ГС, нержавеющей сталей, а также из алюминиевых сплавов.

Себестоимость изготовления труб по предлагаемой технологии составляет порядка 0,6...1,8 грн. за 1 пог. м без учета стоимости металла.

Такая технология особенно эффективна при массовом производстве цилиндрических частей баллонов для сжиженных газов, а также баллонов,



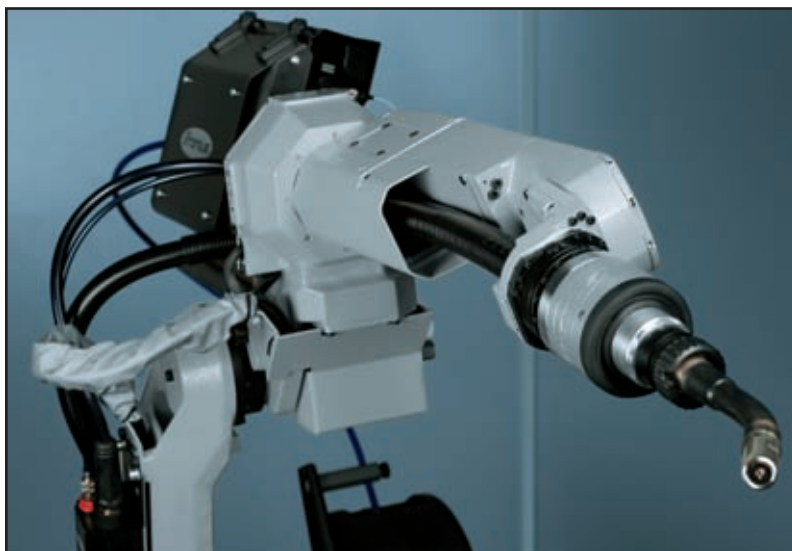
Образец спиральношовной трубы диаметром 315 мм с толщиной стенки 3 мм из стали 08кп после испытаний внутренним давлением 8,2 МПа

работающих под давлением сжатых газов, например, баллонов для автотранспорта, пневматических систем, огнетушителей.

НОВАЯ ТЕНДЕНЦИЯ В РОБОТИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ

Роботы с полым звеном — это новое поколение роботов, разработанных специально для дуговой сварки. Весь шланг-пакет встроен в технологическую руку робота, горелка расположена непосредственно на оси. Роботизированная сварка становится намного более гибкой и полностью пла-

механизм для подачи проволоки и соответствующую горелку. При необходимости шланг-пакет необходимо было направлять по наружной стороне, что было крайне неудобно как с точки зрения перемещения, так и стабильности. Шланг-пакет горелки был просто тяжелым балластом, который необходимо было тянуть рывками, что затрудняло перемещение. Иными словами, этот недопустимый фактор был устранен в новом поколении роботов. Шланг-пакет горелки встроен в технологическую руку робота. Ничто не висит, не дергается и не мешает маневренности робота. Пакет



нируемой. Максимально улучшается доступ ко шву, но с использованием шланг-пакета процесс длится где-то в два раза дольше, чем на обычных роботах в сопоставимых случаях применения. Для решения этой проблемы «Fronius» предложил изготовителям роботов первоклассные системы со специальными модулями.

Долгое время единственными роботами на рынке были универсальные роботы, применяемые для выполнения определенных задач. Если Вам нужен был сварочный робот, на него следовало установить

гибко подгоняется к роботу и передвигается с каждым перемещением последнего. Это та инновация, которая представляет собой стопроцентную выгоду для сварочной промышленности.

Фирма «Fronius» в этой разработке участвовала с самого начала. Однако тогда никто не предвидел, что роботы с полым звеном так быстро завоюют рынок. Хотя, если смотреть в ретроспективе, это можно было предугадать, так как внедрение шланг-пакета в руку робота дает множество важных преимуществ.



УДК 621.791.4: 539.378.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ УЗЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. В. КВАСНИЦКИЙ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Путем компьютерного моделирования на базе метода конечных элементов исследовано напряженно-деформированное состояние узлов типа втулка–фланец из разнородных материалов при диффузионной сварке с учетом влияния пластических деформаций и установлены закономерности его формирования.

Ключевые слова: диффузионная сварка, узел втулка–фланец, разнородные материалы, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, пластические деформации

В машиностроении часто используются детали цилиндрической формы, изготовленные диффузионной сваркой из разнородных материалов. В работе [1] рассмотрено напряженно-деформированное состояние (НДС) при диффузионной сварке узлов соединения типа цилиндр–цилиндр и втулка–втулка. Показано, что при силовом и термическом нагружении уровень напряжений в зоне стыка резко изменяется даже при одинаковых диаметрах соединяемых деталей. При соединении цилиндрических деталей разного диаметра типа втулка–фланец в месте перехода от втулки к фланцу имеется концентратор напряжений, который может существенно влиять на НДС в стыке и формирование соединений.

Целью настоящей работы является исследование НДС узла соединения типа втулка–фланец в зоне стыка при диффузионной сварке.

Моделирование НДС проводили с учетом влияния пластических деформаций. Известно [2], что пластические деформации делятся на независимые от времени (мгновенная пластичность) и зависящие от него (ползучесть). В данной работе исследованы деформации мгновенной пластичности. Моделирование НДС в пределах упругости рассмотрено в работе [3].

Исследования выполняли методом компьютерного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS. В качестве критерия появления пластических деформаций принято условие Мизеса $\sigma_{\text{экр}} = \sigma_{\text{т}}$, где $\sigma_{\text{экр}}$ — эквивалентные (приведенные) напряжения; $\sigma_{\text{т}}$ — предел текучести. Результаты настоящей работы сопоставляли с полученными в работе [4], в которой моделировали НДС при диффузионной сварке ци-

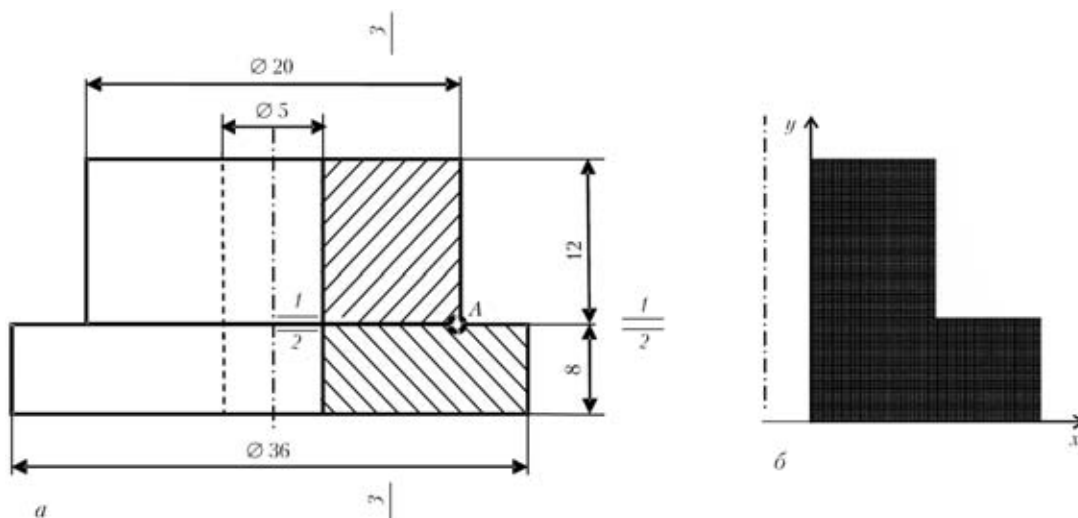


Рис. 1. Схема узла соединения втулка–фланец (а) и сечения конечно-элементной модели (б)

© В. И. Махненко, В. В. Квасницкий, 2009



линдрических деталей без конструктивного концентратора напряжений.

Исследовали образцы сварных соединений втулка–фланец и расчетную модель (рис. 1). Варианты сочетания свойств материалов приведены в таблице. Модуль упругости при пластическом деформировании для всех материалов принят равным нулю, кроме модели 1, где с целью обеспечения устойчивости решения модуль упругости принят $1 \cdot 10^3$ МПа.

Результаты решения пластических задач сравнивали с результатами упругих решений.

В модели 1 осуществляли нагружение по классической схеме диффузионной сварки — равномерное сжатие осевой силой при неизменной тем-

пературе. Сравнение полей напряжений с соответствующими полями в упругом решении показало, что при возникновении пластических деформаций характер напряженного состояния в целом меняется мало, высокий уровень концентрации напряжений в точке перехода от втулки к фланцу на внешней поверхности узла соединения остается (точка *A* на рис. 1), однако уровень напряжений в этой области и ее размеры изменяются. Варианты одинаковой (малой) прочности обоих материалов $1_{\text{п}}$ и меньшей прочности материала втулки $1_{\text{п.в}}$ имеют практически одинаковые поля напряжений. Напряженное состояние в варианте с меньшей прочностью материала фланца $1_{\text{п.ф}}$ мало отличается от упругого решения. Таким об-

Исследуемые варианты нагружения и сочетания свойств соединяемых материалов в изделии (расчетные модели 1–5)

№ варианта	КЛТР $\cdot 10^6$, 1/град		Нагружение p , МПа	T , °C	σ_T , МПа	
	втулки	фланца			втулки	фланца
$1_{\text{п}}$	10	10	40	0	39	39
$1_{\text{п.в}}$	10	10	40	0	39	80
$1_{\text{п.ф}}$	10	10	40	0	80	39
$2_{\text{п}}^{\text{н}}$	10	20	0	+100	60	60
	20	10	0	–100		
$2_{\text{п}}^{\text{о}}$	10	20	0	–100	60	60
	20	10	0	+100		
$3_{\text{п.в}}^{\text{н}}$	10	20	0	+100	60	120
	20	10	0	–100		
$3_{\text{п.в}}^{\text{о}}$	10	20	0	–100	60	120
	20	10	0	+100		
$3_{\text{п.ф}}^{\text{н}}$	10	20	0	+100	120	60
	20	10	0	–100		
$3_{\text{п.ф}}^{\text{о}}$	10	20	0	–100	120	60
	20	10	0	+100		
$4_{\text{п}}^{\text{н}}$	10	20	40	+100	80	80
	20	10	40	–100		
$4_{\text{п}}^{\text{о}}$	10	20	40	–100	80	80
	20	10	40	+100		
$5_{\text{п.в}}^{\text{н}}$	10	20	40	+100	80	160
	20	10	40	–100		
$5_{\text{п.в}}^{\text{о}}$	10	20	40	–100	80	160
	20	10	40	+100		
$5_{\text{п.ф}}^{\text{н}}$	10	20	40	+100	160	80
	20	10	40	–100		
$5_{\text{п.ф}}^{\text{о}}$	10	20	40	–100	160	80
	20	10	40	+100		

Примечание. Индексами «н» и «о» обозначены соответственно нагрев и охлаждение, а индексом «п» — пластическое решение; в нижнем индексе добавляются символы для обозначения соединяемых материалов разной прочности, т. е. менее прочного (с меньшим пределом текучести) материала втулки «в» или фланца «ф»; КЛТР — коэффициент линейного температурного расширения.



разом, на поля напряжений в узле в большей степени влияют пластические деформации во втулке. Это можно объяснить тем, что область пластических деформаций в ней превышает аналогичную область во фланце (рис. 2).

Пластические деформации в вариантах $1_{п}$ и $1_{п.в}$ сосредоточены во втулке вдали от стыка и вблизи точки концентрации напряжений, значения их во втулке вдали от точки концентрации возрастают по мере удаления от стыка (рис. 2, а, б). В варианте $1_{п.ф}$ пластические деформации развиваются только во фланце в очень узкой зоне вблизи точки концентрации (рис. 2, в). Эпюры пластических деформаций подтверждают отсутствие последних на большей части стыка как со стороны втулки (рис. 3, а), так и со стороны фланца (рис. 3, б) во всех вариантах сочетания прочности материалов. Максимального значения пластические деформации достигают в точке концентрации.

Пластические деформации на верхней (противоположной стыку) кромке втулки доходят до 0,1 % в вариантах $1_{п}$ и $1_{п.в}$. Вдали от стыка они отсутствуют только в варианте с меньшей прочностью материала фланца.

Таким образом, анализ результатов пластического решения показывает, что варианты приложения постоянной сжимающей нагрузки не обеспечивают развитие пластических деформаций в зоне стыка, а следовательно, и не создают условий для образования качественного соединения. Вместе с тем, в случаях, когда материал втулки имеет

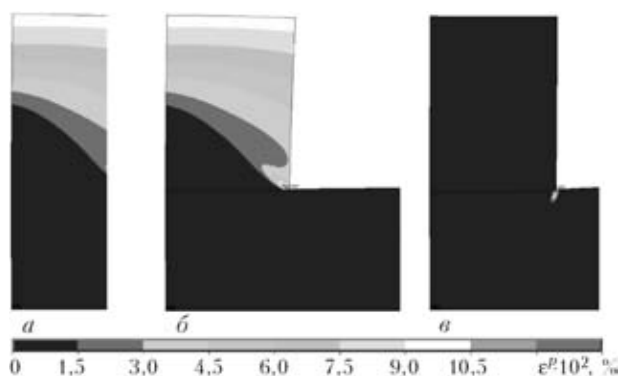


Рис. 2. Поля пластических деформаций ε^p модели 1, варианты $1_{п}$ (а), $1_{п.в}$ (б) и $1_{п.ф}$ (в)

меньшую прочность, чем материал фланца, и при одинаковой прочности материалов втулки и фланца создаются условия для пластических деформаций во втулке вдали от стыка, что приводит к повышению общих деформаций в сварном узле.

В моделях 2 и 3 осуществляли нагружение по схеме диффузионной сварки с изменением температуры без сжатия осевой силой после схватывания поверхностей. Анализ полей напряжений и деформаций в этих вариантах нагружения показал, что при нагреве и охлаждении поля эквивалентных напряжений и пластических деформаций совпадают полностью (рис. 4, а, б), а поля осевых напряжений отличаются только знаками. Характер напряженного состояния при возникновении пластических деформаций изменяется мало по сравнению с упругим вариантом, отличие заметно только в непосредственной близости от

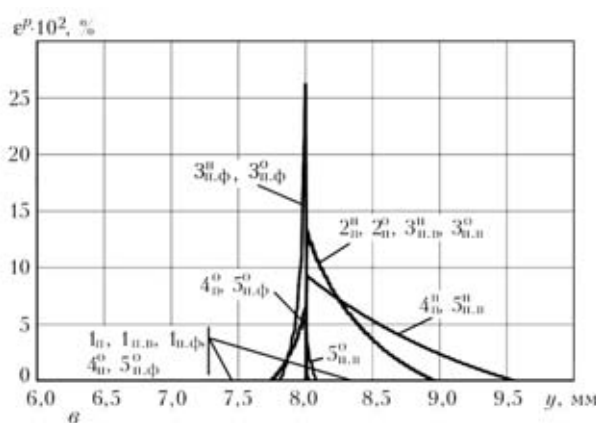
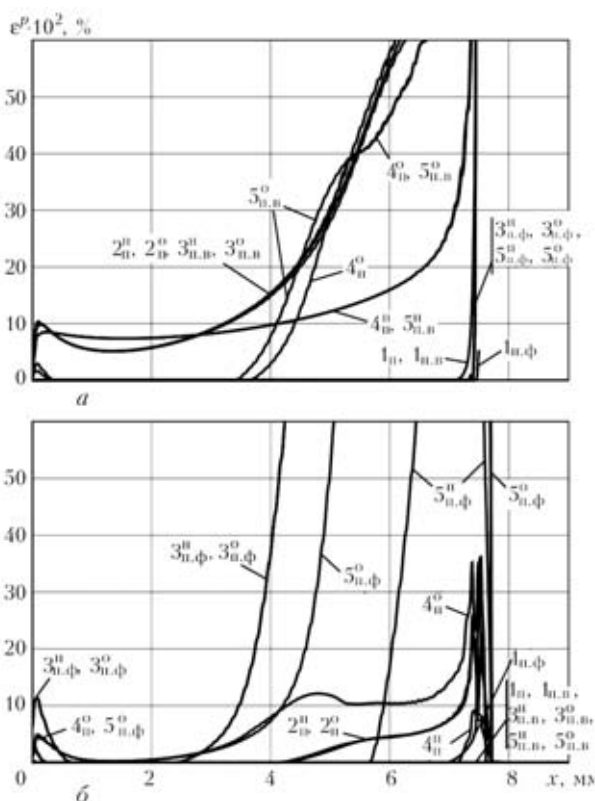


Рис. 3. Эпюры пластических деформаций ε^p в зоне стыка во втулке (а), фланце (б) и поперек средней части стыка (в) при различных вариантах нагружения в моделях 1–5

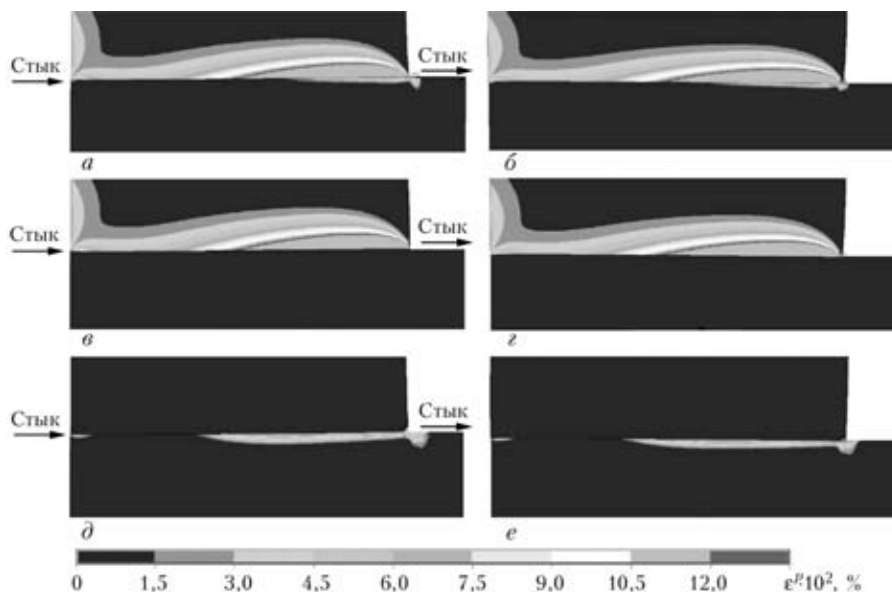


Рис. 4. Поля пластических деформаций в зоне стыка в сечениях узла соединения втулка–фланец, варианты $2_{п}^H$ (а), $2_{п}^O$ (б), $3_{п.в}^H$ (в), $3_{п.в}^O$ (г), $3_{п.ф}^H$ (д), $3_{п.ф}^O$ (е)

стыка и в зоне концентрации напряжений. Характер распределения напряжений вдоль стыка как во втулке, так и во фланце при появлении пластических деформаций становится более равномерным, наличие пластических деформаций уменьшает пики всех напряжений в точке концентрации.

Все пластические деформации как при нагреве, так и охлаждении сосредоточены в очень малой области, расположенной вблизи поверхности стыка, в вариантах $2_{п}^H$, $2_{п}^O$ в большей степени со стороны втулки, в $3_{п.в}^H$ и $3_{п.в}^O$ — полностью со стороны втулки, а в $3_{п.ф}^H$ и $3_{п.ф}^O$ — со стороны фланца. Зона пластических деформаций со стороны фланца значительно уже и занимает только часть стыка вблизи внешней его поверхности (рис. 4). Эпюры пластических деформаций показывают наличие последних во всем стыке, но распределены они неравномерно как вдоль стыка, так и между втулкой и фланцем (рис. 3, а, б).

В модели 2 максимального значения пластические деформации достигают со стороны втулки на кромке стыка вблизи точки концентрации. Здесь их значение равно 8 %, во фланце оно значительно меньше. Во внутренней части стыка во втулке они постепенно уменьшаются, доходя до минимума (0,05 %) на расстоянии около 1,5 мм (0,2 ее толщины) от внутренней поверхности втулки. По направлению к внутренней поверхности втулки они снова несколько возрастают (до 0,1 %). Во фланце пластические деформации в основном сосредоточены на внешней половине стыка, в остальной его части они отсутствуют и только на небольшом участке, расположенном вблизи внутренней поверхности образца, появляются небольшие деформации (около 0,03 %).

На большей части стыка, кроме точки концентрации напряжений, в направлении оси образца (поперек стыка) эти деформации во втулке действуют как укорочение при нагреве и удлинение при остывании, а в радиальном и окружном направлениях, наоборот. При удалении от стыка пластические деформации очень быстро уменьшаются и на расстоянии около 1 мм их значение равно нулю (рис. 3, в).

В вариантах $3_{п.в}^H$ и $3_{п.в}^O$ со стороны втулки значения и распределение пластических деформаций как при нагреве, так и охлаждении не изменяются (см. рис. 3, а). При меньшей прочности материала фланца пластические деформации во втулке отсутствуют на протяжении всего стыка и появляются только в очень узкой зоне в точке концентрации напряжений.

Со стороны фланца эпюры пластических деформаций изменяются при уменьшении прочности как втулки, так и фланца (рис. 3, б). При уменьшении прочности только материала втулки пластические деформации во фланце отсутствуют. В вариантах $3_{п.ф}^H$ и $3_{п.ф}^O$ пластические деформации возрастают, увеличивается также неравномерность их распределения вдоль стыка. Максимального значения (более 7 %) они достигают в точке концентрации. Во внутренней части стыка пластические деформации постепенно уменьшаются до нуля, в результате в зоне с касательными напряжениями, близкими к нулю (на расстоянии от 0,5 до 2,5 мм от внутренней поверхности втулки), они отсутствуют. По направлению ко внутренней поверхности втулки они снова несколько возрастают.

При удалении от стыка значения пластических деформаций очень быстро уменьшаются и ста-



новятся равными нулю уже на расстоянии 0,2 мм от стыка (см. рис. 3, в).

Таким образом, анализ пластического решения для соединений материалов с разным КЛТР и имеющих одинаковую либо различную прочность, подтверждает вывод, полученный при упругом решении, о том, что изменение температуры (при нагреве или охлаждении) создает благоприятные условия для локализации пластических деформаций именно в зоне стыка, при этом пластические деформации распределяются неравномерно как по длине стыка, так и между деталями. Минимальное значение пластических деформаций зафиксировано в точке, расположенной на расстоянии, равном 0,2 толщины втулки от ее внутренней поверхности, максимальное — у внешней поверхности втулки.

В моделях 4 и 5 нагружение осуществляли путем сжатия осевой силой и изменения температуры. Рассматривали следующие варианты: одинаковую прочность материалов втулки и фланца ($4^H_{п.в}$, $4^O_{п.ф}$); меньшую прочность материала втулки ($5^H_{п.в}$, $5^O_{п.в}$); меньшую прочность материала фланца ($5^H_{п.ф}$, $5^O_{п.ф}$). Как показало сравнение результатов с упругим решением, характер напряженного состояния при возникновении пластических деформаций меняется мало, однако уровень напряжений вблизи стыка и в точке концентрации снижается.

Пластические деформации сосредоточены вблизи стыка преимущественно по одну сторону от стыка, в вариантах $4^H_{п.в}$, $4^O_{п.в}$, $5^H_{п.в}$ и $5^O_{п.в}$ — главным образом во втулке, а в вариантах $5^H_{п.ф}$ и $5^O_{п.ф}$ — во фланце, при этом их значения быстро убывают

по мере удаления от стыка (рис. 5). При замене нагрева охлаждением область пластических деформаций во втулке существенно уменьшается, а во фланце увеличивается.

В вариантах $4^H_{п.в}$ и $5^H_{п.в}$ распределение пластических деформаций вдоль стыка во втулке более равномерное, чем при нагреве без сжатия (см. рис. 3, а). Максимальные значения пластических деформаций достигаются в точке концентрации, где их значения составляют до 4 %, в основной части стыка они находятся на уровне 0,07...0,20 %. При остывании (варианты $4^O_{п.в}$, $5^O_{п.в}$) имеет место противоположная картина: равномерность уменьшается, практически на половине стыка (в его внутренней части) пластические деформации отсутствуют.

Во фланце, наоборот, при нагреве пластические деформации отсутствуют практически по всему стыку, за исключением точки концентрации, при охлаждении их значения приближаются к нулю в точке с нулевыми касательными напряжениями (на расстоянии 0,2 толщины втулки от ее внутренней поверхности), в остальной части стыка они изменяются от 0,05 % до нескольких процентов в точке концентрации (см. рис. 3, б).

В варианте с меньшей прочностью материала фланца как при нагреве, так и при охлаждении во втулке пластические деформации отсутствуют по всей длине стыка, за исключением точки концентрации (см. рис. 3, а и 5, д, е). Во фланце пластические деформации появляются как при нагреве, так и при охлаждении. Однако при нагреве они сосредоточены только на небольшой части стыка, прилегающей к внешней поверхности (см. рис. 3,

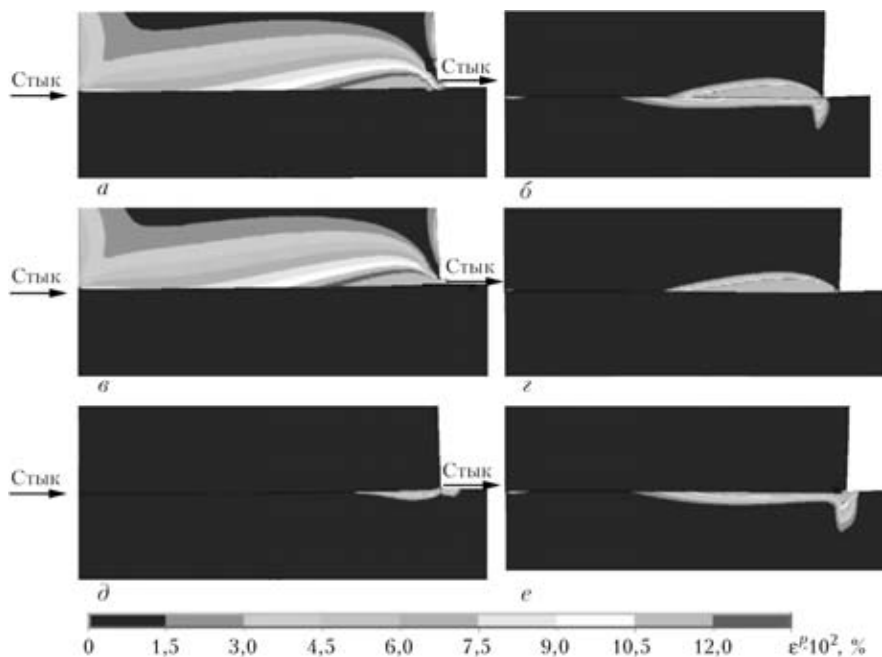


Рис. 5. Поля пластических деформаций в зоне стыка в сечениях узла соединения втулка–фланец, варианты $4^H_{п.в}$ (а), $4^O_{п.в}$ (б), $5^H_{п.в}$ (в), $5^O_{п.в}$ (г), $5^H_{п.ф}$ (д) и $5^O_{п.ф}$ (е)



б и 5, д), а при охлаждении распределены практически по всему стыку (рис. 3, б и 5, е).

Возникающие в районе стыка пластические деформации очень быстро уменьшаются по мере удаления от поверхности стыка (см. рис. 3, в).

Таким образом, анализ полученного решения показал, что сочетание сжатия с нагревом и охлаждением в сварном соединении типа втулка–фланец, когда материал втулки имеет меньший КЛТР, чем материал фланца, также создает благоприятные условия для локализации пластических деформаций именно в зоне стыка, но при этом пластические деформации распределяются по всей его длине только со стороны втулки (материала с меньшим КЛТР) при нагреве и фланца (материала с большим КЛТР) при остывании. В случае обратного сочетания КЛТР материалов втулки и фланца (большой КЛТР во втулке, меньший во фланце) относительно НДС стадии нагрева и охлаждения меняются местами.

При сочетании сжатия с нагревом, когда материал втулки имеет меньшие КЛТР и прочность, чем материал фланца, не только создаются благоприятные условия для локализации пластических деформаций в зоне стыка со стороны втулки, но и обеспечивается более равномерное распределение пластических деформаций вдоль стыка. Это относится и к случаю сжатия с охлаждением, когда материал фланца отличается меньшим КЛТР.

Сочетание сжатия с охлаждением, когда материал втулки имеет меньший КЛТР и меньшую прочность, чем материал фланца, создает благоприятные условия для локализации пластических деформаций именно в зоне стыка со стороны втулки, но не обеспечивает при этом распределения пластических деформаций вдоль всего стыка. Это же правомерно и для случая сжатия с нагревом, если материал фланца имеет меньший КЛТР.

Сочетание сжатия с нагревом в узле соединения втулка–фланец, когда материал втулки имеет меньший КЛТР, но большую прочность, чем материал фланца, не обеспечивает условий для развития пластических деформаций вдоль всего стыка как со стороны втулки, так и со стороны

фланца. Это же относится и к сжатию с охлаждением, когда материал фланца имеет меньший КЛТР.

Сочетание сжатия с охлаждением в узле соединения втулка–фланец, когда материал втулки характеризуется меньшим КЛТР, но большей прочностью, чем материал фланца, обеспечивает условия для локализации пластических деформаций в зоне стыка со стороны фланца, что правомерно и для сочетания сжатия с нагревом, если материал фланца имеет меньший КЛТР.

Выводы

1. Закономерности влияния схемы нагружения при диффузионной сварке, установленные ранее для узлов соединений типа цилиндр–цилиндр и втулка–втулка, в целом правомерны и для узлов соединений типа втулка–фланец.

2. Геометрия деталей в зоне стыка оказывает существенное влияние на характер НДС. Переход от малого диаметра (втулка) к большому (фланец) резко смещает зону действия пластических деформаций во втулку.

3. Для создания пластических деформаций в стыке со стороны фланца материал втулки должен быть значительно прочнее материала фланца. При конструировании заготовок для сварки деталей из материалов, имеющих близкую прочность, необходимо по возможности избегать изменений диаметров узлов в зоне стыка.

1. Махненко В. И., Квасницкий В. В., Ермолаев Г. В. Влияние физико-механических свойств соединяемых металлов и геометрии деталей на распределение напряжений при диффузионной сварке в вакууме // Автомат. сварка. — 2008. — № 1. — С. 5–11.
2. Махненко В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с.
3. Общие закономерности формирования напряженного состояния при диффузионной сварке деталей цилиндрической формы / В. Д. Кузнецов, В. В. Квасницкий, Г. В. Ермолаев, М. В. Матвиенко // 36. науч. праць Нац. ун-ту кораблебудування. — 2007. — № 6(417). — С. 62–73.
4. Махненко В. И., Квасницкий В. В., Ермолаев Г. В. Напряженно-деформированное состояние соединений при диффузионной сварке металлов с разными физико-механическими свойствами // Автомат. сварка. — 2008. — № 8. — С. 5–10.

The device is offered, comprising cumulative capacitors of an increased capacitance, thyristor key, recharging capacitor, and two pulse transformers with their primary windings connected in series. Unlike those usually employed in practice, the device makes it possible to generate 5-6 start pulses of an increased intensity per half-period of the alternating current.

Поступила в редакцию 21.07.2008



МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБАХ ПРИ СВАРКЕ НАГРЕТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Н. П. НЕСТЕРЕНКО, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
И. К. СЕНЧЕНКОВ, д-р физ.-мат. наук, **О. П. ЧЕРВИНКО**, канд. физ.-мат. наук
 (Ин-т механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины),
М. Г. МЕНЖЕРЕС, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности формирования тепловых и механических полей в зоне соединения при сварке полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык. Показано, что величина и пространственное распределение остаточных напряжений зависят не только от основных параметров режима сварки, но и от температуры окружающей среды. Для корректировки времени нагрева предложена методика расчета температурного поля в свариваемых образцах.

Ключевые слова: сварка нагретым инструментом, полиэтиленовые трубы, термомеханические процессы, остаточные напряжения, моделирование, температура вязкотекучего состояния, качество сварных соединений

Основным технологическим процессом, который определяет эксплуатационную надежность и темпы строительства полиэтиленовых трубопроводов, является сварка. Для соединения труб и деталей в основном применяют сварку нагретым инструментом. При этом активацию (нагрев) свариваемых поверхностей осуществляют в результате их физического контакта с нагретым инструментом. Прямой характер нагрева предопределяет прерывистость процесса, так как для соединения нагретых поверхностей необходимо удалить из зоны сварки инструмент, а затем сжать свариваемые детали. В таком процессе условно можно выделить три этапа: нагрев свариваемых поверхностей; технологическую паузу, необходимую для удаления нагретого инструмента из зоны сварки; осадку свариваемых деталей путем приложения давления и выдержку их под давлением в течение определенного времени, определяемом скоростью охлаждения и релаксационными процессами в сварном соединении [1].

Основными параметрами технологического процесса являются температура нагревателя θ_n ; время оплавления $t_{опл}$, прогрева $t_{пр}$, технологической паузы $t_{пауз}$ и осадки $t_{ос}$, давление при оплавлении $P_{опл}$, нагреве P_n и осадке $P_{ос}$. К дополнительным параметрам режима сварки относят температуру окружающей среды θ_c , геометрию свариваемых поверхностей, теплофизические свойства материала и т. д.

От взаимосвязи и значений указанных параметров зависит не только возможность получения качественного сварного соединения, производи-

тельность технологического процесса, но и структура материала в зоне шва, которая существенно влияет на его эксплуатационные характеристики [2–4]. При этом в качестве критериев оптимизации параметров, наряду с кратковременной прочностью при растяжении или изгибе сварных образцов, используют прочность при ударном изгибе, длительную прочность, трещиностойкость, коррозионную стойкость и пр. Большое количество отмеченных критериев и соответствующих видов испытаний послужили причиной разработки множества нормалей, номограмм с рекомендациями по оптимизации основных параметров технологического процесса. При этом, как правило, приводятся усредненные значения параметров без указания функции оптимизации. Этим, видимо, и объясняется тот факт, что разработанные рекомендации противоречат или кардинально отличаются друг от друга. Термомеханические процессы, реализующиеся в зоне соединения, в основном изучали применительно к терморезисторной сварке [5, 6]. Имеющиеся теоретические разработки в области моделирования термического и механического состояния зоны шва при сварке полимеров нагретым инструментом встык в основном носят качественный характер, поскольку не учитывают зависимость механических и теплофизических характеристик материала от температуры, а также реологические процессы формирования остаточных напряжений в шве.

В настоящей работе рассмотрены вопросы математического моделирования температурных полей и напряженно-деформированного состояния полиэтиленовых труб диаметром 110 мм при их сварке нагретым инструментом встык с учетом зависимости свойств материала от температуры и предыстории процесса. Решение таких задач



позволяет проводить рациональный выбор основных параметров режима сварки нагретым инструментом полиэтиленовых труб при различных температурах окружающей среды.

В цилиндрической системе координат $Orz\varphi$ постановка задачи об осесимметричном квазистатическом термомеханическом состоянии полиэтиленовых труб при сварке нагретым инструментом встык включает следующие соотношения: уравнения равновесия

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r}(\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}) + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r}\sigma_{rz} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

уравнение теплопроводности

$$c(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda(\theta) r \frac{\partial \theta}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right]; \quad (2)$$

кинематические уравнения

$$\varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{r}u_r, \quad \varepsilon_{rz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right). \quad (3)$$

Определяющие уравнения принимаются в форме Нуттинга:

$$\begin{aligned} s_{ij}(t) &= \frac{E(t, \theta)}{2[1 + \nu(\theta)]} e_{ij}(t), \quad i, j, k = r, z, \varphi, \\ \sigma_{kk}(t) &= \frac{E(t, \theta)}{3[1 - 2\nu(\theta)]} [\varepsilon_{kk}(t) - 3\alpha(\theta)(\theta - \theta_0)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнения (1)–(4) дополняются следующими граничными условиями:

при $r = R_1, R_2$

$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial r} = \gamma(r, z)(\theta - \theta_c), \quad \sigma_{rr} = 0, \quad \sigma_{rz} = 0;$$

при $z = 0$

$$u_z = 0, \quad \sigma_{rz} = 0, \quad \theta = \theta_n, \quad 0 < t < t_{\text{опл}} + t_{\text{пр}},$$

$$\sigma_{zz} = 0, \quad \sigma_{rz} = 0, \quad -\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial r} = \gamma(r, z)(\theta - \theta_c),$$

$$t_{\text{опл}} + t_{\text{пр}} < t < t_{\text{опл}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{пауз}},$$

$$u_z = 0, \quad \sigma_{rz} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0, \quad t > t_{\text{опл}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{пауз}};$$

при $z = l$

$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} = \gamma(r, z)(\theta - \theta_c), \quad \sigma_{zz} = \sigma_{zn}(t), \quad \sigma_{rz} = 0,$$

а также начальным условием $\theta(r, z) = \theta_0$ при $t = 0$.

Здесь $u_i, \varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}$ — компоненты вектора перемещений, тензоров деформации и напряжения; s_{ij}, ε_{ij} — компоненты девиаторов тензоров напряже-

ний и деформаций; $s_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3}\sigma_{kk}\delta_{ij}$; $e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3}\varepsilon_{kk}\delta_{ij}$; δ_{ij} — символ Кронекера; $E(t, \theta)$ — функция релаксации при одноосном растяжении; $c(\theta), \lambda(\theta)$ — коэффициенты объемной теплоемкости и теплопроводности; $\alpha(\theta)$ — коэффициент линейного теплового расширения; θ_0 — отсчетная температура; γ — коэффициент теплоотдачи; $\sigma_{zn}(t)$ — напряжение торцевого поджатия труб, временная зависимость которого приведена в работе [2]; θ_n — температура нагревателя.

Экспериментальная конкретизация определяющих уравнений полиэтилена в рамках релаксационного уравнения Нуттинга при одноосном растяжении позволяет получить следующее соотношение:

$$\sigma = E_0(\theta)t^{n(\theta)}\varepsilon^{m(\theta)}. \quad (5)$$

Для обобщения соотношения (5) на случай многоосного напряженного состояния принимается, что коэффициент Пуассона ν не зависит от времени, а зависит только от температуры ($\nu = \nu(\theta)$), т. е. объемная ползучесть отсутствует. Коэффициенты $m(\theta)$ и $n(\theta)$ определяли путем анализа литературных данных [7]. Расчетная схема процесса приведена на рис. 1.

Задачу (1)–(4) решали методом конечных элементов. Моделирование проводили для полиэтиленовой трубы $2R = 0,11$ м. В процессе расчетов варьировались значения температуры окружающей среды $\theta_c = \theta_0 = -15, 0, 20, 30$ °С, а также продолжительность технологической паузы в рабочем цикле $t_{\text{пауз}} = 3, 5, 10$ с, а температуру нагревателя принимали равной $\theta_n = 210$ °С.

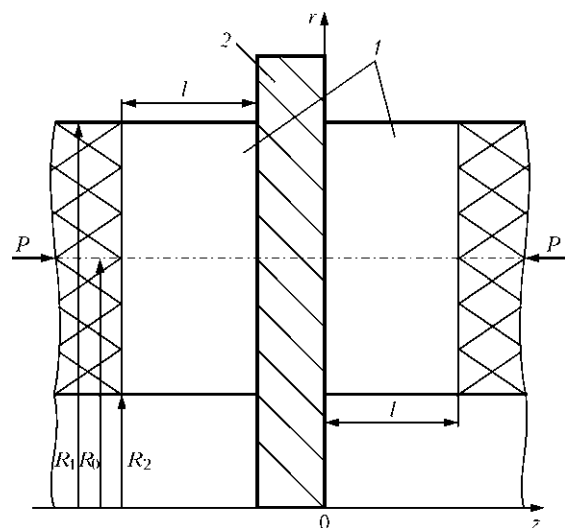


Рис. 1. Расчетная схема процесса сварки полиэтиленовых труб: 1 — исходные заготовки; 2 — нагревательный инструмент

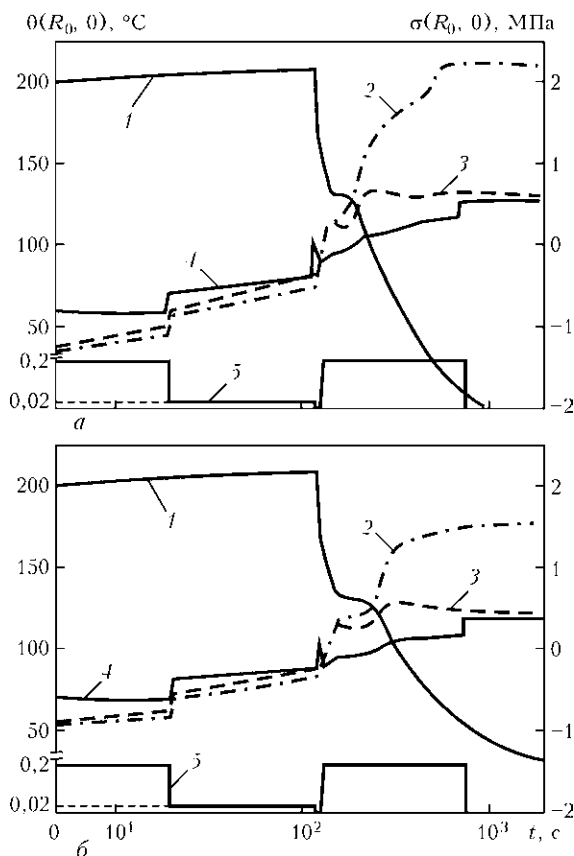


Рис. 2. Зависимость температуры и напряжений при $\theta_c = -15$ (а) и 30 °С (б); $t_{\text{пауз}} = 5$ с в точке $z = 0$ и $r = R_0$ для $t = 10^3$ с: 1 — θ ; 2 — $\sigma_{\phi\phi}$; 3 — σ_{rr} ; 4 — σ_{zz} ; 5 — σ_{zz}

На рис. 2, а показаны изменения температуры и напряжений при $\theta_c = \theta_0 = -15$ °С, $t_{\text{пауз}} = 5$ с в срединной точке $r = R_0 = (R_1 + R_2)/2$ на торце трубы $z = 0$. Видно, что на стадии $0 < t < t_1$, $t_1 = t_{\text{опл}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{пауз}}$, не только осевая σ_{zz} , но и радиальная σ_{rr} и окружная $\sigma_{\phi\phi}$ компоненты напряжений являются сжимающими: осевая — в результате поджатия, а остальные — за счет сжатия расширяющегося материала при нагреве. В процессе остывания компоненты σ_{rr} и $\sigma_{\phi\phi}$ начинают возрастать и при $t > t_1$ все компоненты становятся растягивающими, их значение превышает 2,2 МПа, что составляет более 15 % предела текучести основного материала. Осевые напряжения практически нулевые. Указанные напряжения условно можно считать остаточными, хотя они и будут очень медленно релаксировать. Расчеты, проведенные при условии $\theta_c = \theta_0 = 30$ °С (рис. 2, б), показывают, что σ_{zz} не превышает 1,5 Па. Таким образом, сварка полиэтиленовых труб в условиях отрицательных температур приводит к более высоким остаточным напряжениям, что может существенно повлиять на эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Распределения температуры и напряжений вдоль осевой координаты z в срединном по тол-

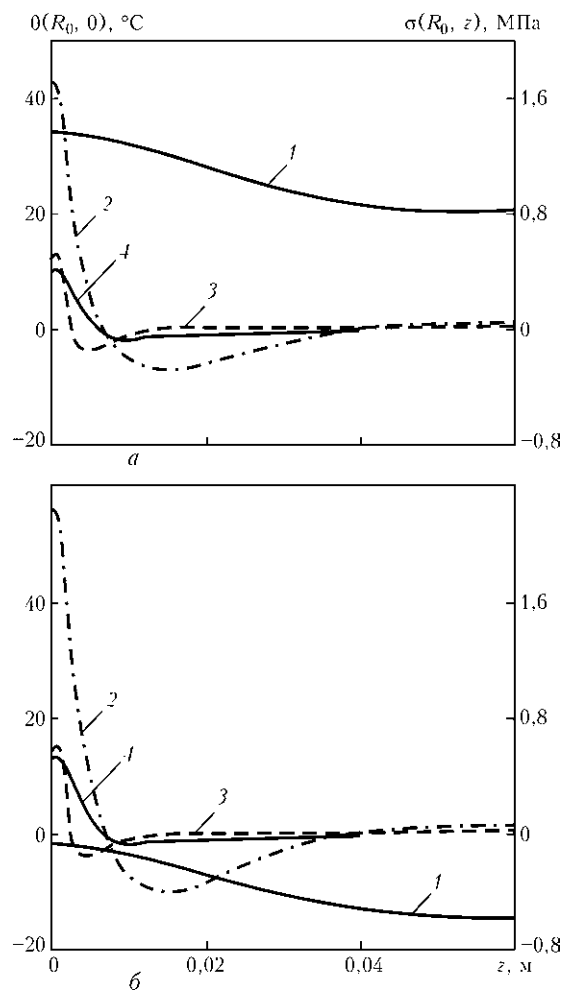


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений вдоль оси трубы при $\theta_c = 20$ (а) и -15 °С (б); $t_{\text{пауз}} = 5$ с для $t = 10^3$ с (обозначения см. на рис. 2)

щине трубы сечения $r = R_0 = 0,05$ м для момента времени $t = 10^3$ с показаны на рис. 3. Эти данные отвечают следующим значениям параметров цикла: $\theta_0 = \theta_c = 20$ °С (рис. 3, а), $\theta_0 = \theta_c = -15$ °С (рис. 3, б), $t_{\text{пауз}} = 5$ с. Выбранное время отвечает началу процесса медленной релаксации напряжений, что дает, по сути, оценку остаточным напряжениям. В данном распределении осевые напряжения практически отсутствуют, а радиальные и окружные примерно равны. При этом на поверхности сварки они растягивающие. На удалении $z \approx 0,01$ м они становятся сжимающими (рис. 3, а). При $z \geq 0,05$ м, т. е. на удалении от стыка на расстояние $z \approx 5h$, $h = R_1 - R_2$, напряжения, обусловленные сваркой, исчезают. Видно, что при сварке в условиях отрицательных температур растягивающие и сжимающие напряжения больше по абсолютным значениям, чем при сварке, в условиях положительных температур (рис. 3, б).

Как указывалось выше, одним из основных технологических параметров режима сварки наг-



ретьим инструментом встык является время между окончанием нагрева и началом осадки свариваемых труб (технологическая пауза). На этом промежутке времени оплавленные кромки, находясь в контакте с воздухом, окисляются под действием кислорода и охлаждаются вследствие конвективного теплообмена и отвода тепла внутрь трубы, что существенно влияет на качество сварных соединений. От скорости охлаждения расплава зависят зарождение и рост кристаллических образований в шве, тип конечной надмолекулярной структуры и, как следствие, прочностные показатели сварного соединения. Кроме того, скорость охлаждения стыков и продолжительность технологической паузы определяют температуру и показатель текучести расплава на момент начала осадки. При нерациональном соотношении этих величин реализация реологических процессов в зоне соединения резко снижается и возможность получения сварного соединения как такового исключается. Поэтому представляет интерес рассмотрение вопросов, связанных с влиянием времени технологической паузы на температуру свариваемых поверхностей с учетом внешних температурных факторов. На рис. 4 показана зависимость температуры свариваемых торцов труб от времени технологической паузы для различных значений температуры окружающей среды $\theta_c = \theta_0 = -15; 0; 20; 30^\circ\text{C}$. Видно, что на этом этапе сварочного процесса происходит интенсивное охлаждение свариваемых кромок. Так, за 10 с температура торца трубы снижается с 210 до 150°C (при $\theta_c = 30^\circ\text{C}$), а при сварке в условиях отрицательных температур ($\theta_c = -15^\circ\text{C}$) — до 137°C .

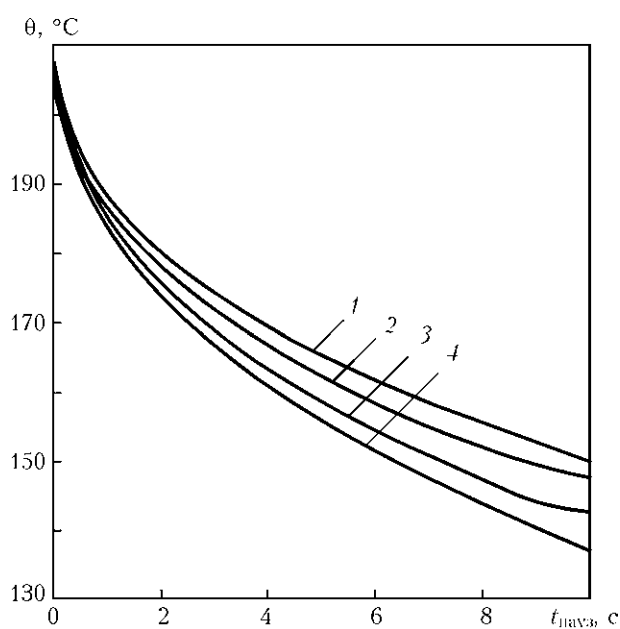


Рис. 4. Зависимость температуры торцов труб от продолжительности технологической паузы: 1 — $\theta_0 = \theta_c = 30$; 2 — 20; 3 — 0; 4 — -15°C

В соответствии с нормативными документами (СНиП 3.05.02–88, Россия) при сварке труб диаметром 63...110 мм ($\theta_c = 20^\circ\text{C}$) технологическая пауза не должна превышать 5 с, что обеспечивает благоприятные температурные условия для образования неразъемных соединений. Поэтому, как следует из рис. 4, при сварке труб в условиях отрицательных температур необходимо корректировать рекомендуемые для $\theta_c = 20^\circ\text{C}$ параметры технологического процесса. Поскольку время технологической паузы определяется временем удаления нагревателя из зоны сварки и временем, необходимым для стыковки свариваемых торцов труб, то его минимизация трудновыполнима. Более эффективным является увеличение либо температуры нагревателя, либо времени нагрева свариваемых торцов. Однако, как показывают пластмассографические исследования, повышение температуры нагревателя может приводить к термодеструкции полимера, образованию дефектов и, как следствие, снижению прочностных характеристик сварных соединений. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно увеличить время нагрева торцов труб при фиксированных значениях температуры нагревателя и времени технологической паузы. При этом значение глубины проплавления должно соответствовать значению, рекомендуемому для сварки труб при температуре окружающей среды 20°C .

Для корректировки времени нагрева при сварке полиэтиленовых труб в условиях отрицательных температур можно воспользоваться графиком, приведенным на рис. 5. На нем показаны изолинии температуры вязкотекучего перехода ($\theta_{пл} = 120^\circ\text{C}$) полиэтилена при температуре окружающей среды $\theta_c = -15^\circ\text{C}$. Как показывают расчеты, при $\theta_c = 20^\circ\text{C}$ температура перехода в вязкотекучее состояние на расстоянии 0,002 м от торца трубы достигается через 80 с, а при температуре $\theta_c = -15^\circ\text{C}$ — через 120 с (рис. 5). Следовательно, для обеспечения регламентированных температурных условий в зоне соединения

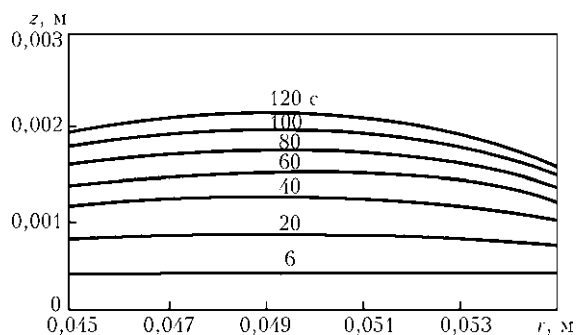


Рис. 5. Кинетика изолиний вязкотекучего перехода полимера при сварке полиэтиленовых труб ($\theta_{пл} = 120^\circ\text{C}$; $\theta_c = \theta_0 = -15^\circ\text{C}$)



при сварке труб при $\theta_c = -15^\circ\text{C}$ необходимо увеличить время нагрева как минимум на 40 с. Разработанная методика позволяет построить аналогичные зависимости для произвольных значений температур окружающей среды.

Проведенные испытания сварных соединений, полученных при сварке в условиях нормативных температур воздуха ($-15...+30^\circ\text{C}$) с корректировкой времени нагрева по предложенной методике, показали, что пластическое разрушение образцов происходит вне зоны шва. Для оценки качества сварных соединений труб использовали несколько критериев: характер разрушения образцов по СНиП 3.05.02–88 и стойкость к растрескиванию под напряжением при ускоренных испытаниях сварного соединения в растворе поверхностно-активного вещества.

Анализ результатов моделирования температурных и механических полей в зоне соединения при сварке нагретым инструментом полиэтиленовых труб в различных температурных условиях позволяет заключить:

осевая, радиальная и окружная компоненты механических напряжений на этапах оплавления, нагрева и технологической паузы являются сжимающими, а в процессе остывания стыка становятся растягивающими;

значение и пространственное распределение остаточных напряжений зависят не только от основных параметров режима сварки, но и от температуры окружающей среды;

в условиях сварки при отрицательных температурах воздуха остаточные напряжения по абсолютной величине больше, чем при сварке в ус-

ловиях положительных температур и могут достигать 15...20 % прочности основного материала;

для обеспечения заданного качества сварных соединений в условиях сварки при отрицательных температурах воздуха необходимо увеличивать время нагрева свариваемых торцов труб. Для корректировки времени нагрева рекомендовано использовать разработанную методику расчета температурного поля в свариваемых образцах.

1. Комаров Г. В. Соединения деталей из полимерных материалов: Учеб. пособие. — СПб.: Профессия, 2006. — 592 с.
2. Нестеренко Н. П., Сенченков И. К., Червинко О. П. Моделирование температурных полей и напряжений при сварке нагретым инструментом пластмассовых труб в условиях отрицательных температур // Сб. докл. науч.-практ. семинара «Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта». — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2007. — С. 111–115.
3. Старостин Н. П., Амосова О. А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды // Свароч. пр-во. — 2007. — № 4. — С. 17–20.
4. Кайгородов Г. К., Каргин В. Ю. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и экология. — 2001. — № 2. — С. 13–14.
5. Соколов В. А., Красников М. А. Вопросы оценки качества сварки полиэтиленовых труб с применением муфт с закладными нагревателями // Там же. — 2004. — № 2. — С. 7–98.
6. Математическое моделирование деформационных процессов при сварке полиэтиленовых труб / В. И. Махненко, Е. А. Великоиваненко, Г. Ф. Розынка, Е. Ш. Гисер // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 1–6.
7. Пивень А. А., Гречаная Н. А., Чернобыльский И. И. Теплофизические свойства полимерных материалов. — Киев: Вища шк., 1976. — 180 с.

The paper deals with the features of formation of thermal and mechanical fields in the joint zone in welding of polyethylene pipes by a hot tool inserted into butt. It is shown that the magnitude and spatial distribution of residual stresses depend not only on the main parameters of the welding mode, but also on ambient temperature. A procedure of calculation of the temperature field in welded samples is proposed for correction of the heating time.

Поступила в редакцию 07.07.2008

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. ИНВЕСТИЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ (9-я национальная выставка-форум)

23–26.09.2009

г. Кривой Рог

Подробную информацию можно получить
по тел./факс: +38(0564) 92 32 43; 92 32 37; 409 30 30
e-mail: of_kratos@mg.net.ua, expo@kratos.net.ua
http: //www.kratos.net.ua/exhibition.htm

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ С КОРОТКИМИ ЗАМЫКАНИЯМИ

О. Б. ГЕЦКИН, инж. (НПП «Технотрон», г. Чебоксары, РФ),

В. А. ЕРОФЕЕВ, канд. техн. наук (Тульский гос. ун-т, РФ), **С. И. ПОЛОСКОВ**, д-р техн. наук (НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, РФ)

Рассмотрена физико-математическая модель явлений каплепереноса при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка, учитывающая условия переноса электродного металла и взаимодействия дуги с электрическими параметрами источника питания. Компьютерная программа, реализующая численное решение уравнений модели, позволяет исследовать явления при сварке и обоснованно определять не только технологические параметры процесса, но и технологические требования к конструированию различных видов оборудования для сварки плавящимся электродом.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, защитный газ, явления каплепереноса, виртуальный процесс, источник питания, дуга, дуговой промежуток, короткие замыкания, физико-математическая модель, управляемый каплеперенос

При выполнении неповоротных стыков существуют объективные проблемы обеспечения устойчивого переноса каплей электродного металла в сварочную ванну. Наиболее эффективно этот перенос обеспечивается при сварке с короткими замыканиями (КЗ) дугового промежутка и дополнительными воздействиями на каплю при ее переходе в ванну. Еще в 1960–1970-х годах разработаны различные варианты таких воздействий на капли электродного металла [1–3], однако эффективная реализация предложенных способов сварки с управляемым каплепереносом (УКП) электродного металла стала возможной только в середине 1990-х годов [4, 5] благодаря развитию микропроцессорной техники и созданию мощных транзисторных ключей [6], позволяющих осуществлять быструю коммутацию сварочного тока по сложному алгоритму управления.

До сегодня многие вопросы практической реализации У КП и выработки технологических требований к сварочному оборудованию остаются недостаточно изученными. Это связано с тем, что для изучения быстропротекающих процессов при дуговой сварке плавящимся электродом экспериментальными методами необходимы значительные материальные затраты на проведение исследований, а сама обработка результатов экспериментов характеризуется высокой трудоемкостью. Поэтому наиболее эффективным методом получения необходимых количественных характеристик процесса с У КП является моделирование указанных воздействий и приемов сварки. При этом

под моделированием какого-либо объекта (системы, процесса, явления) обычно понимается воспроизведение и исследование другого объекта, подобного оригиналу, с последующим переносом полученных результатов на моделируемый объект. При этом моделирование должно учитывать как физические явления при сварке, так и математические зависимости при их описании.

Целью работы являлось изучение алгоритмов управления и определение параметров сварки с УКП электродного металла на основе моделирования явлений в фазах КЗ, плавления электрода и формирования капли.

Работами многих авторов, представленными в обзоре [7], разработан «идеальный» цикл сварки с УКЗ, в котором отдельные фазы цикла управляются по собственному алгоритму (рис. 1). Выделены следующие стадии микроцикла переноса капли электродного металла через дуговой промежуток: t_1 — плавление электрода и формирование капли; t_2 — успокоение капли; t_3 — КЗ и начало

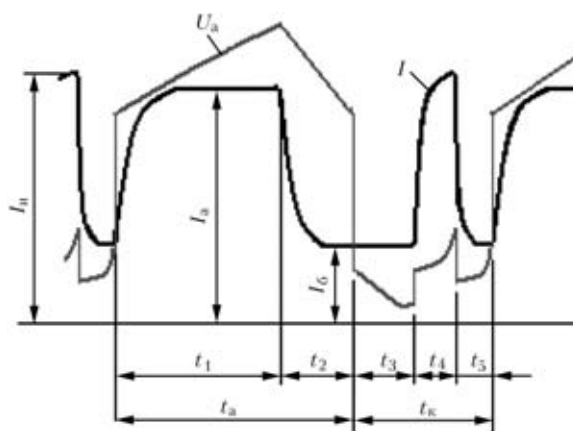


Рис. 1. Осциллограмма тока и напряжения дуги при импульсной дуговой сварке с КЗ (обозначения см. в тексте)



перетекания капли в ванну; t_4 — окончание перетекания; t_5 — разрыв перемычки расплава между электродом и ванной и возбуждение дуги. Стадии t_1, t_2 образуют фазу горения дуги t_a , а t_3-t_5 — фазу КЗ продолжительностью t_k .

Проблемой является определение моментов завершения каждой из перечисленных фаз в ходе сварочного процесса. Наиболее доступными экспериментальными параметрами процесса являются измеряемые при переносе капли в ванну значения тока и напряжения дуги.

Длительность стадии t_1 и ток I_a определяют размер капли, в простейшем случае их задают в зависимости от диаметра и скорости подачи электрода. Момент завершения фазы t_2 легко фиксируется уменьшением напряжения дуги ниже суммы анодного и катодного падений напряжения дуги. Наиболее сложным является определение момента окончания стадии t_3 , так как в этом микроцикле существуют две перемычки, одна в зоне контакта капля-ванна, вторая в зоне капля-проволока. Полагают [8], что за начало стадии t_4 можно принять момент, с которого сопротивление дугового промежутка (или напряжение) начинает возрастать, однако изменением какой из перемычек это обусловлено неочевидно. Еще более сложным является определение момента окончания стадии t_4 , т. е. момента подачи импульса тока I_u для ускорения переноса капли. Признаком начала разрыва перемычки в зоне капля-проволока является быстрое увеличение сопротивления дугового промежутка (или напряжения выше 8...10 В). Описанные стадии УКП реализуются по различным алгоритмам управления [9], в том числе со стабилизацией тока или напряжения в фазе формирования капли, с подачей и без подачи импульса тока в фазе КЗ от отдельного или основного источника.

В данной работе выполнен сравнительный анализ описанных выше вариантов управления на основе моделирования происходящих при этом физических процессов.

Физико-математическая модель. В основу модели положены уравнения, описывающие плавление электродной проволоки дугой с учетом нагрева вылета электрода [10, 11]. Главным отличием созданной модели является возможность наглядного воспроизведения и сравнительный анализ различных алгоритмов импульсного управления переносом капель при КЗ дугового промежутка.

Электрические процессы. При описании электрических процессов учитывали индуктивность L , активное сопротивление R источника и цепи питания дуги, а также сопротивление вылета электродной проволоки $R(T)$.

Ток дуги I_a определяли по ее вольт-амперной характеристике (ВАХ) с учетом зависимости напряжения дуги U_a и ее длины l_a

$$U_a(I_a, l_a) = U_e + l_a \operatorname{grad} U \left(1 - \frac{l_k}{l_a} \right), \quad (1)$$

где U_e — сумма анодного и катодного падения напряжений на дуге; $\operatorname{grad} U$ — градиент потенциала в столбе дуги; I_k — значение тока, при котором напряжение дуги минимально (ток КЗ).

Сопротивление вылета электрода определяли по распределению температуры в вылете

$$R(T) = \frac{4}{\pi d_f^2} \int_0^{l_e} \rho_e(T_f(z)) dz, \quad (2)$$

где d_f — диаметр электродной проволоки; l_e — длина вылета электродной проволоки от торца токоподводящего мундштука до дуги; $\rho_e(T_f)$ — зависимость удельного сопротивления материала электрода от его температуры T_f ; z — ордината осевого перемещения электродной проволоки и капли в ванну.

Температура металла в вылете определяется с учетом изменения тока дуги во времени

$$T_f = \frac{16}{c\rho(\pi d_f^2)^2} \int_{t-\tau}^t \rho_e(T_f) I_a^2(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $\tau = l_e/v_f$ — время перемещения металла от токоподводящего наконечника на расстояние l_e от его торца; ρ — плотность материала электрода; c — удельная теплоемкость; t — время цикла переноса одной капли электродного металла, состоящее из микроциклов $t_a + t_k$.

Электрические процессы в цепи питания дуги описаны уравнением, которое связывает ток и напряжение в источнике с энергетическими параметрами дуги по условиям коммутации

$$I_a = \frac{1}{L} \int_0^t (U_{x.x} - U_k - R \max(I_u, I_0)) dt, \quad (4)$$

где $U_{x.x}$ — заданное напряжение холостого хода источника; U_k — напряжение ключа K ; I_0 — заданный базовый ток.

Напряжение на ключе изменяется в течение каждой стадии (микроцикла) переноса капли в ванну

$$U_k = \begin{cases} 0 & \text{при } t \in (t_2, t_3) \cup t \in t_5, \\ U_a & \text{при } t \in t_1 \cup t \in t_4. \end{cases} \quad (5)$$

Напряжение на дуговом промежутке в фазе горения дуги определяется ее ВАХ, а в фазе КЗ — падением напряжения на вылете электрода и в перемычках зон капля-ванна и капля-проволока. Общее сопротивление перемычек R_k рассчитывается в соответствии с изменением формы капли



и описывается как функция координаты Z_k центра тяжести капли

$$R_k \approx \rho_k \frac{D}{d_f \sqrt{(D - 2Z_k)(D + d_f - 6Z_k)}}, \quad (6)$$

где ρ_k — удельное сопротивление расплава; D — текущий диаметр капли.

Плавнение проволоки и формирование капли. Размер капли определяется скоростью плавления электродного металла v_f зависящей от теплопередачи дуги к капле. При этом тепловая мощность дуги увеличивает среднюю температуру капель со скоростью, равной

$$\frac{dT_k}{dt} = \frac{U_e I_a - \lambda \frac{\pi d_f^2}{D} (T_k - T_L)}{c \rho \frac{\pi D^3}{6}}, \quad (7)$$

где λ — теплопроводность металла электрода; T_L — температура плавления; T_k — текущая средняя температура капли.

Одновременно в зоне капля-электродная проволока возникает тепловой поток мощностью

$$P_f = \pi d_f^2 \frac{2\lambda}{D} (T_k - T_f). \quad (8)$$

Этот тепловой поток вызывает дополнительное плавление электродной проволоки с нарастанием текущего объема капли V_k со скоростью

$$\frac{dV_k}{dt} = \frac{P_f}{c \rho (T_L - T_f) + H_L}, \quad (9)$$

где H_L — удельная теплота плавления.

Текущий диаметр капли определяется ее объемом

$$D = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} V_k}. \quad (10)$$

Формирование дугового промежутка. Длину дугового промежутка l_a определяли по минимальному расстоянию между поверхностями сварочной ванны и капли на электроде. Так как параметр l_a зависит от скорости подачи электрода v_f и диаметра D капли, то верно соотношение

$$\frac{dl_a}{dt} = -\frac{dD}{dt} - v_f \quad (11)$$

Перенос капли. Длительность стадии t_1 микроцикла переноса капли задается, а t_2 определяется по значению длины дуги, которое в момент КЗ равно нулю и определяется расположением центра тяжести капли. Расположение центра масс капли Z_k зависит от ее формы и определяется уравнением

$$\frac{d^2 Z_k}{dt^2} = \frac{m_k}{F_\sigma + F_I + m_k g}, \quad (12)$$

где $m_k = \frac{1}{6} \pi D^3 \rho$ — масса капли; $F_\sigma = \pi D \sigma (1 - Z_k/Z_2)$ — сила поверхностного натяжения; $F_I \approx k I_D^2 (Z_k/Z_1 - 1)$ — аксиальная составляющая электромагнитной силы, направление и значение которой зависит от формы капли и кривизны поверхности ванны при их слиянии.

Совместное решение системы уравнений (1)...(12) позволяет виртуально воспроизвести перенос капель расплава с электрода в ванну при КЗ. Для численного решения уравнения (1)...(12) преобразованы в систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, разрешенных относительно производных. Решение всех уравнений этой системы выполнялось в общем цикле времени с шагом менее $dt = 10^{-5}$ с, что позволило детально воспроизвести быстротекущие процессы при переносе капли с электрода в сварочную ванну, от первоначального касания электрода изделия до достижения установившегося состояния.

Результаты моделирования. Моделирование выполнено для случая сварки в CO_2 проволокой диаметром 1,2 мм и скорости ее подачи 120 мм/с при питании от источника с наклоном ВАХ 0,08 В/А с индуктивностью сварочной цепи 4 мГн, что соответствует параметрам установки УАСТ-1 для автоматической орбитальной сварки магистральных трубопроводов [12]. Оно позволило определить изменение параметров процесса переноса капли в ванну на стадиях КЗ, плавления электрода и формирования капли при разных алгоритмах управления каплепереносом.

Параметры процесса в разных вариантах управления (напряжение холостого хода источника питания $U_{x,x}$, базовый ток I_0 , длительность импульса тока плавления τ_1 и длительность задержки включения тока τ_5 после начала КЗ) приведены в табл. 1. В табл. 2 представлены основные результаты расчета характеристик процесса при разных алгоритмах управления. Варианты управления соответствуют алгоритмам управления, приведенным в табл. 1.

На рис. 2–5 показаны результаты имитации в виде графиков изменения тока, напряжения и длины дуги в течение нескольких периодов переноса электродного металла в сварочную ванну (диаметр электродной проволоки 1,2 мм, скорость подачи 120 мм/с при питании от источника с наклоном ВАХ 0,08 В/А, длительность импульса 0,02 с).

Полученные результаты показали, что при импульсном управлении процессом ток дуги, период



Таблица 1. Заданные значения параметров процесса сварки с КЗ при разных алгоритмах управления

№ п/п	Алгоритм управления	$U_{x,x}$, В	I_a , А	I_k , А	τ_1 , мс	τ_s , мс	I_0 , А
1	С заданным напряжением источника и полным ограничением тока КЗ	35	—	—	20	0,5	40
2	С заданным напряжением источника и импульсом при КЗ	35	—	—	20	0,5	40
3	С заданным значением токов импульсов плавления и КЗ	—	250	350	—	—	—
4	Неуправляемый каплеперенос электродного металла	30	—	—	—	0	0

Таблица 2. Параметры процесса, полученные при моделировании переноса электродного металла с УКП

Вариант управления	I_{max} , А	I_{cp} , А	l_a^{max} , мм	l_a^{cp} , мм	t_k , мс	Период переноса капель, мс	D , мм	T , °С	T подогрева вылета, °С
1	270	172	0,9	0,48	5,6	33	1,65	1780	330
2	265	185	0,9	0,47	5,4	33	1,65	1750	370
3	350	184	0,94	0,50	5,2	32	1,64	1737	400
4	210	198	0,62	0,19	4,0	16	1,25	1680	372

переноса капель с электрода в сварочную ванну, размер капель и максимальная длина дуги существенно больше, чем в непрерывном режиме при отсутствии управления (табл. 2), однако средние значения тока дуги различаются мало. Наблюдается существенное увеличение размера капель и максимальной длины дуги. Это обусловлено увеличением тока дуги в фазе формирования капли, которое является следствием больших значений напряжения холостого хода источника питания при импульсном управлении. Увеличение периода переноса капель и длительности КЗ является прямым следствием возрастания максимальной длины дуги, диаметра и массы капель. При ограничении тока на весь период КЗ длительность за-

мыкания несколько больше, чем при подаче импульса тока в заключительной стадии КЗ.

Анализ технологических особенностей процесса сварки с УКП. Главным недостатком неуправляемого процесса дуговой сварки с КЗ является очень узкий диапазон параметров процесса, в котором реализуется устойчивый процесс переноса электродного металла в сварочную ванну [13]. При импульсном управлении длительность формирования капли задана, что позволяет управлять процессом формирования капли, регулируя ток импульса. При этом имеется возможность использования эффекта саморегулирования дуги, если задавать не ток импульса, а напряжение источника питания дуги. Это обеспечивает автоматическое изменение тока при изменении ско-

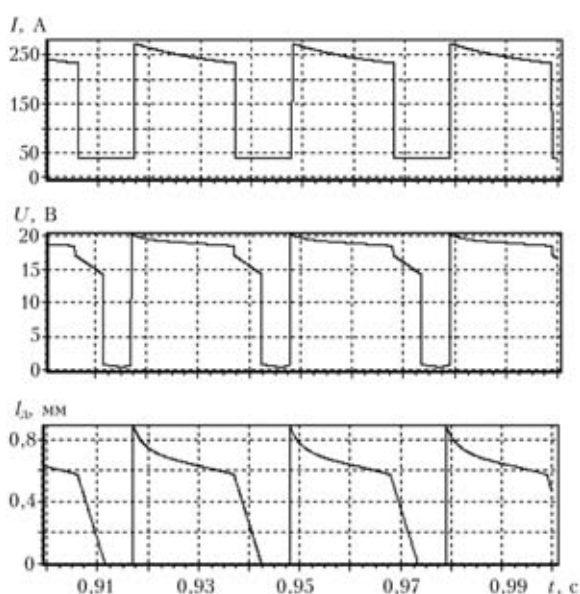


Рис. 2. Результат имитации процесса сварки с КЗ при задании напряжения холостого хода источника питания и полном ограничении тока КЗ ($U_{x,x} = 35$ В)

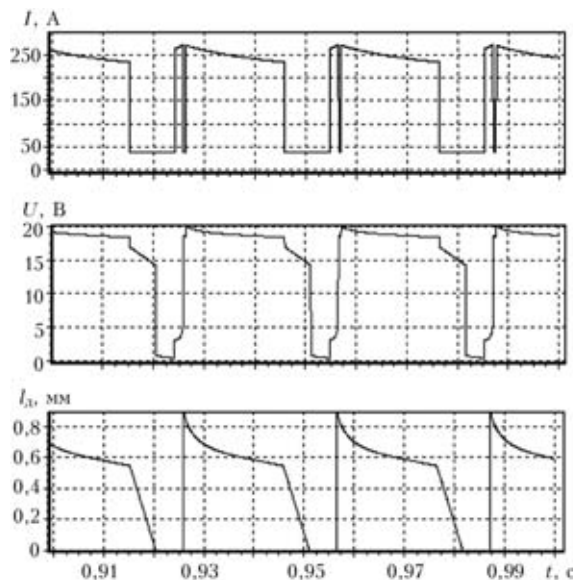


Рис. 3. Результат имитации процесса с КЗ при задании напряжения холостого хода источника питания и подаче импульса тока в завершающей фазе КЗ (задержка импульса тока после КЗ 0,0005 с)

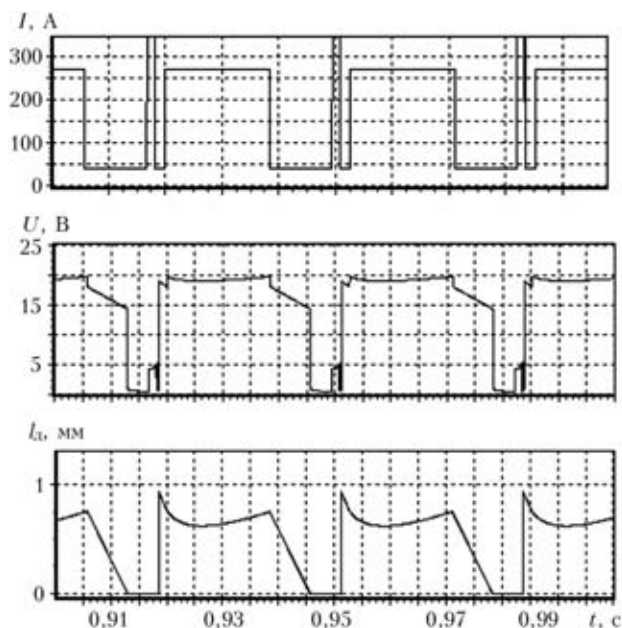


Рис. 4. Результат имитации процесса сварки с КЗ при задании тока в фазе образования капли и тока в завершающей фазе КЗ (амплитуда импульса тока на стадии формирования капли 260 А, на стадии успокоения 40 А, при КЗ 350 А)

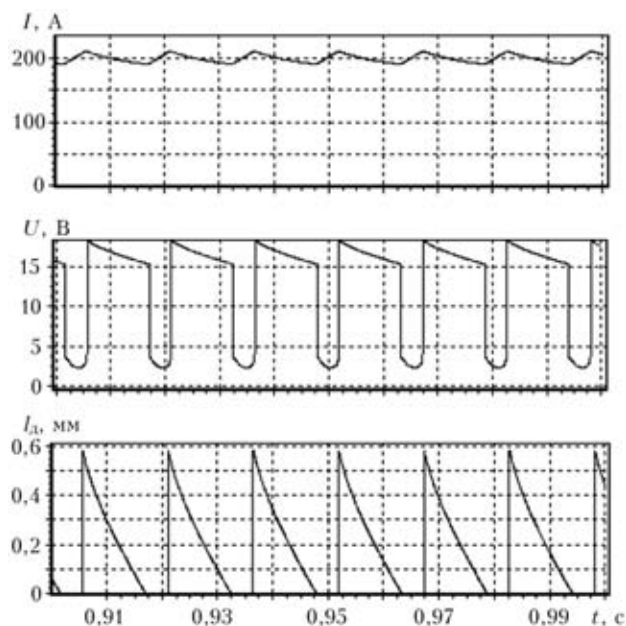


Рис. 5. Результат имитации неуправляемого процесса дуговой сварки с периодическими КЗ ($U_{xx} = 30$ В)

рости подачи электродной проволоки, а также ослабляет влияние нестабильности характеристик электродной проволоки на длину дуги на размер и период следования капель. Последнее, в свою очередь, улучшает стабильность формирования и повышает качество сварных соединений.

Указанные преимущества расширяют область параметров, в которых реализуется процесс сварки с периодическими КЗ. Ограничением длительности и амплитуды импульса тока в фазе

формирования капли является ее максимальный размер, при котором капля удерживается на электроде. Максимальное значение напряжения источника питания не ограничено, а минимальный ток дежурной дуги ограничен только условием поддержания сформировавшейся капли в расплавленном состоянии.

Выводы

1. Для изучения алгоритмов управления и определения параметров УКП электродного металла разработана физико-математическая модель процесса дуговой сварки в защитных газах в системе источник питания–дуга, которые учитывают быстропротекающие явления в фазах КЗ, плавления электрода и формирования капли при сварке плавящимся электродом.

2. Реализация модели в виде компьютерной программы для виртуального воспроизведения быстропротекающих явлений в фазах КЗ, плавления электрода и формирования капли при сварке плавящимся электродом позволяет обоснованно определять не только технологические параметры процесса, но и технологические требования к конструированию различных видов оборудования для механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом.

1. Тавровский В. П. Автоматическая сварка пульсирующей дугой неповоротных стыков паропроводных труб // Энергет. стр.-во. — 1969. — № 10. — С. 28–32.
2. Патон Б. Е., Шейко П. П., Пацуля М. П. Автоматическое управление переносом металла при импульсно-дуговой сварке // Автомат. сварка. — 1971. — № 9. — С. 1–3.
3. Патон Б. Е., Потаповский А. Г. Виды процессов сварки в защитных газах стационарной и импульсной дугой (Обзор) // Там же. — 1973. — № 9. — С. 1–8.
4. Stava E. K. New surface transfer tension process speeds pipe welding // Pipe Line & Gas Industry. — 1999. — 82, № 9. — P. 55–57.
5. Modelling and analysis of metal transfer in gas metal arc welding / F. Wang, W. K. Hou, S. J. Hu et al. // J. Phys. D: Applied Physics. — 2003. — 36. — P. 1–19.
6. Некоторые тенденции в развитии приборов и устройств силовой электроники / Г. В. Грабовецкий, С. А. Харитонов, Е. Б. Преображенский и др. // Химия в интересах устойчивого развития. — 2001. — 9, № 7. — С. 921–928.
7. Ланкин Ю. Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в CO_2 с периодическими замыканиями дугового промежутка (Обзор) // Автомат. сварка. — 2007. — № 1. — С. 3–10.
8. Mathematical modeling of metal active gas arc welding / T. Yamamoto, T. Ohji, F. Miyasaka, Y. Tsuji // Sci. and Technol. of Welding & Joining. — 2002. — 7, № 4. — P. 260–264.
9. Лебедев В. К. Тенденции развития источников питания и систем управления (по материалам патентов США) // Автомат. сварка. — 2004. — № 1. — С. 40–48.
10. Физико-математическая модель системы «источник питания–дуга» для сварки плавящимся электродом в защитных газах / О. Б. Гецкин, С. И. Полосков, В. А. Ерофеев, О. П. Витько // Тяж. машиностроение. — 2008. — № 6. — С. 18–20.
11. Имитационное моделирование особенностей управления переносом капель при сварке с короткими замыканиями / О. Б. Гецкин, С. И. Полосков, В. А. Ерофеев,



- О. П. Витько // Технология машиностроения. — 2008. — № 10. — С. 25–29.
12. Гецкин О. Б. Создание автомата блочно-модульной конструкции для орбитальной сварки магистральных трубопроводов // Сварка и диагностика. — 2008. — № 6. — С. 19–23.
13. Устойчивость процесса сварки плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / О. Б. Гецкин, С. И. Полосков, В. А. Ерофеев, О. П. Витько // Тяж. машиностроение. — 2008. — № 9. — С. 20–23.

The physical-mathematical model is considered, describing the short-time phenomena occurring in metal-electrode welding with short-circuits of the arc gap, and allowing for conditions of electrode metal transfer and interaction of the arc with electric parameters of the power supply. The software realising numerical solution of the model equations makes it possible to study the phenomena occurring in welding and justifiably determine not only the technological parameters of the process, but also the technological requirements to designs of various types of metal-arc welding equipment.

Поступила в редакцию 01.12.2008

ВНИМАНИЮ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ!

Приглашаем Вас принять участие в работе V открытой Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии», посвященной 75-летию ИЭС им. Е. О. Патона.

Организатором конференции выступает Институт электросварки им. Е. О. Патона при участии Совета научной молодежи.

Ожидается участие в работе конференции молодых ученых (докторов наук, докторантов, кандидатов наук), научных сотрудников, аспирантов и специалистов из многих регионов Украины и ближнего зарубежья.

Основные направления конференции:

- Прогрессивные технологии сварки и соединения материалов
- Прочность, надежность и долговечность сварных конструкций
- Технологии наплавки, нанесения покрытий и обработки поверхностей
- Новые конструкционные и функциональные материалы
- Техническая диагностика и неразрушающий контроль
- Автоматизация процессов сварки и родственных технологий
- Фундаментальные исследования физико-химических процессов (термодинамика, кинетика, микроструктура, фазовые превращения, электронная структура, свойства)
- Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных технологиях

**По вопросам участия в конференции
просьба обращаться в оргкомитет:**

03680, г. Киев, ул. Боженко, 11, ОНТИ
тел.: (+38044) 271-25-60
e-mail: vorzel2009@gmail.com
<http://www.paton.kiev.ua/rus/events/conf2009.html>



ОСОБЕННОСТИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

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

Исследованы металлургические способы снижения содержания серы в металле шва при сварке порошковой проволокой. Рассмотрена возможность снижения содержания серы в металле за счет использования магний- и кальцийсодержащих лигатур. Показана перспективность повышения механических свойств сварных соединений путем снижения содержания серы в наплавленном металле.

Ключевые слова: дуговая сварка, порошковая проволока, низколегированный металл шва, десульфурация, стадия сварочной ванны, стадия капли, термодинамика реакций десульфурации, кальций- и магнийсодержащие лигатуры, механические свойства, структура металла шва

В области черной металлургии за счет обработки десульфуризирующими флюсами расплавов удается существенно снизить содержание серы в стали [1, 2], вследствие чего повышается ее пластичность, сопротивление вязким и хрупким разрушениям. При электродуговой сварке плавлением содержание серы в металле шва сварного соединения регламентируется исходя из необходимости предотвращения образования дефектов (горячих трещин) и обеспечения требуемых механических свойств сварных соединений [3–5].

Снижение содержания серы в наплавленном металле можно достичь путем использования взаимодействия металла со шлаком и газовой фазой, а также применения исходных материалов с низким содержанием серы.

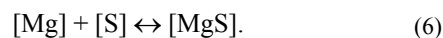
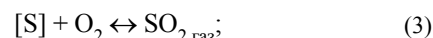
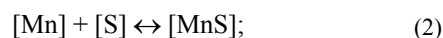
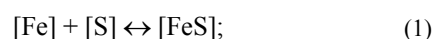
Целью настоящей работы было исследование особенностей десульфурации наплавленного металла путем регулирования состава металлической фазы через сердечник порошковой проволоки.

При сварке некоторых марок стали для обеспечения требуемых физико-механических и служебных свойств сварных соединений в состав порошковых проволок вводили силикокальций, однако при этом уровень содержания серы снижался незначительно. Заметим, что при сварке низкокремнистых сталей силикокальций неприменим. Из-за высокого содержания кремния в металле шва актуальным является использование других десульфураторов на основе кальция и магния. Один из вариантов может быть применение алюмокальциевых и алюмомagneзиовых лигатур в проволоках основного типа. Согласно работе [2], при внепечной обработке стали порошковой проволокой с наполнением гранулированными алюминием и кальцием усвоение последнего составляет

29 %, а при обработке силикокальциевой проволокой — 11 %. Однако, как известно, внепечная обработка стали характеризуется длительным временем существования расплава.

Процесс дуговой сварки плавлением отличается малым временем существования расплава, при этом способе сварки десульфурация протекает как на стадии сварочной ванны, так и на стадии капли. Для стадии капли по сравнению со стадией ванны характерны более высокая температура (свыше 2500 К), а также наличие значительной удельной межфазной поверхности. Такие особенности стадии капли обеспечивают возможность эффективно влиять на процесс десульфурации за счет взаимодействия серы, растворенной в капле, с газовой фазой, образующейся при плавлении компонентов сердечника порошковой проволоки.

С точки зрения термодинамики, при дуговой сварке стали наиболее вероятны реакции, протекающие по следующим схемам:



Расчеты энергии Гиббса ΔG_T^0 при температуре $T = 1800 \dots 2500$ К с помощью энтропийного метода проводили по следующим формулам:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \sum [n_i(H_T^0 - H_{298}^0)_i]; \quad (7)$$

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \sum [n_i(S_T^0 - S_{298}^0)_i]; \quad (8)$$

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0 \quad (9)$$



где ΔH_{298}^0 — стандартная энтальпия, кДж/моль;
 ΔS_{298}^0 — стандартная энтропия, Дж/моль;
 $n_i(H_T^0 - H_{298}^0)$ — высокотемпературная составляющая энтропии i -го компонента, кДж/моль;
 $n_i(S_T^0 - S_{298}^0)$ — высокотемпературная составляющая энтальпии i -го компонента, кДж/моль.

Термодинамические данные, необходимые для расчета ΔG_T^0 , взяты из работ [6–8]. Изменение энергии Гиббса в зависимости от температуры для реакций (1)–(6) показано на рис. 1.

Константы равновесия K_p рассчитывали по формуле

$$K_p = e^{-\Delta G_T^0 / RT}, \quad (10)$$

где R — универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль.

Значения констант равновесия K_p для реакций (1)–(6) при температурах 2000 и 2500 К, характерных для стадий сварочной ванны и капли, приведены в табл. 1.

Из изменений энергии Гиббса и констант равновесия реакций на стадии капли ($T \geq 2500$ К) видно, что наилучшим десульфуратором является кальций, способный активно удалять серу в газовую фазу и фтор. Поскольку значение константы равновесия образования сульфида кальция при $T = 2500$ К намного выше, чем оксида, фторида серы и сульфида магния, определяющую роль в процессе десульфурации играет взаимодействие кальция и серы на стадии капли, а при кристаллизации металла получает развитие реакция связывания серы в сульфиды марганца.

Для подтверждения результатов расчетов была проведена экспериментальная проверка. В качестве объекта исследования выбрана порошковая проволока фторидно-оксидного типа. Сварку выполняли на воздухе трубчатой конструкции диаметром 1,6 мм с использованием опытных проволок на постоянном токе прямой полярности: $I_{св} = 250 \dots 260$ А, $U_d = 21 \dots 22$ В, вылет электрода 20 мм. Сварку осуществляли с использованием полуавтомата ПДГО-510 (производство фирмы «СЭЛМА»), имеющего бесступенчатую регули-

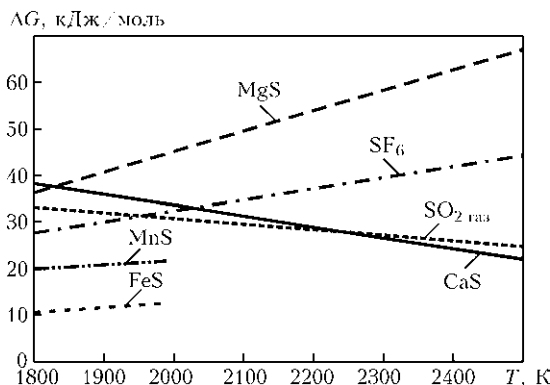


Рис. 1. Изменение энергии Гиббса ΔG при образовании оксида, фторида серы и сульфидов в зависимости от температуры

ровку скорости подачи проволоки, и источника питания дуги ВС-600 со ступенчатой регулировкой напряжения холостого хода. Пробы для химического анализа выполняли в шесть слоев с подформовкой боковых поверхностей валика медными пластинами. Химический состав наплавленного металла определяли с помощью спектрального и химического анализов. Исследовали влияние содержания серы на структуру и механические свойства металла многослойных швов, выполненных в нижнем положении. Основным металлом контрольных стыковых соединений была сталь СтЗсп толщиной 20 мм. Уровень легирования наплавленного металла C–Si–Mn–Ni, полученного с использованием проволок всех типов, не изменяли. Сварку стыков для проведения механических испытаний проводили по ГОСТ 26271–91. Металлографический анализ структуры металла шва проводили после травления в 4%-м растворе HNO_3 в спирте на микроскопе «Neophot-302» и сканирующем электронном микроскопе JSM-840. Объемную долю неметаллических включений определяли с помощью количественного анализатора «Omnimet».

Данные о способах введения кальций- и магнийсодержащих лигатур в сердечник проволоки, а также о содержании серы в наплавленном металле приведены ниже.

Десульфураторы (форма введения), мас. %	S, мас. %
0	0,020
2,0 Mg	0,009
1,75 Mg (1,0 Mg; 1,5 AlMg)	0,008
1,25 Mg (3,5 AlMg)	0,005
1,4 Ca (3,5 AlCa)	0,002
0,8 Ca; 0,75 Mg (1,5 AlMg; 2,0 AlCa)	0,003

Влияние содержания серы в наплавленном металле на структуру показано на рис. 2, а механические свойства металла швов — в табл. 2.

Объемная доля неметаллических включений при содержании серы 0,003 мас. % в наплавленном металле составляет 0,3 %, а при $S = 0,02$ мас. % — 0,85 %. В то же время из рис. 3 видно, что при низком (0,003 мас. %) содержании

Таблица 1. Константы равновесия

Реакция	2000 К	2500 К
$[Fe] + [S] \leftrightarrow [FeS]$	$4,125 \cdot 10^{-2}$	—
$[Mn] + [S] \leftrightarrow [MnS]$	$4,278 \cdot 10^{-3}$	—
$[Ca] + [S] \leftrightarrow [CaS]$	$2,127 \cdot 10^{-4}$	$1,211 \cdot 10^{-2}$
$[S] + O_2 \leftrightarrow SO_2 \text{ газ}$	$4,310 \cdot 10^{-4}$	$6,817 \cdot 10^{-3}$
$[S] + 6F \leftrightarrow SF_6$	$2,910 \cdot 10^{-4}$	$1,380 \cdot 10^{-4}$
$[Mg] + [S] \leftrightarrow [MgS]$	$1,181 \cdot 10^{-5}$	$1,387 \cdot 10^{-6}$

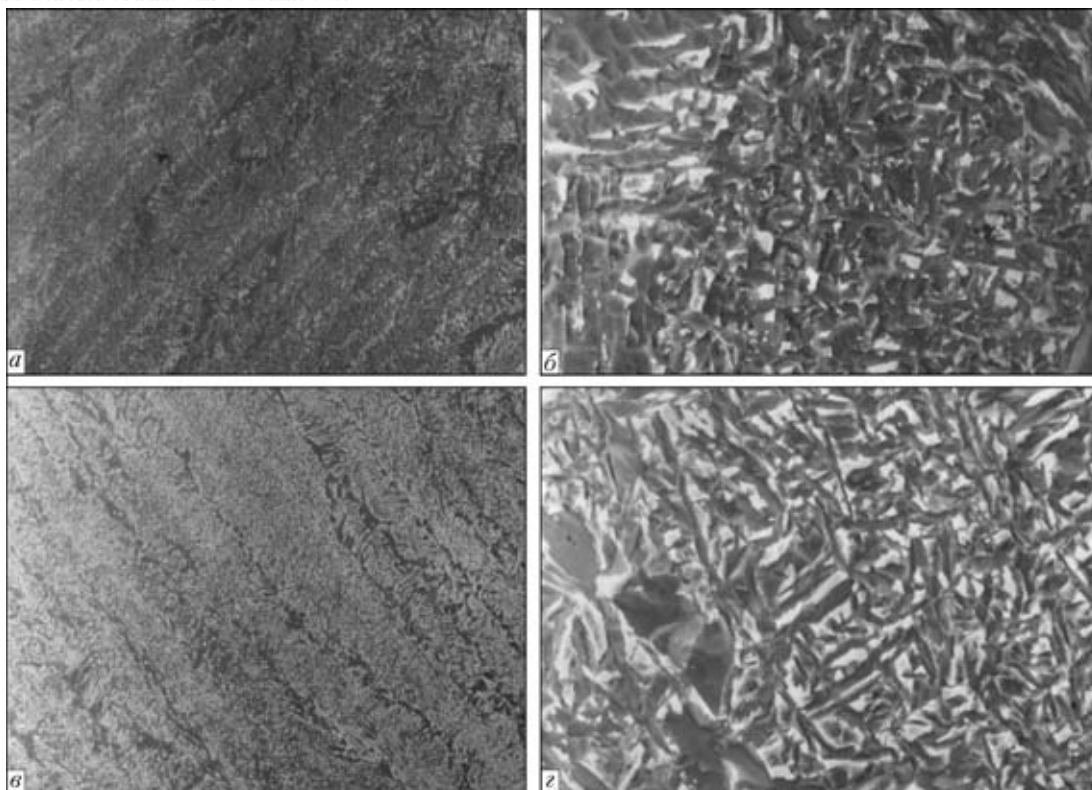


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла шва с содержанием серы 0,003 (а, б) и 0,020 мас. % (в, з): а, в, $\times 100$; б, з, $\times 1000$

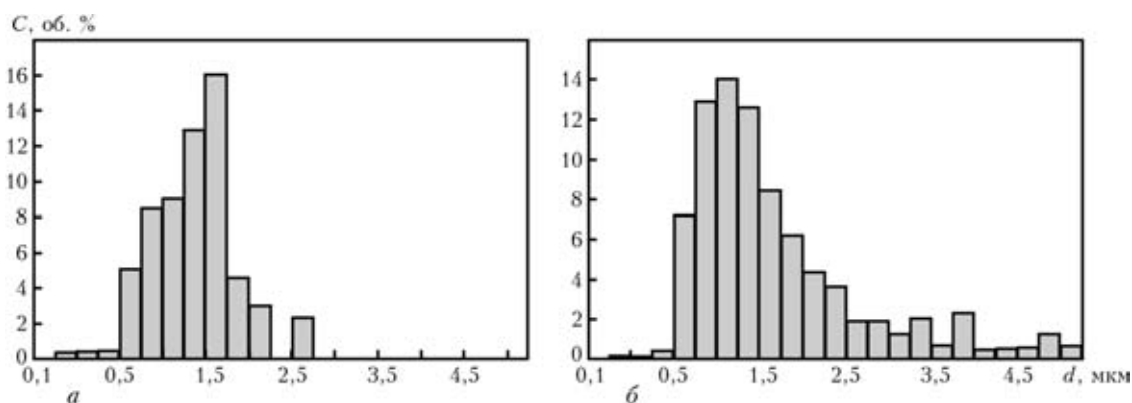


Рис. 3. Распределение неметаллических включений по размерам в наплавленном металле с содержанием серы 0,003 (а) и 0,020 мас. % (б): С — содержание неметаллических включений

Таблица 2. Влияние содержания серы в наплавленном металле на механические свойства металла шва

S, мас. %	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	KCV (Дж/см ²) при температуре			
				+20 °С	-20 °С	-40 °С	-60 °С
0,003	635	525	23,3	140,0	68,1	57,5	52,5
0,008	590	480	22,1	90,0	65,5	45,1	—
0,020	500	400	21,0	85,2	42,8	35,2	—

серы в наплавленном металле объемная доля дисперсных неметаллических включений выше, чем при $S = 0,020$ мас. %.

Таким образом, самым активным десульфуратором являются лигатуры на основе кальция. Это объясняется тем, что кальций связывает серу в сульфид кальция CaS , который не растворяется

в железе. Ассимилируясь с нейтральным шлаком, он снижает содержание сульфида железа в сварочной ванне, а также объем и размеры неметаллических включений в металле шва, что оказывает положительное влияние на механические свойства сварных соединений.



Выводы

1. При сварке порошковой проволокой существенную роль в десульфурации металла играют процессы, протекающие на стадии капли, в результате которых образуются летучие фториды и оксиды серы, а также нерастворимые в железе сульфиды. Эффективность десульфурации металла шва на стадии капли выше в случае применения кальцийсодержащих лигатур.

2. На стадии сварочной ванны с серой активно взаимодействуют фтор и марганец.

3. Введение активных десульфураторов на основе лигатур типа алюмокальция в состав сердечника порошковой проволоки приводит к повышению пластичности, снижению содержания и размеров неметаллических включений и повышению вязкопластических свойств металла шва.

1. *Вихлевицук В. А., Харахулах В. С., Бродский С. С.* Ковшевая доводка стали. — Днепрпетровск: Системные технологии, 2000. — 190 с.

Metallurgical methods of lowering the content of sulphur in the weld metal in flux-cored wire welding were studied. The possibility of lowering the content of sulphur in the metal by using magnesium- and calcium-containing master alloys is shown. The prospects for improvement of mechanical properties of welded joints by lowering sulphur content in the deposited metal is considered.

2. *Внепечная обработка жидкой стали порошковой алюмокальциевой проволокой / В. П. Онищук, В. В. Кириленко, Д. А. Дюдкин и др. // Металл и литье Украины. — 2000. — № 1/2. — С. 20–23.*
3. *Підгаєцький В. В.* Пори, включення і тріщини в зварних швах. — К.: Техніка, 1970. — 236 с.
4. *Походня И. К., Гаврилюк Ю. А., Орлов Л. Н.* Десульфурация металла при сварке порошковой проволокой / // Автомат. сварка. — 1989. — № 11. — С. 47–50.
5. *Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н.* Сварка порошковой проволокой. — Киев: Наук. думка, 1972. — 210 с.
6. *Киреев В. А.* Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. — М.: Химия, 1975. — 536 с.
7. *Владимиров Л. П.* Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций. — М.: Металлургия, 1970. — 528 с.
8. *Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. изд. / Под ред. В. П. Глушко. — В 4 т. — Т. 3: Элементы В, Al, Ca, Th, Ti, Be, Ba и их соединения. — Кн. 2: Таблицы термодинамических свойств. — М.: Наука, 1981. — 400 с.*

Поступила в редакцию 19.09.2008

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности — 2009

8-я Международная специализированная выставка и конференция приборов и оборудования для неразрушающего контроля и технической диагностики в промышленности

18–20.03. 2009

г. Москва СК «Олимпийский»

Организатор выставки: ООО «Примэкспо»

Основные тематические разделы:

- ❖ Акустический контроль ❖ Ультразвуковой контроль ❖ Вихретоковый контроль
- ❖ Визуальный и оптический контроль ❖ Лазерные технологии НК
- ❖ Магнитопорошковый контроль ❖ Электромагнитный контроль
- ❖ Инфракрасный и термический контроль ❖ Вибрационный контроль
- ❖ Капиллярный контроль ❖ Течеискание ❖ Радиографический контроль
- ❖ Электрический контроль ❖ Радиационный контроль ❖ Контроль трубопроводов
- ❖ Обучение и сертификация персонала ❖ Аттестация лабораторий
- ❖ Экспертиза и диагностика опасных производственных объектов
- ❖ Контроль напряженно-деформированного состояния для оценки остаточного ресурса

Дополнительную информацию можно получить
по E-mail: ndt@primexpo.ru, www.primexpo.ru/ndt



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Я. П. ЛАЗОРЕНКО, инж., **Е. В. ШАПОВАЛОВ**, канд. техн. наук, **Е. С. МЕЛЬНИК**, **Н. Ф. ЛУЦЕНКО**, инженеры,
В. В. ДОЛИНЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы методы автоматического распознавания отпечатков электрода на цифровых изображениях при точечной сварке трехслойных сотовых конструкций: корреляционный метод, статистический и нейросетевой. Разработаны алгоритмы для распознавания отпечатков электрода на поверхности трехслойной конструкции с помощью оптической сенсорной системы. Показана высокая эффективность разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: точечная сварка, дуговая сварка, трехслойные конструкции, техническое зрение, распознавание образов, статистическое распознавание, геометрическая адаптация, сварочный инструмент, нейронная сеть, обработка изображений

Трехслойные сотовые сварные конструкции, имеющие обычно цилиндрическую форму, широко используются в различных отраслях промышленности. Основу этих конструкций составляют объемные металлические элементы сотового типа, к которым с внешней и внутренней сторон привариваются листы металла. Такие трехслойные сварные конструкции отличаются значительной прочностью при относительно небольшой массе. Приваривание внешнего слоя указанных конструкций выполняется с помощью контактной точечной сварки и не вызывает особых трудностей. Проблема возникает при приваривании последнего слоя, поскольку в данном случае позиционирование сварочной головки осуществляется относительно положений центров отпечатков электрода на внешнем слое конструкции. В настоящее время такое позиционирование выполняют вручную с помощью специальных шаблонов. Оператор производит совмещение шаблона, жестко связанного со сварочной головкой и отпечатками электрода на внешней стороне цилиндра. При этом сварочная головка с внутренней стороны цилиндра устанавливается в позицию, необходимую для выполнения сварки. Указанный способ позиционирования сварочной головки занимает значительное время, в связи с чем сварка крупногабаритных трехслойных конструкций может продолжаться в течение десятка рабочих смен. Кроме того, точность позиционирования сварочной головки в значительной мере зависит от оператора. Повышения количественных и качествен-

ных показателей данного сварочного процесса можно достичь лишь за счет средств автоматизации. При разработке автоматизированных сварочных систем перспективным является использование технического зрения.

Целью данной статьи является исследование эффективности методов автоматического распознавания отпечатков электрода на цифровых изображениях поверхности внешнего слоя трехслойных сотовых конструкций.

Предварительная обработка исходных изображений. Отпечатки электрода на исходных полутоновых цифровых изображениях поверхности внешнего слоя конструкции, полученных с помощью телевизионного видеосенсора, имеют круглую форму и яркость, меньшую, чем область основного металла (рис. 1, а). При изменении условий съемки на исходных цифровых изображениях изменяются такие их характеристики, как общий уровень яркости и его диапазон, контрастность контуров отпечатков электродов, наличие световых бликов. В связи с этим для корректного распознавания отпечатков электрода в разработанных алгоритмах сначала осуществляется предварительная обработка исходных цифровых изображений, которая включает три процедуры: выделение контуров объектов; линейное контрастирование; бинаризацию.

Выделение контуров объектов реализуется с помощью фильтра «лапласиан от гауссиана» [1, 2]. После обработки этим фильтром область фона имеет значение яркости, близкое к нулю, а отпечатки электрода характеризуются высоким уровнем яркости. Линейное контрастирование нормализует полученное изображение по яркости посредством линейного расширения его динами-



ческого диапазона до полного динамического диапазона.

Процедура бинаризации представляет собой разметку точек (пикселей) цифрового изображения на две группы: отпечатки электродов и область основного металла. Точкам цифрового изображения, которым соответствуют отпечатки электродов, присваивается метка 1, а точкам, которым соответствует область основного металла, — метка 0. Результатом такой разметки является бинарное (двухуровневое) изображение. В настоящей работе процедура бинаризации осуществлялась с помощью пороговой обработки, которая состоит в сравнении яркости заданной точки с некоторым пороговым значением. Если значения яркости точки изображения выше его, то ей присваивается метка 1, а если ниже, то — 0. Значение порога яркости T для заданного цифрового изображения вычисляли по формуле

$$T = M + k\sigma, \quad (1)$$

где M — среднее арифметическое значение яркости цифрового изображения; k — регулировочный параметр; σ — среднеквадратическое отклонение яркости изображения. Пример бинарного изображения приведен на рис. 1, б, где отпечатки электродов выделены белым цветом, а область основного металла — черным. Последующее распознавание искомых объектов осуществляется по бинарному изображению.

Методы распознавания отпечатков электрода. Кроме отпечатков электрода на бинарных изображениях, часто ошибочно выделяют различные помехи, возникающие в связи с тем, что на поверхности трехслойной сотовой конструкции присутствуют царапины, темные пятна и световые блики. Задача распознавания отпечатков электрода сводится к разделению выделенных на бинарном изображении объектов на два класса — отпечаток электрода и помеха. Алгоритм распознавания должен также определять центр найденного отпечатка электрода.

В настоящей работе исследовали три метода распознавания отпечатков электрода на поверхности трехслойной сотовой конструкции: корреляционный, статистический и нейросетевой.

Корреляционный метод распознавания образов [1–3] основан на сопоставлении распознаваемого объекта с эталонными объектами с помощью анализа функции взаимной корреляции. В разработанном корреляционном алгоритме распознавание искомых

объектов выполняется путем сравнения обнаруженного объекта с эталонным изображением отпечатка электрода. В качестве эталона использовали одно из изображений отпечатка электрода, приведенное посредством предварительной обработки к бинарному виду. В данном алгоритме применяли нормированную функцию корреляции, которая вычислялась для эталонного изображения отпечатка электрода и заданного прямоугольного фрагмента бинарного изображения, содержащего распознаваемый объект. Нормированная функция корреляции R вычисляется по формуле

$$R = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i,j)E(i,j)}{\left[\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I^2(i,j) \right]^{1/2} \left[\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} E^2(i,j) \right]^{1/2}}, \quad (2)$$

где M и N — соответственно ширина и высота анализируемого фрагмента изображения I и эталонного изображения зоны точечной сварки E ; i, j — соответственно индексы строк и столбца.

Решение относительно того, является ли распознаваемый объект отпечатком электрода, принимается на основе значения функции взаимной корреляции в точке ее локального максимума. Если это значение превышает некоторое заданное пороговое значение, объект классифицируется алгоритмом распознавания как отпечаток электрода, в противном случае — как помеха. Согласно разработанному алгоритму, центр отпечатка электрода расположен в точке локального максимума функции взаимной корреляции.

При статистическом методе распознавания классификация выделенных на этапе бинаризации объектов (отпечаток электрода и помеха) выполняется на основе анализа значений информативных признаков, вычисляемых для бинарных изображений. Классификация представляет собой задачу разбиения пространства признаков на две области, соответствующие двум указанным классам объектов. Для решения этой задачи был при-

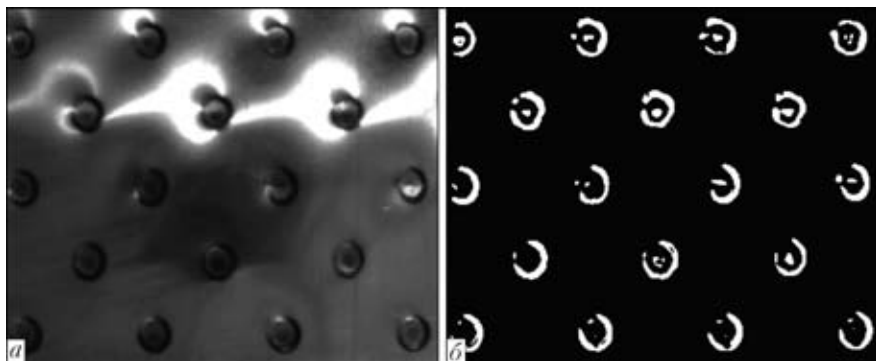


Рис. 1. Предварительная обработка цифровых изображений поверхности внешнего слоя конструкций с отпечатками электрода исходного (а) и бинарного, полученного в результате предварительной обработки (б)

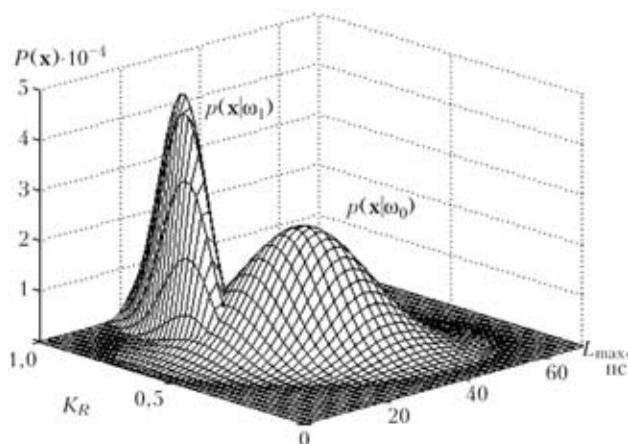


Рис. 2. Условные плотности распределения вероятности $p(\mathbf{x} | \omega_0)$ и $p(\mathbf{x} | \omega_1)$

менен байесовский классификатор [4, 5], обеспечивающий наименьшую ошибку распознавания, в котором исходными данными для принятия решения являются условные плотности распределения вероятности информативных признаков, вычисляемые для каждого класса объекта. В случае, когда классификация выполняется для двух классов ω_0 (помеха) и ω_1 (отпечаток электрода), объект, описанный вектором признаков $\mathbf{x}$, классифицируется как принадлежащий к классу ω_1 , если выполняется условие

$$p(\mathbf{x} | \omega_1)P(\omega_1) > p(\mathbf{x} | \omega_0)P(\omega_0), \quad (3)$$

где $p(\mathbf{x}, \omega_i)$ — условная плотность распределения вероятности вектора признаков $\mathbf{x}$ для класса ω_i ; $P(\omega_i)$ — априорная вероятность того, что обнаруженный объект принадлежит классу ω_i . Если условие (3) не выполняется, то принимается решение, что объект принадлежит классу ω_0 . В данном исследовании сделано допущение, что плотности вероятности имеют нормальное распределение.

В разработанном статистическом алгоритме распознавания использованы следующие три признака: площадь объекта S (количество пикселей, из которых состоит объект на бинарном изображении), наибольшая длина объекта $L_{\max}$, коэффициент сходства с окружностью K_R , который вычисляется по формуле

$$K_R = \frac{N_{R_{\max}}}{S}, \quad (4)$$

где $N_{R_{\max}} = \max N_R(x, y)$; $N_R(x, y)$ — количество точек (пикселей) объекта, находящихся на расстоянии $R \pm K_1 R$ от точки с координатами $(x, y \in W_R)$, коэффициент $K_1 \ll 1$; R — радиус окружности, с которой сравнивается объект; W_R — квадратная область изображения размером $R_0 \times R_0$, центр ко-

торой находится в геометрическом центре тяжести объекта; R_0 — средний радиус отпечатка электрода, значение которого определяется как среднее арифметическое радиусов отпечатков из обучающего множества; $N_R(x, y)$ вычисляется для всех значений R , лежащих в диапазоне $R_0 \pm K_2 R_0$, где коэффициент $K_2 \ll 1$. Центр найденного отпечатка электрода определялся алгоритмом как лежащий в точке (x, y) с максимальным значением $N_R(x, y)$ в области изображения W_R , для которой рассчитан коэффициент K_R (4). Соответственно для вектора признаков $\mathbf{x}$ выбрана следующая структура:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} S \\ L_{\max} \\ K_R \end{bmatrix}.$$

Для построения условных плотностей распределения вероятности использовали набор бинарных изображений отпечатков электродов и помех. Условные плотности распределения вероятности $p(\mathbf{x} | \omega_0)$ и $p(\mathbf{x} | \omega_1)$ для объектов (отпечатков электрода и помех) с площадью $S = 120$ точек приведены на рис. 2.

В *нейросетевом методе* распознавания отпечатков электрода используется многослойная искусственная нейронная сеть [5–8] с прямым распространением сигнала. На вход нейронной сети подается изображение распознаваемого объекта, на выходе она выдает оценку вероятности того, что распознаваемый объект является отпечатком электрода. Если эта вероятность больше некоторого порогового значения, принимается решение, что данный объект является отпечатком электрода.

Входной вектор нейронной сети формируется на основе бинарного изображения объекта. Изображения, подаваемые на вход сети, имеют фиксированный размер 17×17 пс. Средний размер зон точечной сварки для разных исходных изображений может существенно изменяться, поэтому перед распознаванием объекта выполняется масштабирование его бинарного изображения до размера 17×17 пс.

Нейронная сеть, используемая в разработанном алгоритме распознавания зон точечной сварки, состоит из трех слоев нейронов: входного I , скрытого H и выходного O (рис. 3). Входной слой, имеющий $17 \times 17 = 289$ нейронов ($I_1 \dots I_{289}$), выполняет функцию связи входных сигналов с нейронами скрытого слоя и передает входные сигналы без преобразования. Скрытый слой, состоящий из 10 нейронов $H_1 \dots H_{10}$, выполняет нелинейное преобразование входных сигналов согласно функции активации. В качестве функции активации использована сигмоидная функция. Выходной слой нейронной сети, состоящий из одного нейрона O_1 , формирует выходной сигнал сети.

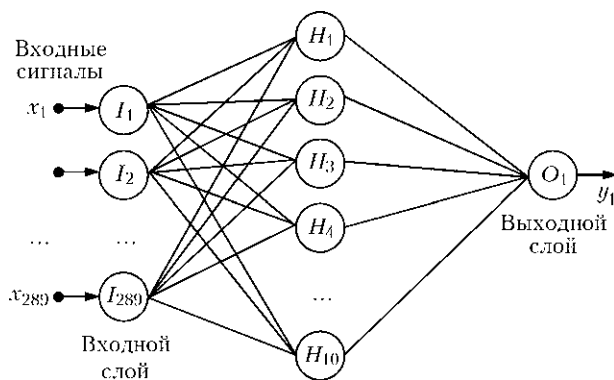


Рис. 3. Многослойная искусственная нейронная сеть с прямым распространением сигнала

Для обеспечения корректной работы нейронной сети необходимо правильно установить значения весов нейронов, для чего методом обратного распространения ошибок [7] было проведено обучение на выборке, представляющей собой набор бинарных изображений отпечатков электрода.

Исследование эффективности методов распознавания. Эффективность исследуемых методов распознавания отпечатков электрода оценивали экспериментально посредством проверки их испытания на тестовых изображениях. В качестве тестовых образцов использовали набор из девяти цифровых изображений, которые существенно отличались друг от друга общим уровнем и диапазоном яркости. Для них характерно наличие искажений яркости, из-за световых бликов, а также низкая контрастность контуров искомого объектов. Исследуемые алгоритмы реализованы в виде программного модуля на языке программирования C++. В качестве критерия эффективности распознавания использовали процент ошибок, равный отношению числа ошибок распознавания к общему числу объектов на тестовых изображениях.

В результате проверки разработанных алгоритмов распознавания на тестовых изображениях установлено, что они характеризуются достаточно высокой эффективностью. Пространственные положения искомого объектов все предложенные алгоритмы определяют довольно точно. При распознавании тестовых изображений разработанными алгоритмами было сделано 4...9 % ошибок. Наиболее эффективным оказался алгоритм распознавания с помощью искусственной нейронной сети (4 % ошибок). Несколько меньшую эффективность продемонстрировал алгоритм статистического распознавания (6 % ошибок). Наименее эффективным оказался корреляционный алгоритм (9 % ошибок). Как правило, ошибки возникали при распознавании малокаонтрастных объектов, контуры которых плохо выделяются на фоне основного металла. Причиной ошибок является несовершенство аппаратуры для получения исход-

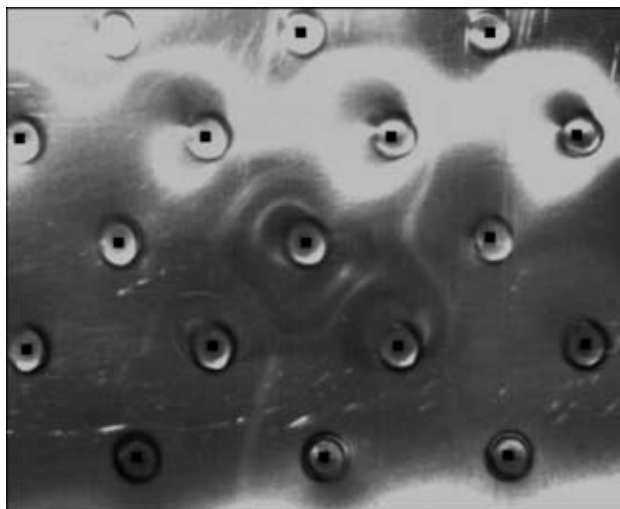


Рис. 4. Результат распознавания отпечатков электрода с помощью статистического метода (черные квадраты — центры отпечатков электрода)

ных изображений. На рис. 4 приведено цифровое изображение, на котором отпечатки электрода распознавали с помощью статистического метода.

Алгоритм коррекции ошибок распознавания. Для коррекции ошибок распознавания отпечатков электрода разработан алгоритм, который выявляет помехи, ошибочно принятые за отпечатки электрода, и определяет координаты центров отпечатков, не обнаруженных при распознавании. Принцип работы данного алгоритма основывается на априорных данных о характере взаимного расположения отпечатков электрода на поверхности трехслойной конструкции (рис. 5).

Таким образом, рассмотренные методы автоматического распознавания отпечатков электрода являются достаточно эффективными. С помощью средств геометрической адаптации, реализованных на основе предложенных методов распозна-

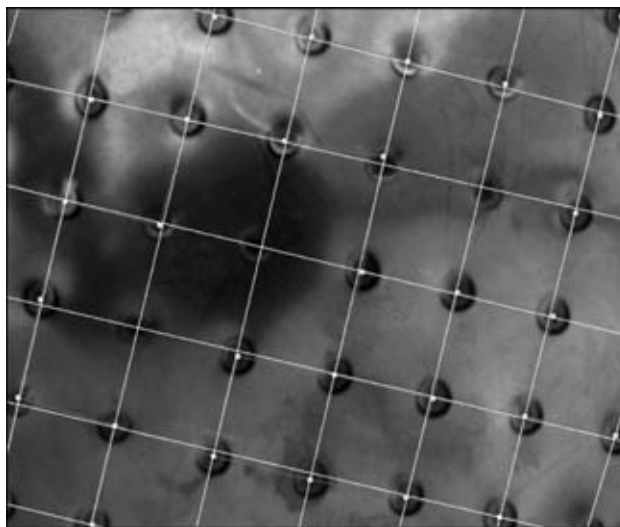


Рис. 5. Определение координат центров отпечатков электрода с помощью алгоритма коррекции ошибок распознавания (в узлах сетки, состоящей из белых линий, находятся центры искомого отпечатков электрода)



вания отпечатков электрода, можно значительно повысить скорость и точность позиционирования сварочной головки при сварке трехслойных сотовых конструкций. Результаты настоящей работы могут быть использованы для разработки автоматизированных систем точечной сварки трехслойных конструкций.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2006. — 1072 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 312 с.
3. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие / И. С. Грузман, В. С. Киричук,

В. П. Косых и др. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2000. — 168 с.

4. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / Пер. с англ. — М.: Наука, 1979. — 368 с.
5. Michie D., Spiegelhalter D., Taylor C. Machine learning, neural and statistical classification. — New York: Ellis Horwood, 1994. — 289 p.
6. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений / Под ред. А. И. Галушкина. — Кн. 7. — М.: Радиотехника, 2003. — 192 с. — (Нейрокомпьютеры и их применение. Науч. сер.).
7. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.
8. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход / Пер. с англ. — М.: «Вильямс», 2004. — 987 с.

Methods for automatic recognition of electrode prints in digital images during spot welding of three-layer honeycomb structures, i.e. of the correlation, statistical and neuron network types, have been investigated. Algorithms have been developed for recognition of electrode prints on the surface of a three-layer structure using an optical sensor-based system. The high efficiency of the developed algorithms is shown.

Поступила в редакцию 07.10.2008

Вышел в свет очередной (№ 21) выпуск журнала фирмы «Fronius» Weld+Vision на русском языке

От редактора 3-6

Связь человек-машина с точки зрения философии и научных исследований

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы 7-11

Новое поколение сварочных роботов

Сферы применения СМТ расширяются

Компания 12-13

35-летний опыт в области автоматизированных сварочных систем

Кратко и по существу 14-15

Новости от «Fronius»

Практические примеры 16-19

Полная автоматизация на фирме KTM

Сварочная фирма-подрядчик HABS для создания сложных соединений использует СМТ

Компания 20-21

Учимся сварке виртуально

Информация для путешественников 22-23

Волшебный Стамбул: плавильный котел культур



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

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



СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ

З. А. СИДЛИН, д-р техн. наук (ООО «ТЕХПРОМ», г. Москва, РФ)

Рассмотрено современное состояние производства сварочных материалов в России. Отмечены положительные тенденции в этом секторе экономики за последние годы. Наряду с ними существуют проблемы, связанные с фальсификацией на рынке сварочных материалов, обеспечением стабильности качества их, квалификацией обслуживающего персонала, необходимостью повышения качества сырьевых материалов.

Ключевые слова: сварочное производство, сварочные материалы, покрытые электроды, положительные факторы, качество, сырье

Производство сварочных материалов в России, в первую очередь покрытых электродов, развивается достаточно успешно. Известно, что применение сварочных материалов коррелирует с потреблением стали, а так как по последнему показателю Россия существенно (более чем в 2 раза) отстает от экономически развитых стран, то соответственно следует оценивать и перспективы отечественного рынка стали и сварочных материалов [1].

Согласно данным Росстата, выпуск сварочных электродов в 2007 г. по сравнению с 2006 г. вырос на 10,2 % и составил 183,6 тыс.т. Электроды по-прежнему составляют основную долю сварочных материалов (около 78 %), что соответствует уровню механизации сварочных процессов в Индии. Выпуск сварочной проволоки (помимо учтенной в составе электродов) составляет 35 тыс. т, флюсов — 17 тыс. т и порошковой проволоки — 5 тыс. т. Видно, что соотношение долей различных сварочных материалов далеко от современного уровня развития сварочной техники. Можно отметить, что в развивающемся Китае доля ручной дуговой сварки снизилась уже до 63,4 % [2]. Ситуация со сварочными флюсами улучшается благодаря организации их производства на заводе «ЭСАБ-СВЭЛ» в С.-Петербурге, а также намечающемуся запуску в 2009 г. второй очереди производства керамических флюсов на Челябинском трубопрокатном заводе с доведением объема выпуска флюсов до 14 тыс. т в год. Выпуск омедненной сварочной проволоки возрос на 11 тыс. т в год в связи с пуском в 2008 г. линии на Орловском заводе «Северсталь-метиз». По оценке транснациональной консалтинговой компании «Frost and Sullivan» основным сегментом рынка сварочной техники в России являются сварочные

материалы, которые в стоимостном выражении составляют 65 % его объема [3].

Положительную динамику роста объемов выпуска электродов демонстрируют ведущие электродные предприятия, расположенные в различных регионах страны (таблица). Суммарный объем выпуска этих предприятий составляет 93...96 % общегосударственного. Особенно отрадно, что рост происходит, несмотря на закрытие в последние годы целого ряда длительно функционировавших электродных производств, в том числе крупных (10...60 тыс. т в год). Большинство закрытых производств являлись высокзатратными, технически устаревшими и выпускали низкокачественную массовую продукцию, спрос на которую постоянно уменьшался. Однако имеющих на сегодня мощностей, в том числе вновь введенных и модернизированных, вполне достаточно для обеспечения существующей потребности в электродах. Доля импортных электродов на российском рынке невелика и в 2006 г. составила 13,6 тыс. т (8,2 %) [4].

В то же время произошло укрепление ряда предприятий средней мощности (до 10 тыс. т в год), отличающихся большой мобильностью и возможностями диверсификации производства (Сычевский электродный завод, Электродный завод, С.-Петербург, Межгосметиз-Мценск, СЗСМ, Волгодонский электродный завод и др.), а также небольших заводов, выпускающих спецэлектроды (Завод сварочных материалов, г. Березовский), «Электрод Сервис», Московская обл. и др.), занимающихся постоянной модернизацией производства.

За последнее время существенно уменьшился средневзвешенный диаметр как выпускаемых и применяемых электродов, так и легированной сварочной проволоки для механизированной сварки (доля проволоки 0,8...1,6 мм составляет 64 %).

Положительным фактором, способствующим повышению качества выпускаемых сварочных материалов, послужил переход высококвалифицированных кадров с опытом работы из вузов и НИИ



непосредственно на производство: ЗСМ (группа кандидатов технических наук под руководством А. Н. Балина, ЛЭЗ (проф. Ю. М. Белов), ЛОЭЗ (канд. техн. наук И. С. Иоффе) и др.

К другим положительным тенденциям, проявляющимся на внутреннем рынке России, следует отнести улучшение точности изготовления, качества зачистки торцов, внешнего вида и упаковки электродов, внедрение их поштучной маркировки, увеличение объемов выпуска сварочной омедненной проволоки на еврокасетах с рядной послойной намоткой и пр.

Несомненно важным является также увеличение ассортимента источников питания и улучшение их характеристик, расширяющих технологические возможности существующей номенклатуры электродов.

Все изложенное выше сегодня обеспечивает доминирование на внутреннем рынке продукции российских производителей при достаточно низкой доле импорта. Однако накопленные в производстве сварочных материалов проблемы, частично перешедшие из предыдущего времени, а также вновь появившиеся, требуют периода оперативного разрешения для поддержания национального производителя.

Одним из самых серьезных моментов для изготовителей и потребителей электродов является идентификация товара для обнаружения и (или) предупреждения фальсификации. В сварочной технике различные электроды известны, главным образом, по своим марочным наименованиям, которые установлены технической документацией организаций-разработчиков (изготовителей). В бывшем СССР и на постсоветском пространстве в буквенном обозначении марки электродов в закодированном и не охраняемом законом виде, как

правило, представлено наименование организации-разработчика, который в большинстве случаев не является изготовителем. По существовавшему законодательству передача нормативно-технической документации от разработчика к изготовителю чаще всего осуществлялась безвозмездно — «в порядке оказания технической помощи». Поэтому электроды серий АНО, МР, ОЗС, ОЗЛ, ЦТ, ЭА и т.д. в настоящее время выпускают, как правило, без надзора разработчиков. Более того, известны случаи, когда документация на электроды, иногда даже в виде сборников, распространяется на рыночной основе посторонними организациями и физическими лицами. Кроме того, проводимая предприятиями-изготовителями без ведома организаций-разработчиков модернизация существующих марок направлена, главным образом, на снижение себестоимости электродов, а часто в ущерб их качественным характеристикам. В результате этого, а также из-за существенной разницы в техническом уровне различных производств, выпускающих формально электроды одних и тех же марок, электроды, имеющие одинаковое марочное наименование, но изготовленные разными производителями, могут существенно отличаться по своим свойствам. Хотя к настоящему времени часть этих фирменных наименований в России (и Украине) запатентованы (причем далеко не всегда авторами или их законными представителями), на практической деятельности изготовителей это никак не отразилось [5].

С целью идентификационного выделения своей продукции среди аналогичной ряд предприятий в настоящее время вводит двойные марочные наименования, дополненные обозначениями заводов. Идет также цивилизованный процесс появления настоящих фирменных брендов.

Изготовители электродов в своей практической деятельности неоднократно сталкиваются с фальсификацией поставляемых сырьевых материалов и сварочной проволоки (замена сортов и марок, подделка сертификатов качества и происхождения и т. д.) Но и сами изготовители электродов из коммерческих соображений могут поставлять фальсифицированные электроды (более дешевые ильменитовые под видом рутиловых, с существенно измененным по сравнению с присущим марке составом покрытия, изготовленные на проволоке, не соответствующей нормативной документации и т. д.). Применительно к электродам, являющимся ответственным видом продукции, обеспечивающим надежность и безопасность свариваемых объектов, та-

Выпуск электродов в России по регионам, тыс. т

Регионы	2005	2006	2007	2007/2006, %
Россия, всего, в т. ч.	158,1	166,6	183,6	110,2
г. Москва	31,6	36,4	43,9	120,5
Орловская обл.	26,3	33,3	31,8	95,3
г. С.-Петербург	15,7	18,4	23,1	125,4
Ростовская обл.	12,5	16,7	17,6	105,7
Челябинская обл.	13,4	12,1	13,1	108,4
Костромская обл.	6,0	8,0	10,0	124,2
Тюменская обл.	10,0	9,9	9,3	93,6
Смоленская обл.	5,2	5,7	6,6	114,3
Свердловская обл.	5,6	4,2	5,8	136,6
Нижегородская обл.	3,8	4,9	4,8	97,5
Пензенская обл.	3,8	3,7	3,9	104,3
Курганская обл.	3,4	3,2	2,9	89,8
Московская обл.	2,5	2,4	2,6	106,1



кая фальсификация недопустима. Тем более, что на предприятиях, не располагающих специалистами достаточной квалификации и необходимым контрольно-испытательным оборудованием, изменения в известные марки вносят, ориентируясь часто на внешние признаки электродов и только некоторые из показателей их сварочно-технологических свойств. Проблема фальсификации характерна для всего рынка России и СНГ в целом, борьбу с ней необходимо вести в первую очередь законодательно на государственном уровне.

В то же время фальсификацию не следует путать с «товарами-заменителями». Например, электроды с ильменитовым покрытием являются полноценной продукцией, в ряде сфер применения успешно заменяют рутиловые электроды, но на их маркировке, в сертификатах, товаросопроводительных и информационных документах должно быть указано их подлинное наименование, а цена соответствовать их качеству и происхождению.

По данным упомянутой ранее консалтинговой компании «Frost and Sullivan» расходные материалы российского производства лишь несколько уступают зарубежным по сварочно-технологическим свойствам и дизайну, но их более низкая цена является ключевым конкурентным преимуществом на весьма чувствительном к цене рынке РФ (сами российские изготовители и потребители считают эту разницу более существенной). Однако это преимущество теряется вследствие значительного повышения цен, в первую очередь на металл. Так, с апреля 2008 г. ведущие металлургические компании РФ — Северсталь, Мечел, Магнитогорский и Новолипецкий меткомбинаты в очередной раз резко повысили цены на металлопрокат (в среднем на 35...40 %), ссылаясь на повышение стоимости сырья. Между тем большинство российских металлургических компаний, являясь вертикально интегрированными структурами, располагает значительными собственными запасами железной руды. Так, НЛМК обеспечен рудой на 96, Евраз и Северсталь на 80 % [6].

«Металлургический фактор» может оказать самое негативное влияние на состояние российской экономики в целом, в том числе на сварочные материалы. В подобных случаях государство имеет право и обязано вмешаться и взять ситуацию под контроль. Эффективность такого вмешательства видна на общеизвестном примере Мечела.

Естественно, что и производители сварочных материалов были вынуждены поднять цены. Однако ценовая политика разных производителей существенно различна. Так, анализ цен на электроды трех ведущих заводов показывает повышение цен на электроды общего назначения на 27; 24 и 16 %, а на высоколегированные электроды (вслед за це-

ной никеля) у двух заводов цена снизилась примерно на 6 %, а у третьего выросла на 23 %.

Подчас можно услышать утверждения, что недостатки отечественных электродов связаны с «устаревшими формулами покрытий», т. е. с их составами [7]. По нашему мнению, это справедливо лишь для электродов узкого назначения, например, для сварки корневых слоев швов стыков магистральных трубопроводов. При соблюдении отработанных годами составов и технологии изготовления российские электроды по качественным показателям достаточно конкурентоспособны. Об этом, в частности, свидетельствует успешная работа в России предприятия «ЭСАБ-СВЭЛ» (С.-Петербург) со 100 % шведским капиталом, выпускающего наряду с электродами серии ОК и российские марки электродов серий УОНИ, ОЗС и др., и наращивающего объемы.

Главная проблема в обеспечении конкурентоспособности электродов связана со стабильностью их качества. Именно нестабильность качества, присущая продукции многих заводов и связанная в основном с их низким техническим уровнем, резко снижает конкурентоспособность отечественных электродов. Давно известно, что технология изготовления электродов оказывает непосредственное и часто решающее влияние на физические и металлургические процессы, протекающие при образовании сварного шва, а следовательно, на качество швов и на сварочно-технологические свойства электродов. Положительные свойства любой хорошей марки электродов могут быть сведены к нулю, если не будут удовлетворительно разрешены вопросы технологии их промышленного изготовления. Правильное решение этих вопросов имеет в настоящее время большее значение, чем редко оправданное «изобретательство» бесконечного числа новых или «модернизация» существующих марок электродов» [8]. Это утверждение справедливо и в наши дни.

Среди показателей, определяющих технический уровень производства, весьма существен фактор уровня квалификации рабочих основных специальностей и инженерно-технического персонала. Особенно это болезненно для производств сварочных материалов, где обучение персонала и в советское время, и теперь ведется только непосредственно на заводах при отсутствии современной литературы. В определенной мере снижению остроты этой проблемы будет способствовать выход в свет монографии «Производство электродов для дуговой сварки» [9].

Даже при высокой квалификации персонала свести влияние человеческого фактора к минимуму можно только путем рациональной автоматизации управления технологическими операциями и технологическим процессом в целом. При имеющемся уровне развития электродных заводов



и их финансовом состоянии одноэтапная комплексная автоматизация всего производства представляется нерациональной даже для крупных заводов. Более эффективным является процессный подход к автоматизации производства согласно одному из основополагающих принципов ИСО 9000. Автоматизация отдельных технологических переделов, т.е. локальных процессов, кроме «плюсов», полученных от возможности контроля и управления ими в реальном времени, существенно повышает стабильность параметров и качество продукции. Такой поэтапный подход, учитывающий задачи и текущие возможности конкретного предприятия и создающий условия для автоматизации предприятия в целом, позволяет оперативно получать реальную выгоду от внедрения конкретного этапа [10].

Практическая реализация с высокой степенью надежности большинства технологических операций требует существенного повышения качества исходного сырья или технологии его предварительной подготовки на заводе-изготовителе сварочных материалов. Однако задача обеспечения сырьевыми материалами и ферросплавами требуемого качества является проблемной в течение многих лет. Это вызвано как общей ситуацией в сырьевых и перерабатывающих отраслях [11], так и малыми объемами применения компонентов, повышенными требованиями к ним производителей сварочных материалов, отсутствием единых подходов различных производителей электродов, многие из которых идут по пути наименьшего сопротивления, соглашаясь на использование низкокачественных материалов. Большинство электродных предприятий занимает выжидательную позицию и не инвестирует не только в исследование новых материалов, но и в их внедрение. Последовательную работу по расширению сырьевой базы производства сварочных материалов ведут, пожалуй, только в ЦНИИКМ «Прометей» [12, 13].

Без решения «сырьевой» проблемы невозможно ни обеспечение стабильного качества, ни повышение общего уровня сварочно-технологических свойств электродов, по показателям которых российские электроды (как и СНГ в целом) уступают лучшей рыночной продукции. Именно работы по повышению и стабилизации сварочно-технологических свойств становятся центральной задачей отечественных производителей сварочных материалов.

1. Сидлин З. А. Электродное производство в России // Свароч. пр-во. — 2005. — № 10. — С. 35–37.
2. *SVETA-2007* / V. N. Bernadsky, O. K. Makovetskaya. — Kyiv: PEWY, 2007. — 108 p.
3. Российский и украинский рынки сварочной техники по оценке компании Frost and Sullivan // Сварщик. — 2006. — № 3. — С. 4.
4. Бунакова О., Хазанов Л. Ювелиры метизного профиля // Металлоснабжение и сбыт. — 2008. — № 1. — С. 86–88.
5. Сидлин З. А. К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки // Свароч. пр-во. — 2007. — № 12. — С. 32–34.
6. Малеев В. Светлое будущее откладывается // Известия. — 2008. — 8 апр.
7. Иоффе И. С., Гаврилин Ю. М. Повышение конкурентоспособности российских электродов // Свароч. пр-во. — 2004. — № 7. — С. 50–51.
8. Соколов Е. В. Электроды с качественным покрытием и их производство // Автоген. дело. — 1950. — № 11. — С. 26–30.
9. Сидлин З. А. Производство электродов для дуговой сварки. — М.: ООО «ЦТТ ИЭС им. Е. О. Патона», 2008.
10. Сидлин З. А., Гольдинберг П. И., Ветров Д. В. Автоматизация производства сварочных материалов — повышение стабильности качества // Свароч. пр-во. — 2008. — № 2. — С. 37–39.
11. Сырьевая и топливная база черной металлургии / Л. И. Леонтьев, Ю. С. Юсфин, Т. Я. Малышева и др. — М.: Академкнига, 2007. — 304 с.
12. Титановое и титаноредкометаллическое сырье Кольского полуострова как источник традиционных и новых сварочных материалов / А. И. Николаев, Л. Г. Герасимова, В. Б. Петров и др. // Свароч. пр-во. — 2004. — № 9. — С. 45–49.
13. Характеристика сырьевой базы Мурманской области, компонентов электродных покрытий и флюсов для сварки / А. И. Николаев, В. Б. Петров, Ю. В. Плешаков и др. // Там же. — 2008. — № 5. — С. 32–36.

The current status of welding consumables production in Russia is considered. Positive tendencies in this economic sector over the recent years are noted. Alongside these, there are also problems associated with falsification in the welding consumables market, ensuring their stable quality, service personnel qualifications, and need to improve the raw material quality.

Поступила в редакцию 17.11.2008

К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ИЗ РУЛОННЫХ ЗАГОТОВОК

А. Ю. БАРВИНКО, Ю. П. БАРВИНКО, В. М. ГОЛИНЬКО, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

В историческом аспекте рассмотрено развитие способа и технологии сооружения вертикальных цилиндрических резервуаров с применением крупногабаритных рулонных заготовок. Изложены его достоинства, недостатки и перспективы дальнейшего применения.

Ключевые слова: рулонная заготовка, сварные резервуары, монтажный шов, угловые деформации, геометрическая форма стенки

60 лет назад на нефтебазе в г. Киеве был сооружен первый вертикальный цилиндрический резервуар вместимостью $V = 240 \text{ м}^3$, днище и стенка которого смонтированы из рулонных заготовок путем принудительного их разворачивания на монтажной площадке. Идея монтажа стенки и днища резервуаров из габаритных для железнодорожных перевозок рулонных заготовок предложена в ИЭС им. Е. О. Патона д-ром техн. наук Г. В. Раевским в 1944 г. [1] и успешно воплощена в заводских условиях в 1948 г. при строительстве резервуара в г. Киеве (рис. 1). С учетом полученных результатов в г. Куйбышеве и г. Саратове были сооружены довольно простые по конструкции установки для изготовления рулонных заготовок с применением односторонней автоматической сварки под флюсом, что позволило уже в 1952 г. смонтировать способом рулонирования (новый способ сооружения резервуаров) 152 резервуара [2]. В разработке этого способа и его широком внедрении в производство принимали участие специалисты ИЭС им. Е. О. Патона, Министерства нефтяной промышленности и Минмонтажспецстроя СССР. В 1958 г. за разработку и внедрение индустриального способа строительства резервуаров для хранения нефти из плоских полотнищ, сворачиваемых в рулоны, А. Е. Игнатченко, Г. В. Раевскому (руководители работ), Е. К. Алексею В. М. Дидковскому, О. М. Иванцову, В. С. Корниенко, В. С. Ляхову, Б. В. Поповскому присудили Ленинскую премию.

Потребность страны после войны в кратчайшие сроки восстановить разрушенную промышленность способствовала интенсивному внедрению способа рулонирования. Фактически заново создавались резервуарные парки для хранения

нефти и нефтепродуктов. В условиях, когда остро ощущалась нехватка квалифицированных сварщиков и грузоподъемных кранов, когда из-за погодных условий зимой невозможно было выполнять сварочные и монтажные работы, разворачивание непосредственно на строительной площадке свернутой в рулон стенки (или ее части) и днища стало в резервуаростроении значительным шагом вперед.

Выполнение операций сборки и сварки основных конструкций на заводе с применением автоматической сварки под флюсом позволило существенно повысить их качество и сократить сроки изготовления. Монтажные организации успешно освоили сооружение из рулонных заготовок резервуаров вместимостью до 5 тыс. м^3 включительно с толщиной стенки до 10 мм [3].

В 1960–1970-е годы в связи с резким увеличением объемов транспортировки сибирской нефти в европейскую часть Советского Союза способ рулонирования получил дальнейшее развитие. Правительством страны была поставлена задача в кратчайшие сроки построить заводы по переработке нефти и магистральные нефтепроводы для ее транспортировки, и на всех этих предприятиях необ-



Рис. 1. Первый сварной резервуар вместимостью 240 м^3 , сооруженный способом рулонирования на нефтебазе Укрнефтеснаб в 1948 г. в г. Киеве



ходимо было смонтировать большие резервуарные парки вместимостью $V = 5, 10, 20$ и 50 тыс. м^3 . Изготовление рулонных заготовок с применением сталей повышенной и высокой прочности толщиной до 17 мм требовало создания нового поколения станков для их сварки и сворачивания, а также разработки технологии монтажа стенки резервуара значительной толщины.

На построенных новых станах операции подачи листа и сборки полотнищ были полностью механизированы. Технология двусторонней автоматической сварки при общем пневматическом прижиме кромок обеспечивала хорошее качество швов при толщине листов до 17 мм включительно без разделки кромок [3]. Только на одном заводе, оборудованном такими станами, в течение года можно было изготовить рулонные заготовки для 240 резервуаров $V = 10$ тыс. м^3 (рис. 2), что позволяло выполнять монтаж практически всех резервуаров вместимостью до 50 тыс. м^3 включительно способом рулонирования.

В 1970–1980-е годы в период интенсивного строительства резервуаров большой вместимости из рулонных заготовок с применением сталей повышенной и высокой прочности стало очевидным отставание в проведении исследований по эксплуатационной надежности стенки рулонизируемых резервуаров в течение гарантированного срока эксплуатации (20 лет). Как следствие, на в вертикальных монтажных стыках стенки многих резервуарах ($V = 20$ и 50 тыс. м^3) после 10–12 лет эксплуатации стали появляться усталостные трещины. Основной причиной их возникновения были значительные угловые деформации [4] и малоцикловое нагружение стенки. Для резервуаров $V = 20$ тыс. м^3 разработана специальная инструкция усиления монтажных стыков стенки при появлении в них трещин [5]. Локальное усиление стенки предлагалось выполнять путем приварки в стыках горизонтальных ребер. Однако в условиях малоциклового нагружения это нередко приводило к разрушению угловых швов, с помощью



Рис. 2. Стан для производства крупных сварных рулонизируемых полотнищ, построенный на Новокузнецком заводе резервуарных металлоконструкций в 1974 г.

которых ребра крепились к стенке, поэтому от рекомендаций указанной инструкции вскоре отказались.

Угловые деформации в стыке являются следствием наличия вдоль вертикальных кромок полотнищ рулонов прямолинейных участков стенки. Придание им по всей высоте кривизны, близкой к проектной кривизне стенки резервуара, в условиях монтажной площадки оказалось весьма сложной задачей. Велись поиски необходимых технических решений, позволяющих получать монтажные стыки с допускаемой угловой деформацией [6]. Однако на сегодня не существует приемлемой технологии выполнения монтажных вертикальных стыков на рулонных заготовках с учетом действующих норм [7, 8] при толщине поясов более 10 мм без применения дополнительных конструктивных элементов.

С учетом наличия в нефтепарках страны большого количества рулонизированных резервуаров ($V = 10, 20$ и 50 тыс. м^3) по заданию Миннефтепрома СССР в 1987/1988 г. в ИЭС им. Е. О. Патона выполнены исследования с целью оценки остаточного ресурса вертикальных монтажных стыков стенки из сталей ВСтЗсп5, 09Г2С-12 и 16Г2АФ при наличии в них угловых деформаций (стрелка прогиба f при шаблоне длиной 500 мм составляет до 20 мм). Полученные результаты вошли как рекомендуемые в нормы на выполнение монтажа резервуаров из рулонных заготовок [9]. Результаты исследований показали существенное уменьшение (особенно для сталей 09Г2С и 16Г2АФ) количества циклов нагружения до появления усталостных трещин при увеличении стрелки прогиба. Так, при изменении значений f с 5 до 10 мм для стали 09Г2С и с 2 до 4 мм для стали 16Г2АФ количество циклов нагружения до появления визуально наблюдаемой трещины уменьшилось с 10×10^3 до 5×10^3 . Полученные результаты использованы при разработке новых нормативных документов на монтаж резервуаров [7, 8].

На достижение проектной геометрической формы стенки резервуаров при применении рулонных заготовок, помимо угловых деформаций, влияет еще один фактор. После сборки и сварки на стенде полотнищ размером до 18×32 м и массой до 50 т они имеют геометрическую форму, близкую к прямоугольнику. После установки рулонов в вертикальное положение под действием веса рулона происходит локальное проседание его основания. С уменьшением массы рулона при его разворачивании будет уменьшаться также осадка основания под ним (рис. 3). С учетом допуска на разность отметок фундамента до 15 мм [10] в процессе разворачивания нижняя кромка полотнища приобретает криволинейную форму. Такое изменение геометрической формы кромки при-



Рис. 3. Сооружение резервуара вместимостью 50 тыс. м³ из сварных рулонных заготовок (1974 г.)

водит к появлению на нижних, более толстых, поясах обширных пологих выступов и вмятин, глубина которых в большинстве случаев не превышает допустимую. На верхних, более тонких поясах, образуются горизонтальные складки (гофры) и вмятины, которые при сливе–наливе продукта резко изменяют свою форму путем «прохлопывания», что может привести к разрыву стенки.

Приведенные выше недостатки, а также требования новых украинских норм [7] к толщине стенки и ее геометрической форме привели к тому, что в настоящее время в Украине фактически все резервуары с толщиной нижних поясов 10 мм и более сооружаются из отдельных листов. Благодаря применению листов размером до 8,0×2,5 м существенно уменьшается объем сварочных работ на строительной площадке. При этом фактические отклонения геометрической формы стенки часто в 2,0...1,5 раза меньше нормативных.

Поскольку к 2000 г. большинство резервуаров вместимостью $V = 20$ и 50 тыс. м³, построенных с применением рулонных заготовок, отработали свой нормативный срок эксплуатации (20 лет) в условиях малоциклового нагружения, и все вертикальные монтажные сварные соединения стенки практически исчерпали свой ресурс работоспособности, в ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология замены монтажных стыков по всей высоте стенки [11]: последовательно вырезают участки стенки с вертикальным швом и вместо них вваривают специальные вставки. Геометрическая форма вставок, подготовленных под сварку, учитывает наличие преднапряжения стенки и особенности выполнения сварки в условиях жесткого контура. После вваривания вставок вертикальные монтажные соединения превращаются в рядовой участок стенки со смещенными верти-

кальными швами в пределах пояса или укрупненных вставок и отвечают требованиям нормативных документов [7, 8].

Достоинства способа рулонирования позволили ему и в современных условиях производства найти свое применение. Это большой парк резервуаров с максимальной толщиной стенки до 10 мм вместимостью $V \leq 5$ тыс. м³. Кроме того, рулонные заготовки с толщиной листов до 6 мм включительно успешно используют для монтажа днищ резервуаров большой вместимости.

В связи с тем, что в новых нормах России сохранена прежняя толщина стенки резервуаров [8], наряду со строительством емкостей из отдельных листов в этой стране находит применение и способ рулонирования. При этом монтажный стык выполняют не в одну линию, а в виде «гребенки» со смещением вертикальных соединений в прилегающих поясах на расстояние $8t$ (где t — наибольшая из толщин листов прилегающих поясов). Для повышения жесткости участков верхних поясов стенки, примыкающих к монтажному шву, в отдельных случаях устанавливают дополнительные конструктивные элементы.

1. Раевский Г. В. Изготовление стальных вертикальных цилиндрических резервуаров методом сворачивания. — М.; Л.: Гостоптехиздат, 1952. — 116 с.
2. Рулонирование листовых конструкций / Под ред. Л. Л. Зильберберга. — М.: Техн. управление ЦБТИ, 1962. — 159 с.
3. Билецкий С. М., Голинько В. М. Индустриальное изготовление негабаритных сварных листовых конструкций. — Киев: Наук. думка, 1983. — 271 с.
4. О допусках на угловые деформации вертикальных сварных стыков в резервуарах вместимостью 10...50 тыс. м³ / Ю. П. Барвинко, С. М. Билецкий, В. М. Голинько и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 20–23.
5. РД-39-30-1331–85. Инструкция по усилению вертикальных монтажных стыков стенок резервуаров РВС-2000. — Введ. 01.01.86.
6. Поповский Б. В., Ритчик Г. А. Обеспечение геометрической формы стенок рулонных резервуаров в зонах монтажных стыков // Монтаж. и спец. работы в стр-ве. — 1986. — № 11. — С. 11–15.
7. ВБН В.2.2-58.2–94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів. — Чинний з 01.10.94.
8. ПБ 03-605–2003. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. — Введ. 09.07.03.
9. ВСН 311–89. Монтаж стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов от 10000 до 50000 м³. — Введ. 01.01.90.
10. СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции. — Чинний з 01.06.88.
11. Махненко В. П., Барвинко А. Ю., Барвинко Ю. П. Оценка напряженного состояния стенки рулонированных вертикальных цилиндрических резервуаров при вваривании листов–вставок // Автомат. сварка. — 2002. — № 5. — С. 3–8.

The historical aspect of introduction and development of the method of construction of vertical cylindrical tanks with application of large-sized coiled billets is considered. The advantages, disadvantages and prospects for further application of the method are considered.

Поступила в редакцию 18.11.2008



ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МЕТАЛЛА ШВОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ С 9 % Cr

В. Ю. СКУЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, **А. Р. ГАВРИК**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проанализирован характер изменения фазового состава металла швов типа 10X9МФБ в зависимости от содержания в нем углерода. Установлено, что однофазная мартенситная структура швов обеспечивается при концентрации в них углерода не менее 0,085 %. Уменьшение содержания углерода ниже указанного предела ведет к образованию в структуре швов δ -феррита.

Ключевые слова: дуговая сварка, вольфрамовый электрод, присадка, мартенситная сталь с 9 % Cr, металл шва, углерод, фазовый состав, образование δ -феррита

Для сварки теплоустойчивой стали 10X9МФБ применяются сварочные материалы, обеспечивающие легирование металла шва, аналогичное основному металлу. При ручной дуговой сварке покрытыми электродами и автоматической сварке под флюсом швы, как и основной металл, имеют мартенситную структуру. Однако при сварке ТИГ (неплавящимся электродом в аргоне с присадочной проволокой типа 10X9МФБ) наблюдалось изменение фазового состава шва — в мартенситном металле появлялись светлые участки δ -феррита. Отличительной особенностью δ -феррита в металле данного типа является низкая твердость в состоянии после сварки (HV 0,2 — 190...200 у δ -феррита и около HV 415 у мартенсита), такая же твердость и отсутствие в нем карбидных выделений после отпуска, что свидетельствует об обезуглероживании и отсутствии у этой фазы склонности к закалке [1]. Известно, что с образованием δ -феррита в мартенситных хромистых сталях и в их сварных соединениях связаны снижение высокотемпературной пластичности, ударной вязкости и склонность к образованию холодных трещин [2–5]. Хотя считалось допустимым присутствие в мартенситном металле до 10...15 об. % феррита [2, 4], результаты релаксационных испытаний нагруженных сварных соединений стали с 9 % Cr показали, что наличие весьма тонких прослоек мягкого δ -феррита в мартенситных швах ведет к образованию трещин при термической обработке [6, 7]. Для снижения риска трещинообразования, а также улучшения механических свойств металла швов следует исключать образование в них δ -феррита, обеспечивая получение однородной мартенситной структуры. Такое же мнение высказывалось авторами работы [8].

Из диаграмм состояния железохромистых систем [2] следует, что на образование δ -феррита существенное влияние оказывает изменение содержания углерода: со снижением концентрации углерода возрастает стабильность δ -феррита, что может привести к увеличению его доли в результирующей структуре мартенсита. Подобный эффект наблюдается при сварке ТИГ, что экспериментально установлено авторами данной работы и описывается в литературе. Так, в работе [9] отмечается, что проблемой сварки ТИГ стали Р91 с 9 % Cr (типа 10X9МФБ) является «сильное выгорание углерода» до уровня менее 0,08 % и ухудшение свойств швов. Механизм этого явления не рассматривается, однако можно предположить, что причина потери швом углерода может быть связана с его испарением при сконцентрированном перегреве расплава дугой с высокой плотностью тока, что характерно для горения дуги в инертных газах, а также с его частичным окислением за счет примеси кислорода в защитном газе [10].

Цель работы заключалась в определении минимального содержания углерода в металле швов при сварке мартенситной стали типа 10X9МФБ, при котором обеспечивается отсутствие в них δ -феррита.

В работе использовано явление снижения содержания углерода в металле шва при сварке ТИГ. С помощью ТИГ процесса производили заполнение V-образных канавок глубиной 6 мм в пластинах стали Р91 (X10CrMoVNb91 типа 10X9МФБ) толщиной 14 мм с использованием присадочных прутков подобного химического состава. Погонную энергию q/v изменяли примерно от 15 до 30,8 кДж/см путем варьирования силы тока от 120 до 250 А при скорости сварки примерно 2,16...2,6 м/ч. После сварки определяли содержание углерода и количество δ -феррита в швах. Для лучшего выявления δ -феррита образцы швов подвергали высокому отпуску. Долю ферритной фазы оценивали путем много-

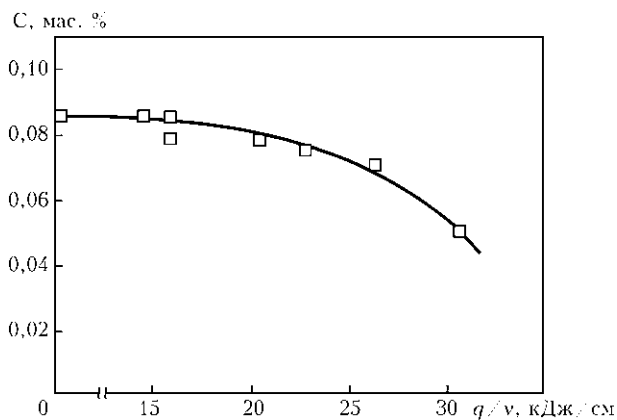


Рис. 1. Изменение содержания углерода в металле швов при сварке стали типа 10Х9МФБ с использованием ТИГ процесса

кадрового панорамного фотографирования микроструктуры в поперечном сечении швов в направлении секущих от одного края шва до другого с последующим подсчетом с помощью масштабных сеток площадей, занимаемых ферритными участками в матрице отпущенного мартенсита; после усреднения результатов всех замеров получали приблизительное содержание феррита в шве.

В результате выполненных экспериментов установлено, что увеличение погонной энергии при сварке ТИГ ведет к уменьшению содержания углерода в металле швов (рис. 1). При значении $q/v \sim 14...15$ кДж/см потери углерода незначительны, остаточное его количество в шве (около 0,087 %) мало отличается от исходной концентрации в присадочном материале. Интенсивное снижение содержания углерода происходит при сварке с $q/v > 20$ кДж/см. Режимы с такой погонной энергией следует исключать. Приемлемыми, с точки зрения ограничения значительных потерь углерода швом, можно считать режимы сварки ТИГ с погонной энергией не более 13...15 кДж/см.

Снижение содержания углерода приводит к образованию δ -феррита в наплавленном металле. Металлографические наблюдения показали, что δ -феррит в швах распределяется неравномерно. В одном и том же шве можно было встретить участ-

тки, ограниченные полем зрения микроскопа, как без δ -феррита (либо с малой его долей), так и с достаточно большим его локальным количеством (рис. 2). С повышением содержания δ -феррита в шве увеличивались размеры ферритных участков, что также видно на рис. 2. Большая доля феррита обычно образовывалась в верхней части швов в завершающих валиках и в области активного пятна, где, вероятно, степень снижения концентрации углерода была максимальной.

На рис. 3 приведены результаты оценки количества δ -феррита в швах в зависимости от содержания углерода. Дополнительно обозначены концентрации углерода в швах, выполненных электродами ОК 76.98 (ESAB) и Р86 (опытные, изготовленные ИЭС им. Е. О. Патона), и в стали Р91 (двух разных партий), которые имели однофазную мартенситную структуру. Из представленной зависимости следует, что отсутствие δ -феррита в шве достигается при содержании углерода не менее 0,085 %.

Углерод оказывает двойное влияние на свойства мартенситного металла. Кроме компенсации действия элементов-ферритизаторов и сдерживания образования δ -феррита, углерод является также основным элементом, упрочняющим мартенситный твердый раствор. Повышение содержания углерода ведет к возрастанию степени закалки и повышению склонности сварных соединений к образованию холодных трещин. С целью обеспечения удовлетворительной свариваемости максимальное содержание углерода в сложнолегированных мартенситных сталях, к которым относятся и стали с 9 % Cr, и в металле швов ограничивают уровнем примерно 0,12 %. Такие стали отличаются склонностью к закалке, что является одним из металлургических факторов придания им требуемых жаропрочных свойств [2]. Поэтому при их сварке для исключения образования трещин необходимо применение предварительного и сопутствующего подогрева. Минимальное содержание углерода в швах, как показано выше,

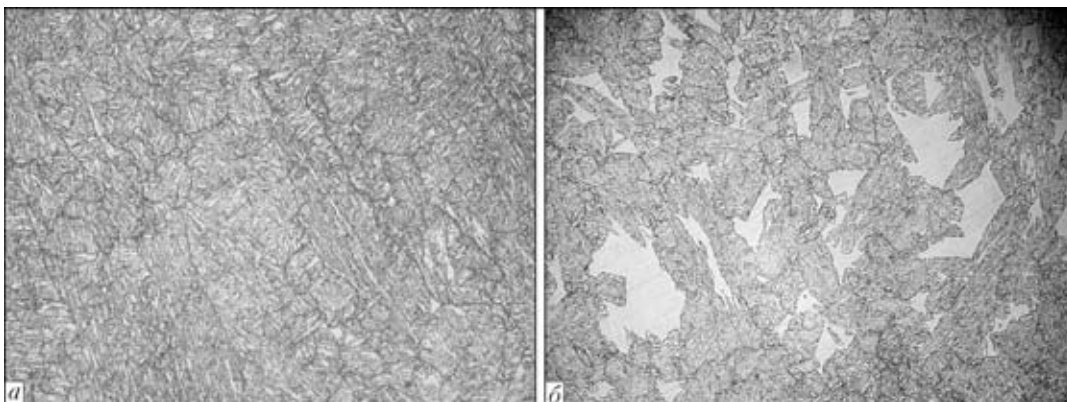


Рис. 2. Микроструктура участков швов с различным средним количеством δ -феррита, $\times 200$: а — 0,86; б — 17,1 об. %

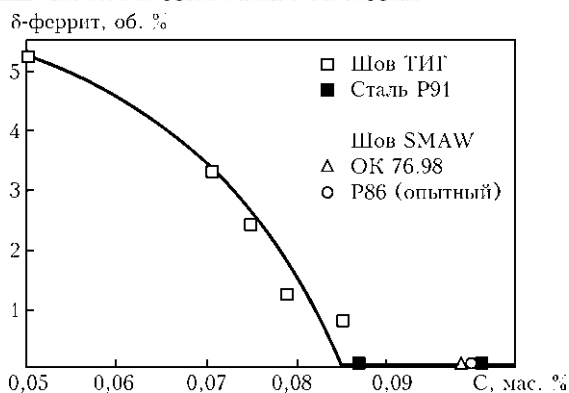


Рис. 3. Влияние углерода на содержание δ -феррита в мартенситном металле с системой легирования типа C–9Cr–Mo–V–Nb

определяется из условия сохранения однородной мартенситной структуры без δ -феррита.

Необходимо отметить, что, кроме углерода, образованию δ -феррита в металле с системой легирования C–9Cr–Mo–V–Nb препятствует никель, специально вводимый в количестве 0,4...1 % [11], а также марганец, используемый в качестве раскислителя. По степени стабилизации аустенита и уменьшения доли δ -феррита в хромистом металле углерод, по разным данным, в 10...30 раз эффективнее никеля и в 20...60 раз эффективнее марганца [2, 12]. Поэтому основное влияние на фазовый состав швов должен оказывать именно углерод. В наших экспериментах содержание никеля находилось на уровне нижнего предела, характерного для свариваемой стали P91 (примерно 0,4 %). С целью получения однофазной мартенситной структуры в условиях развития ликвационной неоднородности при кристаллизации металла швов, особенно с пониженным содержанием углерода, и получения удовлетворительной ударной вязкости следует легировать металл шва никелем на уровне, близком к верхнему пределу [13] (примерно 0,7...1 %).

В заключение следует отметить, что для исключения снижения содержания углерода в швах при сварке ТИГ стали типа 10X9МФБ следует

использовать режимы с погонной энергией до примерно 13...15 кДж/см; условием обеспечения однофазной мартенситной структуры металла швов с системой легирования C–9Cr–Mo–V–Nb является ограничение минимального содержания углерода на уровне примерно 0,085 %.

1. Скульский В. Ю. Структура металла в зоне сплавления и ЗТВ сварных соединений высокохромистых теплоустойчивых сталей // Автомат. сварка. — 2005. — № 5. — С. 15–23.
2. Ланская К. А. Высокохромистые жаропрочные стали. — М.: Металлургия, 1976. — 216 с.
3. Сварка в углекислом газе / И. И. Заруба, Б. С. Касаткин, Н. И. Каховский, А. Г. Потапьевский. — Киев: Гостехиздат УССР, 1960. — 224 с.
4. Каховский Н. И., Фартушный В. Г., Юценко К. А. Электродуговая сварка сталей. — Киев: Наук. думка, 1975. — 480 с.
5. Юферов В. М. О технологической пластичности нержавеющих и жаростойких сталей // Металловед. и терм. обработка металлов. — 1968. — № 2. — С. 17–20.
6. Скульский В. Ю., Царюк А. К., Куран Р. И. К вопросу о технологичности теплоустойчивых сталей с повышенным содержанием хрома, предназначенных для строительства энергоблоков тепловых электростанций нового поколения // Повышение надежности сварных соединений при монтаже и ремонте технологического оборудования в энергетике: Сб. тр. 2-го науч.-практ. семинара, Киев, 6–8 дек. 2005 г. — Киев: Экотехнология, 2005. — С. 15–20.
7. Скульский В. Ю., Царюк А. К., Моравецкий С. И. Оценка склонности сварных соединений теплоустойчивой хромистой мартенситной стали к образованию трещин при термической обработке // Автомат. сварка. — 2009. — № 1. — С. 5–9.
8. Zhang Z., Farrar J. S. M., Barnaes A. M. Weld metals for P91 — tough enough? — [2001]. — 19 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-A-073-00, II-1428-01).
9. Rosenbrock L. A critical overview of the welding of P91 material // Austral. Weld. J. — 2001. — 46, Second Quarter. — P. 5–8.
10. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. — Т. 1 / Под ред. Н. А. Ольшанского. — М.: Машиностроение, 1978. — 504 с.
11. Bergquist E.-L. Consumables and welding modified 9Cr–1Mo steel // Svetsaren. — 1999. — 54, № 1, 2. — P. 22–25.
12. Marshall A. W., Farrar J. C. M. Welding of ferritic and martensitic 11...14 % Cr steels // Welding in the World. — 2001. — 45, № 5/6. — P. 32–55.
13. Хойзер Г. Присадочные материалы для сварки в энергетическом машиностроении // Автомат. сварка. — 1997. — № 9. — С. 40–44, 47.

The character of variations in phase composition of the 10Kh9MFB type welds depending upon their carbon content has been analysed. It has been found that single-phase martensitic structure of welds can be provided at their carbon concentration of not less than about 0.085 %. Decrease in the carbon content to less than the above limit leads to formation of δ -ferrite in structure of the welds.

Поступила в редакцию 03.10.2008



УДК 621.791.72

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ ЗАПЛАВЛЕНИЯ УЗКИХ ПОЛОСТЕЙ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

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

Рассмотрены особенности применения гибридной лазерно-дуговой наплавки для качественного заплавления узких полостей в изделиях из алюминиевых сплавов без предварительной механической разделки. Описаны эксперименты по подбору режимов. Показана целесообразность внедрения такой технологии.

Ключевые слова: гибридная лазерно-дуговая наплавка, алюминиевые сплавы, режимы наплавки, лазерное излучение, дуга плавящегося электрода, присадочная проволока, поршень двигателя, технология наплавки

Гибридную лазерно-дуговую наплавку применяют для устранения дефектов в литых изделиях, при ремонте трещин в корпусах машин и механизмов или восстановлении изношенных в процессе эксплуатации деталей. При дуговой наплавке существует проблема качественного заплавления нижних частей узких полостей в изделиях из алюминиевых сплавов и сталей без их предварительной механической разделки. Как правило, на практике механическим способом устраняют, скругляют или делают тупыми углы в нижней части изделий, что позволяет избежать образования пор. В работе [1] предложено разработать такие технологические приемы гибридной наплавки, с помощью которых за счет влияния лазерного излучения на электрическую дугу (например, заглубление ее в узкую щель) устранялась бы необходимость в предварительной механической обработке.

Разрабатываемые способы наплавки применимы, например, при восстановлении поршней двигателей внутреннего сгорания, выполненных из алюминиевых сплавов. Часто дизельные двигатели эксплуатируются с максимальной нагрузкой и на протяжении длительного времени (тепловозные и судовые двигатели). Такие условия перегрузки отрицательно сказываются на деталях двигателей. Во время работы двигателя компрессионные кольца, установленные на поршнях, разбивают стенки канавок, в которых они находятся, что со временем приводит к выходу поршней из строя. В связи с этим существует постоянная потребность в обновлении или ремонте поршней для судовых (тепловозных) двигателей. Проблемным является также наличие запасных частей (в частности поршней) для автомобилей мелкосерийного производства.

Возникает задача восстановления, которая может быть решена различными способами, простейший из которых — дуговая наплавка, использующая дугу с плавящимся электродом (например, [2]). Однако при таком способе наплавки возникает ряд проблем: необходима предварительная разделка кромок в теле поршня; имеют место интенсивное разбрызгивание электродного металла и повышенная пористость наплавленного металла; тепловой режим дуговой наплавки алюминиевых материалов способствует формированию крупнозернистой структуры наплавленного металла, что может привести к понижению износостойкости канавок наплавленных поршней. Указанные проблемы можно устранить с помощью разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона технологии двухдуговой наплавки с использованием неплавящегося и плавящегося электродов [3]. Такой способ наплавки предусматривает очередное и раздельное формирование дуг с неплавящимся и плавящимся электродом с образованием общей ванны расплавленного металла, что исключает их электромагнитное взаимодействие, обеспечивает интенсивное перемешивание расплавленного металла и его дегазацию, позволяет получить наплавленный металл с мелкокристаллической структурой и равномерным распределением упрочняющих интерметаллидных фаз.

Наиболее приемлемым в плане промышленного применения можно считать способ наплавки и упрочнения поршней двигателей внутреннего сгорания [3], хотя на сегодня созданы и другие способы, например, плазменное упрочнение канавок поршней автомобильных двигателей [4] и электронно-лучевое восстановление поршней двигателей внутреннего сгорания [5]. На основании последней технологии в ИЭС им. Е. О. Патона разработан способ электронно-лучевой упрочняющей наплавки поршней двигателей внутреннего сгорания, который позволяет получать металл зоны упрочнения с твердостью *HB* 150...180 [6, 7]. При этом твердость упрочненного

© В. Ю. Хаскин, 2009

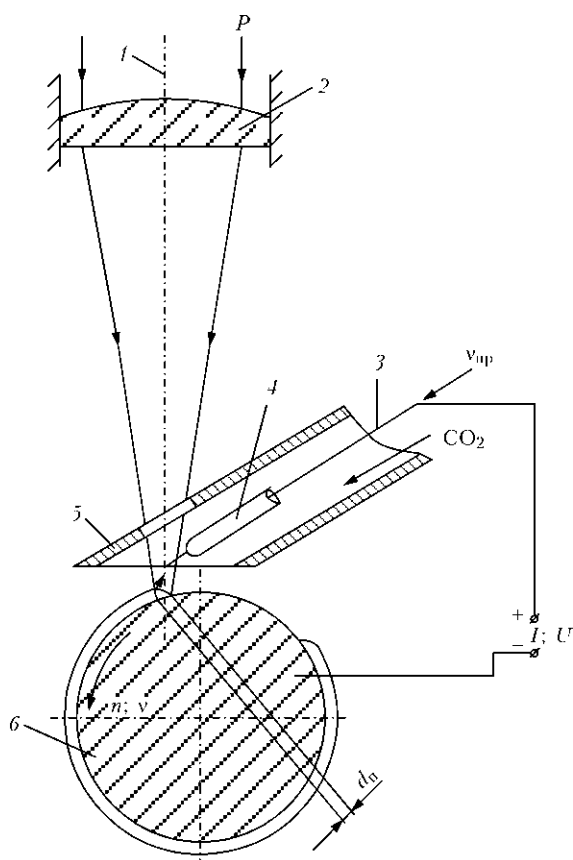


Рис. 1. Схема процесса гибридной наплавки тел вращения: 1 — лазерное излучение; 2 — фокусирующая линза; 3 — электродная (присадочная) проволока; 4 — медный мунштук; 5 — сопло для подачи защитного газа; 6 — образец; P — мощность излучения, кВт; $v_{пр}$ — скорость подачи присадочной проволоки, м/ч; n — частота вращения образца, мин⁻¹; v — скорость наплавки, м/ч; $d_{л}$ — диаметр пятна фокусирования излучения, мм; I — сварочный ток, А; U — напряжение, В

слоя при температуре 100...360 °С в 2...3 раза выше, чем основного металла поршня, что способствует повышению моторесурса поршневой группы в 1,5...2,0 раза. Однако эта технология имеет и ряд недостатков, основным из которых является необходимость использования электронно-лучевых камер, что требует чрезвычайно тщательной подготовки деталей перед наплавкой (в первую очередь их очистка от загрязнений). Кроме того, потребность в вакуумировании обрабатываемой детали уменьшает производительность процесса наплавки. Устранение указанных недостатков возможно путем замены электронного луча лазерным.

Техническая целесообразность замены описанных в работах [5–7] электронно-лучевых технологий лазерными аналогами дополняется также возможностью очистки наплавляемой канавки лазерным излучением без традиционного применения химически агрессивных сред [8]. Однако с экономических позиций (учитывая стоимость лазерной установки) такая замена вызывает опре-

деленные сомнения. В связи с этим для решения рассматриваемой задачи предлагаем использовать гибридную технологию, при которой лазерное излучение действует совместно с дугой плавящегося электрода. Использование дугового источника позволит уменьшить требуемую для наплавки лазерную мощность как минимум в 2 раза [9], а лазерное излучение даст возможность сжать электрическую дугу и опустить ее на дно канавки поршней. Как показали предварительные исследования, благодаря значительным скоростям процесса наплавки достигается его высокая производительность [10].

С целью определения возможности использования гибридной лазерно-дуговой наплавки для заплывания полостей без предварительной разделки на алюминиевых образцах с ровной поверхностью (без канавок) проводили предварительный подбор режимов наплавки, а на образцах с узкими канавками — окончательный. При этом применяли как цилиндрические (согласно представленной на рис. 1 схеме), так и плоские образцы. Для проведения экспериментов использовали стелы на базе токарного станка с подводом излучения CO₂-лазера, а также трехкоординатного манипулятора с применением излучения Nd:YAG-лазера, внешний вид которого представлен на рис. 2. В качестве образцов для экспериментов использовали как плоские пластины 200×100×10 мм (в том числе с прорезанными пазами шириной 3 мм и глубиной 5 мм), которые наплавляли на стенде, смонтированном на базе манипулятора, так и валики диаметром 50...80 мм, которые наплавляли на стенде, смонтированном на базе токарного станка. Материалом образцов был алюминиевый сплав АМг6, наплавку выполняли с помощью электродных (присадочных) проволок СвАМг6 и СвАК5 диаметрами 1,2 мм.

При наплавке образцов питание дуги плавящегося электрода осуществляли от источника TPS2700 (фирма «Фрониус», Австрия). Основное отличие гибридной наплавки от гибридной сварки [1] состояло в том, что лазерное излучение фокусировалось на поверхности наплавляемого образца в пятно диаметром $d_{л}$ около 2...3 мм за счет расфокусировки $\Delta F = +(10...15)$ мм.

В экспериментах применяли линзы из монокристаллов хлорида калия с фокусом $F = 300$ мм. В случае гибридной наплавки мощность падающего на образец непрерывного излучения CO₂-лазера составляла 1,5 кВт, а максимальная мощность импульсно-периодического излучения Nd:YAG-лазера в пике импульса $P_{max} = 3$ кВт (средняя мощность $P_{ср} = 2,3$ кВт). При лазерной наплавке использовали импульсно-периодическое излучение Nd:YAG-лазера с $P_{ср} = 3$ кВт (до 4 кВт в пике импульса). Использование импульсного излучения обусловлено необходимостью устране-

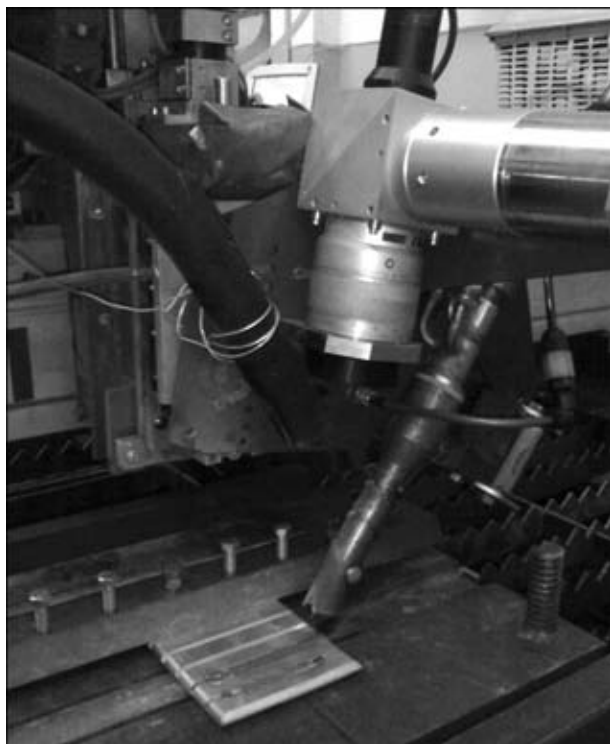


Рис. 2. Стенд для лазерно-дуговой наплавки плоских алюминиевых имитаторов поршневых канавок, выполненный на базе трехкоординатного манипулятора

ния эффекта образования аргоновой плазмы, поглощающей лазерное излучение и негативно влияющей на процесс наплавки. В качестве защитного газа при лазерной и гибридной наплавке использовали аргон и гелий, расход которых составлял 8...10 л/мин. Скорость лазерной и гибридной наплавки — 60 м/ч. Гибридную наплавку алюминиевого сплава осуществляли в импульсном режиме при токе $I = 200...230$ А и напряжении $U = 22...24$ В. Дугу плавящегося электрода подавали в хвостовую часть ванны на расстоянии до 1...3 мм от оси лазерного излучения. Угол наклона оси мундштука, подающего проволоку к оси лазерного излучения, составлял 25...35°.

Образцы наплавленных алюминиевых сплавов изучали по поперечным макрошлифам сечений, сделанным в начале, середине и конце наплав-

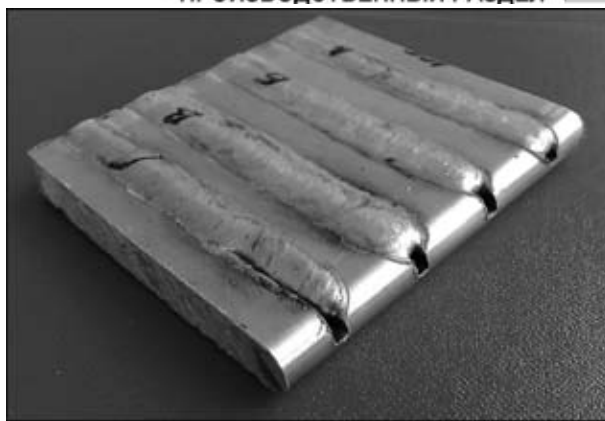


Рис. 3. Внешний вид валиков, наплавленных в канавках на образце из сплава АМг6 ($\delta = 10$ мм) с применением проволоки СвАК5 ($d = 1,2$ мм): слева направо — дуговая наплавка при $I = 210$ А, $U = 23$ В и $I = 250$ А, $U = 25$ В, две канавки — гибридная наплавка

ленных валиков. Рассмотрим подробнее полученные результаты.

Внешний вид образца из алюминиевого сплава АМг6 с наплавленными канавками показан на рис. 3. Первые две канавки на нем выполнены дуговым способом наплавки, а вторые две — гибридным. Эксперименты показали, что при использовании проволоки СвАК5 швы имеют более гладкую поверхность и нижняя часть канавки заправляется лучше, чем при применении проволоки СвАМг6 (рис. 4 и 5). Это объясняется повышенной растекаемостью последней за счет высокого содержания в ней кремния. С использованием этой проволоки выполнен показанный на рис. 5, б валик, режим наплавки которого можно считать наилучшим в условиях проводимых экспериментов. Однако с помощью гибридного способа наплавки можно достичь хорошего формирования швов и полного заправления нижней части канавок и при использовании проволоки СвАМг6 (рис. 4). Повышение сварочного тока позволяет улучшить сплавление в нижней части канавки (рис. 4, б и 5, з), но при этом происходит недопустимый перегрев образца. Отметим, что характерным дефектом дуговой наплавки узких канавок без механической разделки является несплавление

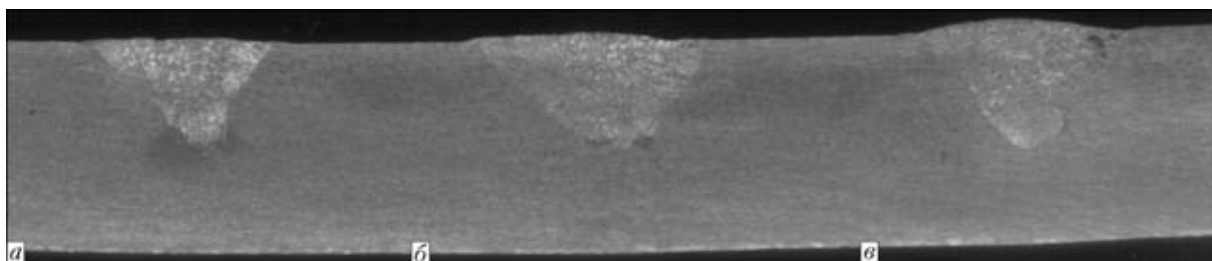


Рис. 4. Макрошлифы валиков, наплавленных в канавках на образце из сплава АМг6 ($\delta = 10$ мм) с использованием электродной проволоки СвАМг6 ($d = 1,2$ мм) со скоростью 60 м/ч в аргоне: а, б — дуговой способ наплавки соответственно $I = 200$ А, $U = 22,5$ В, $v_{np} = 12,7$ м/мин и $I = 220$ А, $U = 23$ В, $v_{np} = 15$ м/мин; в — гибридная наплавка при $P_{cp} = 2,34$ кВт ($P_{max} = 3,00$ кВт), $I = 200$ А, $U = 22,5$ В, $v_{np} = 12,7$ м/мин

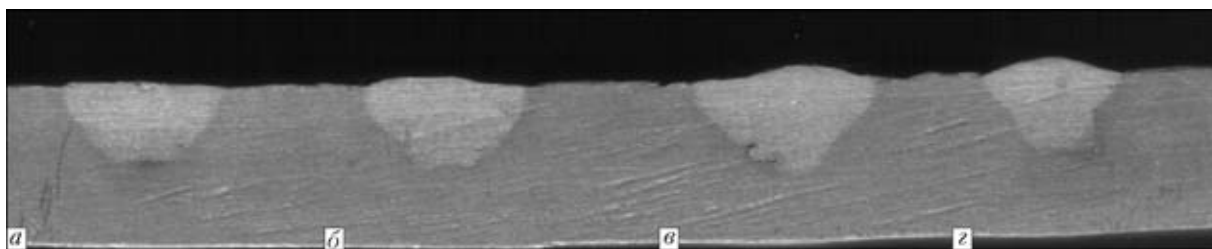


Рис. 5. Макрошлифы валиков, наплавленных в канавках на образце из сплава АМг6 ($\delta = 10$ мм) с использованием электродной проволоки СвАК5 ($d = 1,2$ мм) со скоростью 60 м/ч в аргоне: а, г — дуговой способ наплавки соответственно $I = 206$ А, $U = 22,6$ В, $v_{пр} = 12,7$ м/мин и $I = 226$ А, $U = 23,8$ В, $v_{пр} = 15$ м/мин; б, в — гибридный (соответственно $P_{ср} = 2,34$ кВт ($P_{max} = 3,00$ кВт), $I = 200$ А, $U = 22,5$ В, $v_{пр} = 12,7$ м/мин и $P_{ср} = 2,34$ кВт ($P_{max} = 3,00$ кВт), $I = 210$ А, $U = 22,8$ В, $v_{пр} = 13$ м/мин

наплавленного металла с основным в нижних их частях (рис. 3, 4, а и 5, а, г).

Для сравнения и оценки описанных результатов гибридной наплавки с использованием аналогичных материалов выполнили лазерную наплавку с теми же скоростями процесса и подачи проволоки, что потребовало повысить среднюю мощность импульсно-периодического излучения до 3 кВт. Полученная структура наплавленного металла была значительно более мелкодисперсной, чем при гибридной наплавке. Сравнение гибридного способа наплавки с лазерным показало большую локальность нагрева во втором случае, однако при этом расход энергии лазерного излучения возрастает почти вдвое и примерно во столько же раз повышается себестоимость одного погонного метра сварки. Это объясняется различиями в тепловых процессах и степени поглощения лазерного излучения при указанных двух способах наплавки. В случае гибридной наплавки экономия энергии лазерного излучения достигается за счет его хорошего поглощения металлом, расплавленным маломощной электрической дугой. При лазерной наплавке с использованием присадочной проволоки энергия излучения дополнительно расходуется на отражение от расплавленной проволоки и теплоотвод в нее.

При оценке качества наплавленных слоев следует отметить, что при лазерной наплавке проволокой характерным дефектом является образование пор, надежным способом устранения которого является повышение мощности лазерного излучения. Наименьшее количество дефектов наблюдается при применении гибридной наплавки. При этом способе наплавки важным моментом является заглубление электрической дуги в узкую полость, которое прямо пропорционально плотности мощности излучения. Если она недостаточна, то имеют место поры или несплавления в нижней части заправляемой полости. Наиболее простым способом повышения плотности мощности является уменьшение расфокусировки ΔF . Однако при этом увеличивается степень перемешивания основного и наплавленного металлов и процесс наплавки становится подобен процессу

сварки. Вопрос оптимизации плотности лазерной мощности при гибридной наплавке требует дальнейших исследований.

Выводы

1. Достижение качественного заплывания узких полостей в алюминиевых изделиях без механической разделки возможно за счет фиксации электрической дуги на дне полости с помощью лазерного излучения. Лазерно-дуговая наплавка позволяет устранить такие характерные для дугового процесса недостатки, как наличие пор и несплавления в нижней части заправляемых полостей, а также снизить перегрев наплавленных изделий.

2. Преимуществом гибридной наплавки являются частичная замена мощности лазерного излучения мощностью дуги плавящегося электрода, а также то, что расплавленный электрической дугой жидкий металл поглощает лазерное излучение значительно интенсивнее, чем твердый. Последнее способствует снижению потерь мощности лазерного излучения по сравнению с лазерной наплавкой.

3. При гибридной наплавке избыток тепловложения может привести к деформации наплавленного изделия. Вопросы, связанные с оценкой твердости и износостойкости слоев, полученных при лазерно-дуговой наплавке, требуют дальнейшего изучения.

1. Гибридная сварка излучением CO₂-лазера и дугой плавящегося электрода в углекислом газе / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, В. П. Гаращук и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 10. — С. 38–41.
2. Зусин В. Я., Вайнер Г. Н., Черноиванов В. Н. Восстановление канавок алюминиевых поршней тракторных двигателей импульсно-дуговой наплавкой в среде защитных газов // Свароч. пр-во. — 1982. — № 11. — С. 37–38.
3. Воронай Н. М., Лесных В. В., Мищенко В. А. Двухдуговая наплавка алюминиевых поршней комбинированным — неплавящимся и плавящимся электродом // Автомат. сварка. — 1996. — № 6. — С. 21–25.
4. Чудинов Б. А., Жмиевский В. Ф. Упрочнение верхней поршневой канавки поршней двигателей внутреннего сгорания ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти, 2004 г. 13–16 апр. // Материалы 6-й Междунар. практ. конф.-выставки, С.-Пб., Альфаред, 2004. — С. 89–90.

5. Бондарев А. А. Технология ремонта изношенных поршней // Сварщик. — 1999. — № 6. — С. 17.
6. Бондарев А. А. Технология упрочняющей наплавки с присадочным материалом зоны компрессионных каналов алюминиевых поршней // Технологии. Материалы. Оборудование.: Каталог. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2005. — С. 27–28.
7. Бондарев А. А. Технология ремонта и восстановления изношенных поршней и других деталей машин и механизмов // Там же. — С. 28.
8. Вейко В. П. Физические механизмы лазерной очистки поверхности // Изв. Рос. акад. наук. Сер. физ. — 2001. — 65, № 4. — С. 586–590.
9. Гибридная лазерно-плазменная сварка алюминиевых сплавов / И. В. Кривцун, В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 5. — С. 49–53.
10. Гибридная лазерно-дуговая сварка углеродистых сталей и алюминиевых сплавов / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, Т. Н. Набок и др. // Доп. НАН України. — 2005. — № 7. — С. 97–102.

Peculiarities of application of hybrid laser-arc cladding for quality filling of narrow covities in products of aluminium alloys without preliminary mechanical grooving are considered. Rational implementation of this technology is shown.

Поступила в редакцию 08.08.2008,
в окончательном варианте 26.11.2008

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ, ОБОРУДОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ»

14–17 апреля 2009

г. Санкт-Петербург

Организаторы: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет и
НПФ «Плазмацентр»

Основные направления конференции:

- технологии диагностики, дефектации, мойки, очистки, восстановления заданной геометрии, упрочнения и восстановления поверхности, обработки нанесенных покрытий, окраски и консервации;
- трение и износ, защита от коррозии, конструкционные, технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества и повышения долговечности изделий.

В рамках конференции будет проходить:

- школа-семинар «Все методы повышения стойкости инструмента, штампов холодного деформирования, пресс-форм и другой технологической оснастки»;
- школа-семинар «Наплавка и напыление — выбор технологии, оборудования и материалов»;
- школа-семинар «Ремонт, восстановление, упрочнение и контроль качества литейной оснастки кузнечно-прессового инструмента и штампов»;
- школа-семинар «Конструирование деталей и узлов трения с повышенной долговечностью и износостойкостью».

Более подробную информацию о предстоящей конференции
можно узнать на сайте www.plasmacentre.ru/conf.

**Реквизиты организатора: НПФ «Плазмацентр»,
195196, Санкт-Петербург, Таллиннская ул., д. 7А, офис 16
Тел./факс: (812) 4452496, (901) 3043191, (812) 5287484
E-mail: info@plasmacentre.ru, office@plasmacentre.ru**



УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДЖИГАНИЯ ДУГИ ДВУХАНОДНОГО ПЛАЗМОТРОНА

Н. А. МАКАРЕНКО, д-р техн. наук (Донбасская гос. машиностроительная акад., г. Краматорск),
В. В. ЧИГАРЕВ, д-р техн. наук, **Н. А. ГРАНОВСКИЙ**, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
А. А. БОГУЦКИЙ, **А. М. КУЩИЙ**, инженеры (Донбасская гос. машиностроительная акад., г. Краматорск)

Предложено устройство, содержащее накопительные конденсаторы повышенной емкости; тиристорный ключ и перезаряжающийся конденсатор, два импульсных трансформатора, с последовательно соединенными первичными обмотками. В отличие от обычно применяемых на практике предложенное устройство позволяет получить 5-6 поджигающих импульсов увеличенной мощности за каждый полупериод переменного тока.

Ключевые слова: двуханодный плазмотрон, плазма-МИГ сварка, импульсный трансформатор, энергия импульса, устройство для поджигания, компоненты

Процессы плазма-МИГ сварки и наплавки находят применение в промышленности [1]. Возможность регулирования в широких пределах тепловложения в изделия, высокая производительность процесса в сочетании с рядом других достоинств делают его весьма перспективным [2–4]. Плазма-МИГ сварка нашла применение при изготовлении изделий из меди [5] и алюминия [6], а также при наплавке инструмента и оснастки [7, 8].

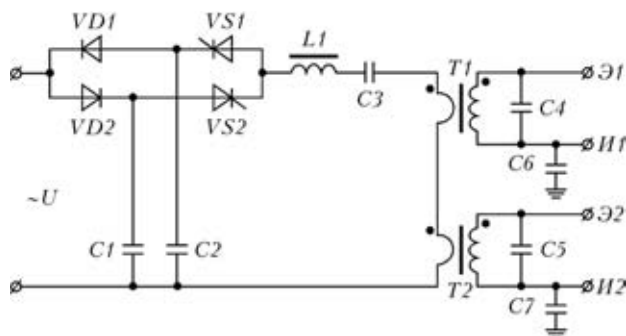
Плазма-МИГ сварка и наплавка легких металлов ведется только на постоянном токе обратной полярности плавящегося и неплавящегося электродов, однако при изготовлении изделий из других материалов в большинстве случаев рекомендуется применять обратную полярность. При обратной полярности неплавящийся стержневой электрод плазмотрона является анодом, вследствие чего допустимые токовые нагрузки на него значительно ниже, чем при применении прямой полярности, когда неплавящийся электрод является катодом [9]. В то же время в ряде случаев (например, при сварке и наплавке изделий из алюминия и сплавов на его основе) необходимо обеспечить увеличенную мощность плазменной дуги, при этом целесообразно применять плазмотроны, имеющие два неплавящихся электрода — анода, которые необходимо подключать к двум отдельным источникам питания, что увеличивает суммарный ток плазменной дуги без превышения тока, допустимого для вольфрамового электрода.

В начале процесса сварки или наплавки следует обеспечить поджиг дуговых разрядов с обоих анодов двуханодного плазмотрона [10]. При этом необходимо, чтобы обе дуги возбудились одновременно, так как при плазма-МИГ процессе внутри плазмотрона находится плавящийся электрод,

который при возбуждении одной дуги остается неподвижным, перегревается током плазменной дуги и расплавляется внутри плазмотрона, что приводит к засорению сопла плазмотрона, его выходу из строя и, как следствие, к невозможности проведения непосредственно процесса сварки или наплавки. В связи с этим актуальной является задача разработки устройства поджига дуги для двуханодного плазмотрона, обеспечивающего одновременный поджиг дуговых разрядов обоих анодов плазмотрона. За основу устройства, включаемого в схему двухэлектродного плазмотрона для плазма-МИГ сварки и наплавки, взята схема устройства для возбуждения и стабилизации процесса горения дуги УПД-1 конструкции ИЭС им. Е. О. Патона. В устройстве диоды и тиристоры включены в цепь одного из выводов первичной обмотки повышающего трансформатора через проходной конденсатор и составляют между собой две встречно-направленные параллельные выпрямительные цепи из последовательно соединенных диода и тиристора [11]. Эти устройства являются простыми и надежными. Многие экземпляры УПД-1 работают в разных установках почти 30 лет без каких-либо поломок.

Для обеспечения одновременного поджига двух дуг в схему (рисунок) ввели дополнительно второй импульсный трансформатор T_2 . Первичные обмотки импульсных трансформаторов T_1 и T_2 включены согласно последовательно, а одноименные концы вторичных обмоток подключаются к неплавящимся электродам (анодам) плазмотрона. Это позволяет избежать появления высокого напряжения между анодами плазмотрона в момент прохождения поджигающего импульса, что препятствует электрическому пробое зазора между анодами плазмотрона.

Устройство работает следующим образом. В один из полупериодов переменного напряжения U через диод $VD1$ (ДЛ80) заряжается конденсатор



Устройство поджига дуги двуханодного плазматрона

$C1$, а в следующий полупериод (через диод $VD2$) — конденсатор $C2$. Таким образом, перед началом работы устройства конденсаторы $C1$ и $C2$ (4,0 мкФ, 450 В) заряжены напряжениями противоположной полярности. При поочередной подаче управляющих импульсов на тиристоры $VS1$ и $VS2$ (ТБ 160 А, 22 кл) тиристоры поочередно открываются, при этом происходит перезарядка конденсатора $C3$ (4,0 мкФ, 600 В) через первичные обмотки импульсных трансформаторов $T1$ и $T2$, во вторичных обмотках которых генерируются высоковольтные импульсы, поджигающие дуги анодов плазматрона. Конденсаторы $C4$ и $C5$ (1000 пФ, 34 кВ) служат для улучшения формы импульса, поджигающего дугу, а конденсаторы $C6$, $C7$ (4,0 мкФ, 400 В) — для защиты источников питания, подключенных к анодам плазматрона, от высокого напряжения. Дроссель $L1$ ограничивает скорость нарастания тока (di/dt) до значения, допустимого для тириستоров $VS1$ и $VS2$.

Во время работы устройства конденсаторы $C1$ и $C2$ соответственно через диоды $VD1$ и $VD2$ заряжаются в противоположной полярности переменным напряжением U . Так как емкость конденсаторов $C1$ и $C2$ в 10 раз выше емкости конденсатора $C3$, то его перезарядка может быть произведена 5...6 раз за один полупериод питающего напряжения U . Это позволяет поднять частоту следования, а также частоту поджигающих импульсов до 500...600 Гц, в то время, как частота следования поджигающих импульсов устройства УПД-1 составляет 100 Гц.

С целью повышения энергии поджигающих импульсов питание устройства осуществляется напряжением 300 В. При этом энергия высоковольтного разряда на каждом промежутке «анод-плазмообразующее сопло» составляет около 0,6 Дж.

Исследования показали, что повышение питающего напряжения приводит к увеличению значения di/dt для тиристоров $VS1$ и $VS2$ и повышению коммутационных бросков напряжений на тиристорах, что вызывает необходимость применения тиристоров серий ТБ и ТБИ, рассчитанных на ток 160 А и имеющих 22 класс по напряжению.

Испытания показали, что устройство надежно поджигает дежурные дуги обоих анодов плазматрона (практически за один полупериод питающего напряжения U , т. е. за время 0,01 с).

Выводы

1. В устройствах поджига дуги двуханодного плазматрона для плазма-МИГ сварки и наплавки целесообразно применять два импульсных трансформатора, первичные обмотки которых включены согласно последовательно, при этом одноименные концы вторичных обмоток подсоединяются к анодам плазматрона.

2. Применение двух отдельных накопительных конденсаторов увеличенной емкости, заряжаемых напряжениями противоположной полярности, позволяет увеличить частоту поджигающих импульсов от 100 до 500...600 Гц.

3. Увеличение энергии поджигающих импульсов за счет повышения напряжения зарядки накопительных конденсаторов требует применения тиристоров с высокими значениями di/dt , а также с высоким классом по напряжению.

4. Разработанная схема устройства для поджигания дуги двуханодного плазматрона обеспечивает надежный поджиг дуг обоих анодов плазматрона за время не более 0,01 с.

1. *Сварка в машиностроении: Справочник.* — Т. 1 / Под ред. Н. А. Олышанского. — М.: Машиностроение, 1978. — 501 с.
2. *Бакурская М. А., Колосова Н. А.* Процесс плазма-МИГ и его промышленное применение за рубежом // *Электротехн. пром-сть. Электросварка.* — 1984. — № 6. — С. 11–15.
3. *Щицын Ю. Б., Тыткин Ю. М.* Исследование процесса плазменной сварки плавящимся электродом жаропрочных сплавов // *Тр. II Всесоюз. конф. «Проблемы технологии сварки теплоустойчивых, жаростойких и жаропрочных высоколегированных сталей и сплавов».* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1985. — С. 103–104.
4. *Гвоздецкий В. В., Макаренко Н. А.* Плазменная сварка (Обзор) // *Автомат. сварка.* — 2000. — № 12. — С. 26–30.
5. *Vennekers R., Shevers A. A.* Plasma MIG welding of copper and copper alloys // *Weld. and Metal Fabr.* — 1977. — **45**, № 4. — P. 227–235.
6. *Essers W. G., Willemes G. A.* Plasma-MIG — schweissen von Aluminium auftragschweissen und Zweielektadens schweissen, von autahl // *DVS-Berichte.* — 1984. — № 90. — S. 9–14.
7. *Данильченко Б. В., Макаренко Н. А.* Плазменно-дуговая наплавка с аксиальной подачей плавящейся порошковой проволоки // *Тр. междунар. науч.-техн. конф. «Прогрессивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва».* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 1998. — С. 322–325.
8. *Корниенко А. Н., Макаренко Н. А., Кондрашов К. А.* Преимущества упрочнения и восстановления пресс-форм для стекла способом плазма-МИГ наплавки // *Тр. регион. науч. и науч.-техн. конф. — Мариуполь: ПТУ, 2003.* — Т. 1. — С. 63.
9. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением /* Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
10. *Макаренко Н. А.* Развитие научных и технологических основ плазменной сварки и наплавки плавящимся и непла-



влящимся электродами: Дис. ... д-ра техн. наук. — Мариуполь, 2006. — 437 с.

11. А. с. 567563 СССР, МКП² В23 К 9/06. Устройство для возбуждения и стабилизации процесса горения дуги / Э. И.

Шмаков, В. Г. Федотенков, Г. Ф. Колесник, Н. М. Махлин, Ю. З. Буряк. — Опубл. 05.08.77; Бюл. № 2.

The device is offered, comprising cumulative capacitors of an increased capacitance, thyristor key, recharging capacitor, and two-pulse transformers with their primary windings connected in series. Unlike those usually employed in practice, the device makes it possible to generate 5-6 start pulses of an increased intensity per half-period of the alternating current.

Поступила в редакцию 07.07.2008

УДК 621.791.927.93

О РОЛИ КОНТАКТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ

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

Показано, что при разработке технологии электрошлаковой наплавки без проплавления в токоподводящем кристаллизаторе, а также при проектировании его новых конструкций необходимо учитывать роль контактных сопротивлений. Критерием при определении требуемого оплавления наплавляемой (свариваемой) поверхности может служить температура шлакового расплава, при этом следует установить зависимость между ней и температурой на контактной наплавляемой поверхности.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка, контактное сопротивление, температура шлаковой ванны, проплавление

Современная теория электрических контактов еще находится в стадии разработки, в связи с этим не все происходящие между контактами физические явления до конца исследованы и объяснены. Указанная теория основывается на понятиях, связанных с контактной поверхностью, областью и сопротивлением стягивания, пленками потускнения, контактным давлением, контактной разностью потенциалов, тепловыми эффектами и другими положениями, характеризующими работу контактов различного рода.

Сварщики давно используют такое свойство электрических контактов, как повышенное (по сравнению с электрическим сопротивлением материалов соединяемых деталей) электросопротивление. Прежде всего это электрическая сварка сопротивлением, которую часто называют контактной, подчеркивая тем самым важную роль электрического контакта между свариваемыми деталями для данного процесса. Применительно к электрошлаковым процессам такими контактами являются поверхность электрода, погруженного в шлаковую ванну, ограничивающая поверхность кристаллизатора, свариваемые или наплавляемые поверхности заготовок на участке контакта со шлаковой ванной, а также поверхность раздела шлаковой и металлической ванн. Исследованию процессов и явлений, происходящих в шлаковой ванне, посвящено множество работ, однако роль

контактных сопротивлений практически в них не рассматривалась. В основном внимание уделялось явлениям, происходящим на границах раздела шлаковой ванны, и поверхностям кристаллизатора электрода, осуществляющего к ней токоподвод. Исследования проводили с целью изучения вопроса повышения стойкости оборудования (кристаллизатора [1], нерасходуемого электрода [2, 3]) или повышения эффективности электрошлакового процесса [4, 5]. При этом изучали такое явление, как выпрямление переменного тока при электрошлаковом процессе [6–8], особенности распределения тока в шлаковой ванне [9] и кристаллизаторе [10] и др. Различные математические модели распределения тепла в шлаковой ванне, процесса плавления электрода, теплопередачи через поверхность шлаковой ванны не учитывают возникающую на границе раздела шлак–рассматриваемая поверхность разность потенциалов, а следовательно, и дополнительное тепловыделение (см., например, [11–15]). Только в работе [16] отмечено, что нагрев электрода в электрошлаковых процессах происходит главным образом именно за счет его контакта с расплавленным шлаком (следует еще раз обратить внимание, что именно за счет контакта). При этом электрод на участке, выступающем за контакты токоподводящего устройства, нагревается за счет проходящего по нему электрического тока, а также тепловыделения на контактной поверхности со шлаковой ванной и теплопередачи от шлаковой ванны, разогретой проходящим электрическим током. Электрошлаковую сварку (наплавку) можно в какой-то мере рассматривать как сварку сопротив-



лением, где в качестве одного из контактирующих элементов цепи выступает жидкий проводник—шлаковая ванна.

Шлаковая ванна (в качестве элемента электрической цепи) рассматривается как активное инерционное нелинейное сопротивление, значение которого значительно выше, чем у электрода или наплавляемого металлов. Поэтому основное количество тепла при электрошлаковом процессе выделяется в шлаке. При контакте разнородных веществ (в нашем случае между жидким шлаком и токоведущими металлическими поверхностями) на границе их раздела образуется двойной электрический слой и возникает контактная разность потенциалов. Переменный ток, проходя по цепи, состоящей из двух или нескольких проводников, с различным типом проводимости вследствие различия энергетических условий прохождения границы раздела между проводниками в прямом и обратном направлении частично или полностью выпрямляется [6, 17], при этом имеют место тепловые эффекты. Температура на участке контакта расходуемый электрод—шлаковая ванна или шлаковая ванна—наплавляемая заготовка должна иметь наибольшее значение по сравнению с температурой на других участках шлаковой ванны. Так, в работе [1] отмечается повышенное свечение шлака, что свидетельствует о наличии более высокой температуры на такой контактной поверхности. С повышением температуры электросопротивление металла возрастает, а расплавленного шлака быстро падает. Как меняется (и меняется ли вообще) при этом сопротивление и температура контакта в настоящее время не установлено. Из-за резкой зависимости электросопротивления шлака от температуры основная часть тока протекает через наиболее нагретый объем расплавленного шлака (по классической схеме этот объем расположен между торцом электрода и поверхностью жидкой металлической ванны).

В целом считается, что возникающие в шлаковой ванне гидродинамические потоки усредняют ее температуру по объему. Учитывая гидродинамику шлаковой ванны, контакт между шлаковой ванной и поверхностью заготовки (электрода) по принятой в теории электрических контактов классификации [18–20] можно рассматривать как скользящий поверхностный, характеризующийся различными электрокинетическими, электрохимическими и тепловыми явлениями. Процесс теплопередачи посредством такого контакта изучен пока не достаточно. Объем шлака, перегретого на контактных поверхностях по сравнению с объемом всей шлаковой ванны незначителен и вносимая им доля тепла невелика. Видимо, поэтому контактными сопротивлениями в электрошлаковых процессах должного внимания не

уделялось. Следует ли в таком случае учитывать наличие двойного электрического слоя и повышенного электросопротивления контакта металл—шлаковая ванна в технологиях сварки и наплавки?

В процессе разработки технологии электрошлаковой наплавки без проплавления (о ее необходимости и возможностях изложено в работах [21, 22]) выявлено, что даже при использовании достаточно легкоплавкого флюса может происходить оплавление наплавляемой поверхности. Так, опытный легкоплавкий флюс имел температуру плавления заметно (на 250...300 °С) ниже, чем материал наплавляемой заготовки. Результаты замеров в процессе нагрева стальной заготовки под наплавку показали, что хотя температура шлаковой ванны в зазоре между стенкой кристаллизатора и наплавляемой поверхностью на 150 °С ниже температуры плавления заготовки, тем не менее, имело место оплавление ее поверхности. В таких условиях наплавки оно не может происходить за счет образования легкоплавких эвтектик (поскольку наплавку осуществляли металлом, аналогичным металлу наплавляемой заготовки), а также явлений, имеющих место при контактно-реакционной пайке. Эффект оплавления можно объяснить влиянием повышенного электросопротивления контакта наплавляемая металлическая заготовка—шлаковая ванна. И хотя дополнительное тепло, выделяющееся на контактной поверхности, незначительно (по сравнению с теплосодержанием всей шлаковой ванны), при концентрации в небольшом объеме оно приводит к быстрому нагреву и оплавлению поверхности наплавляемой заготовки. Можно предположить, что характер распределения температуры у поверхности раздела наплавляемая заготовка—шлаковая ванна при электрошлаковой наплавке имеет вид, показанный на рис. 1. Таким образом, в процессе электрошлаковой наплавки температура шлаковой ванны не может быть критерием оплавления заготовки. Судить об оплавлении по температуре шлакового расплава можно лишь тогда, когда установлены зависимости между ней и температурой контактной поверхности наплавляемой заготовки. Причем для каждой пары шлаковый расплав—материал наплавляемой заготовки такие зависимости будут, по всей вероятности, разными. Предполагается, что можно оценить температуру контактной поверхности наплавляемой заготовки путем замера контактной разности потенциалов, подобно тому, как это делают для двух твердых тел при расчете температуры нагрева электрических контактов и установлении предельного значения тока для конкретной электрической цепи.

В таблице приведены значения разности потенциалов U_i на контактных парах для деталей из ука-

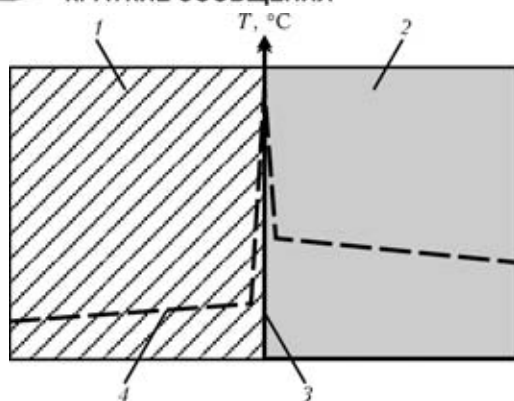


Рис. 1. Предполагаемое распределение температуры T у границы раздела шлаковая ванна–наплавляемая заготовка при электрошлаковой наплавке: 1 — наплавляемая заготовка; 2 — шлаковая ванна; 3 — контактная поверхность; 4 — распределение температуры

Разность потенциалов на контактных парах [23]

Материал	U_p , В				
	Алюминий	Графит	Латунь	Медь	Сталь
Алюминий	0,28	—	—	—	—
Графит	3,00	3,0	—	—	—
Латунь	0,63	2,4	0,54	—	—
Медь	0,65	3,0	0,60	0,65	—
Сталь	1,40	1,6	2,10	3,00	2,5

занных материалов, используемые при расчетах температуры нагрева электрических контактов.

Разработка технологии электрошлаковой наплавки без проплавления предусматривает использование токоподводящего кристаллизатора, конструкция которого во многом определяет протекающие в нем процессы. При этом необходимо отметить роль контактных сопротивлений между элементами конструкции, которые оказывают существенное влияние на гидродинамику расплава. Как известно [24], в токоподводящем кристаллизаторе обеспечивается дополнительное вращение шлаковой ванны в горизонтальной плоскости. Верхняя медная токоподводящая секция с разрывом, как правило, не имеет непосредственного контакта со шлаковой ванной и чаще всего для предотвращения электрохимической эрозии защищена графитовым кольцом. Казалось бы, наличие такого кольца из материала с высокой электропроводностью должно ликвидировать электрический разрыв в цепи токоподводящей секции и привести к остановке вращения шлаковой ванны, однако этого не происходит. Разность потенциалов пары медь–графит настолько велика ($U_i = 3$ В), что основная часть тока протекает по контуру токоподводящей секции, что приводит к вращению шлаковой ванны (рис. 2). Если токоподводящую секцию замкнуть медным кольцом или

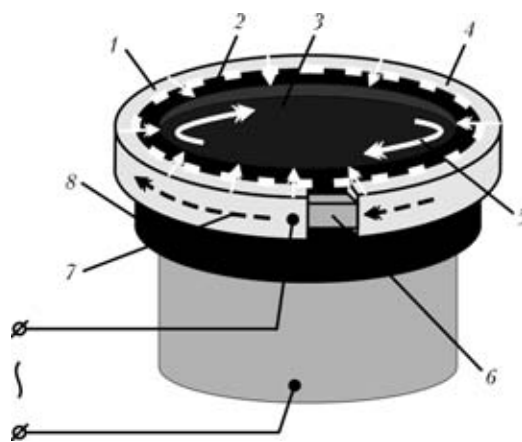


Рис. 2. Схема распределения тока по элементам токоподводящего кристаллизатора при электрошлаковом процессе: 1 — медная токоподводящая секция; 2 — защитное графитовое (или стальное) кольцо; 3 — шлаковая ванна; 4 — контактная поверхность; 5 — вставка; 6 — направление вращения шлаковой ванны; 7 — протекание тока вдоль токоподводящей секции; 8 — защитное кольцо

перемычкой ($U_i = 0,65$ В), то вращение шлаковой ванны практически прекращается.

Скорость ее вращения в токоподводящем кристаллизаторе определяется в первую очередь значением тока, протекающего по верхней секции кристаллизатора. В работе [25] предложено регулировать скорость вращения расплава с помощью специальных проводников электрического тока — электропроводных вставок из различных материалов, помещенных в разрыв токоподводящей секции кристаллизатора. Благодаря изоляционным вставкам в разрыве токоподводящей секции скорость вращения шлаковой ванны будет максимальной.

Таким образом, при разработке технологии электрошлаковой наплавки без проплавления в токоподводящем кристаллизаторе, а также при проектировании новых конструкций последнего следует учитывать роль контактных сопротивлений. Критерием для определения оплавления наплавляемой (свариваемой) поверхности может служить температура шлакового расплава, однако при этом следует установить зависимость между ней и температурой на контактной наплавляемой поверхности.

1. К вопросу об анодном разрушении в шлаке при ЭШП токопроводящих металлических элементов / В. Л. Артамонов, Б. И. Медовар, В. М. Мартыш, Е. М. Гиссер // Спец. электрометаллургия. — 1972. — Вып. 17. — С. 3–10.
2. К вопросу использования стального охлаждаемого электрода при электрошлаковом процессе / В. М. Баглай, Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш и др. // Там же. — 1971. — Вып. 13. — С. 53–54.
3. Дудко Д. А., Рублевский И. Н. Влияние рода и полярности тока на металлургические процессы при электрошлаковой сварке // Автомат. сварка. — 1958. — № 3. — С. 69–78.
4. Максимович Б. И. Повышение эффективности электрошлакового переплава сталей и сплавов: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1962. — 213 с.



5. *Исследование модели плавления расходуемого электрода при ЭШП* / Ю. Кожима, М. Като, Т. Тойода, М. Иноэ // Электрошлак. переплав. — 1975. — Вып. 3. — С. 54–62.
6. *Дудко Д. А., Рублевский И. Н.* К вопросу о природе вентильного эффекта при электрошлаковом процессе // Автомат. сварка. — 1962. — № 3. — С. 40–48.
7. *О выпрямлении переменного тока при электрошлаковом процессе с использованием графитовых электродов* / И. Ю. Лютий, Ю. В. Латаш, А. А. Никулин, Н. Г. Бочарова // Спец. электрометаллургия. — 1973. — Вып. 20. — С. 29–36.
8. *О механизме возникновения постоянной составляющей тока при ЭШП* / В. Л. Миронченко, В. Т. Чернов, А. А. Шаломеев и др. // Там же. — 1976. — Вып. 29. — С. 8–14.
9. *Ступак Л. М., Баглай В. М., Медовар Б. И.* О распределении тока в шлаковой ванне при ЭШП // Там же. — 1968. — Вып. 3. — С. 42–46.
10. *Арсенкин В. Т., Радченко В. Г., Степанов П. И.* О некоторых особенностях распределения тока в кристаллизаторе при ЭШП // Там же. — 1974. — Вып. 23. — С. 46–52.
11. *Митчел А., Шекели Дж., Ф. Эллиот Дж.* Математическое моделирование процесса ЭШП // Электрошлаковый переплав. — 1974. — Вып. 2. — С. 17–45.
12. *Иоши С., Митчел А.* Тепловые процессы при ЭШП // Там же. — 1973. — Вып. 1. — С. 168–179.
13. *Омура Т., Вакабаси М., Хосода Т.* Анализ теплопередачи в процессе ЭШП // Там же. — С. 180–202.
14. *Электрическое сопротивление между расходуемым электродом и кристаллизатором при электрошлаковом процессе* / М. Като, Я. Коджима, М. Иноэ, М. Тойода // Там же. — 1983. — Вып. 7. — С. 231–237.
15. *Распределение электрического потенциала между расходуемым электродом и кристаллизатором в процессе ЭШП* / М. Като, Я. Коджима, М. Иноэ, М. Тойода // Там же. — С. 238–243.
16. *Патон Б. Е., Лебедев В. К.* Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 360 с.
17. *Зильберман Г. Е.* Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1970. — 384 с.
18. *Хольм Р.* Электрические контакты / Пер. с англ. — М.: Изд-во. иностр. лит-ры, 1961. — 464 с.
19. *Комаров А. А., Яковлев В. Н.* Электрические контакты. — Самара: СамИИТ, 2001. — 51 с.
20. *Калашиников С. Г.* Электричество. — М.: Физматлит, 2003. — 624 с.
21. *Цыкуленко К. А., Цыкуленко А. К.* Анализ возможности электрошлаковой наплавки разнородных металлов и сплавов при малой толщине наплавляемого слоя // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2001. — № 3. — С. 19–23.
22. *Цыкуленко К. А., Цыкуленко А. К.* К вопросу о выборе флюса для электрошлаковой наплавки-пайки // Там же. — № 4. — С. 3–6.
23. *СТ 12.1.004–91* (Группа Т58). Строительные нормы и правила. — Введ. 01.07.92.
24. *Ксендзык Г. В.* Токоподводящий кристаллизатор, обеспечивающий вращение шлаковой ванны // Спец. электрометаллургия. — 1975. — Вып. 27. — С. 32–40.
25. *А. с. 1085250 СССР, МКИ С 22 В 9/18.* Токоподводящий секционный кристаллизатор / Г. В. Ксендзык, И. И. Фрумин, Ю. М. Кусков. — Оpubл. 30.03.82; Бюл. № 8.

When developing the technology of electros slag cladding without penetration in the current-conducting mould, as well as in designing new moulds, it is necessary to take into account the role of contact resistances. Slag melt temperature can be a criterion for determination of the required surface melting of the clad (welded) surface. However, a dependence should be established between it and temperature on the clad surface.

Поступила в редакцию 04.06.2008

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ сварки никелевых сплавов, при котором сваривают компоненты из суперсплава, согласно которому формируют выемку для сварки на лицевых поверхностях компонентов, сваривают компоненты при помощи присадочного материала, введенного в выемку кромок для сварки, покрывают присадочный материал и примыкающие поверхности упомянутых компонентов паяльной пастой для пайки твердым припоем и осуществляют термообработку компонентов. Заявка РФ 2007113736. М. Д. Арнет, Д. А. Новак, Д. К. Шаффер (Дженерал Электрик Компани, США).

Способ диффузионной сварки деталей из химически активных металлов и сплавов и его варианты, отличающийся тем, что предварительно перед нанесением на одну из свариваемых поверхностей детали промежуточного слоя поверхность химически активного металла или сплава подвергают ионной бомбардировке ионами металла, образующего промежуточный слой или нижний подслоя многослойного промежуточного слоя, которую проводят в разреженной атмосфере рабочего газа, а температура процесса лежит в диапазоне 0,5...0,95 температуры плавления менее тугоплавкого из диффундирующих материалов, при этом промежуточный слой наносят на одну из свариваемых поверхностей вакуумным ионно-плазменным методом при давлении $1 \cdot 10^{-5} \dots 9 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст.

и энергии ионов 10...300 кэВ. Заявка РФ 2007113264. Б. В. Бушмин, В. С. Васильковский, Ю. В. Дубровский, С. Н. Новожилов, А. Н. Семенов, И. А. Хазов (ФГУП «Красная Звезда», РФ).

Среднелегированный электрод для сварки высокопрочных сталей, отличающийся тем, что электродное покрытие дополнительно содержит диоксид титана, алюминиевый порошок и совместную композицию оксидов РЗМ и железа при следующем соотношении компонентов, мас. %: 37,0...52,0 мрамора; 18,0...26,0 плавикового шпата; 3,0...10,0 кварцевого песка; 3,0...12,0 диоксида титана; 0,5...5,0 ферросилиция; 5,0...14,0 ферротитана; 1,0...5,0 ферромарганца металлического; 0,1...1,0 оксидов РЗМ; 0,2...3,0 оксидов железа; 0,2...4,0 алюминиевого порошка; 23,0...28,0 жидкого стекла натриевого к массе сухой шихты, при этом отношение содержания оксидов РЗМ к содержанию оксидов железа должно быть не более 0,5. Заявка РФ 2007114861. В. А. Малышевский, Р. В. Бишопов, В. В. Гежа, А. П. Барышников, С. В. Юркинский (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»).

Устройство для сварки с импульсной подачей защитных газов. Изобретение относится к области сварочного производства, в частности к устройству для сварки с импульсной подачей защитных газов, и может быть использовано при сварке в среде защитных газов широкого спектра конструкций, в том числе и тех, соединение которых формируется в

* Приведены сведения о заявках и патентах РФ, представленных на сайте <http://www.fips.ru/russite/default.htm>.



различных пространственных положениях. Устройство содержит сварочную головку для подачи газа или смеси газов в зону сварки. Корпус выполнен с выпускным каналом, соединенным посредством штуцера со сварочной головкой. Первый впускной канал соединен посредством штуцера с магистралью подачи одного газа. Имеется, по меньшей мере, один второй впускной канал для подачи другого газа в камеру смешения, выполненный в клапане-сердечнике. Штуцер соединен с магистралью для подачи другого газа во второй впускной канал. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2337797. О. М. Новиков, Э. П. Радько (РФ), Квон Джей Юн (Корея).

Электрод для контактной точечной сварки, корпус которого выполнен из упрочненной меди. Рабочий наконечник и термокомпенсационный слой изготовлены методом порошковой металлургии путем прессования и спекания с получением пористого каркаса из металлизированных карбонильным вольфрамом зерен электроплавляемого диоксида циркония, стабилизированного 10...35 % оксидов иттрия. Использование разного давления при прессовании обеспечивает получение разной пористости рабочего наконечника и термокомпенсационного слоя. После последующей пропитки каркаса жидкой медью в вакууме $5 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст. получают монолит с разным содержанием меди в рабочем наконечнике и термокомпенсационном слое. Сходство по проводимости, коэффициенту термического расширения и химсоставу материала корпуса и термокомпенсационного слоя обеспечивает выполнение им буферных функций и монолитное соединение их между собой. Электрод обладает длительным рабочим ресурсом и высокими электропроводными свойствами рабочего наконечника при минимальном использовании вольфрама. Патент РФ 2337798. С. В. Поддубный, В. И. Александров, Л. В. Рогачев, Т. И. Хабалов, Г. И. Хабалов, Г. Н. Поповский, В. А. Поддубный.

Способ алюминотермитной сварки рельсов, при котором устанавливают концы рельсов с образованием между их торцами сварочного зазора, размещают на концах рельсов в зоне сварочного зазора разъемную форму, уплотняют контакт разъемной формы с концами рельсов, устанавливают над формой реакционный тигель, заполненный дозой алюминотермитного состава, нагревают концы рельсов и разъемную форму до температуры в диапазоне 1000...1500 °С, поджигают дозу алюминотермитного состава и разогревают его до образования расплавленного металла, подают из реакционного тигля расплавленный металл в среднюю часть разъемной формы после заполнения ее нижней части, дополнительно нагревают концы рельсов и залитый в сварочный зазор расплавленный металл до температуры не ниже 800 °С в конце подачи расплавленного металла в разъемную форму путем подачи последних порций расплавленного металла в пространство над головками рельсов, выдерживают расплавленный металл до затвердевания и образования сварного шва, охлаждают хладагентом, затем на воздухе удаляют с головки сваренного рельса грат и шлаковые наплывы, отличающиеся тем, что охлаждение производят хладагентом с содержанием влаги от 20...50 % со скоростью охлаждения (7...11) °С до температуры ($M_n + 100$ °С) – M_n . Заявка РФ 2007115950. А. А. Бондаренко, Г. Р. Маеров, А. Н. Ситникова, М. А. Жукова (Самарская государственная академия путей сообщения).

Способ восстановления деталей электрошлаковой наплавкой, включающий закрепление детали и кокиля, расплавления расходуемого электрода в расплаве шлаковой ванны, отличающийся тем, что в качестве расходуемого электрода берут арматуру, которую собирают в пакет из нескольких прутков, форму пакета задают в соответствии с размерами и

формой плавильного пространства кокиля, выравнивают пакет по торцу, а затем, по крайней мере, один из прутков преимущественно в середине пакета выдвигают на 10...20 мм, после чего пакет фиксируют, например сваркой. Заявка РФ 2007117236. В. В. Вашковец, М. В. Тепляшин (Тихоокеанский государственный университет).

Электрод для ручной дуговой сварки высоколегированных и разнородных сталей. Изобретение может быть использовано при сварке высоколегированных сталей, в том числе жаропрочных, жаростойких, коррозионностойких, с содержанием хрома до 25 % и никеля до 30 %, а также при сварке разнородных сталей и наплавке облицовочных слоев. Электрод состоит из высоколегированного стального стержня и нанесенного на него покрытия, содержащего следующие компоненты, мас. %: 9...25 мрамора, 3...12 марганца или ферромарганца, 0,5...7 ферросилиция, 3...14 хрома, 5...12 гематита, 9...30 плавленого шпата, 5...9 мусковита, 1...2,5 калия двууглекислого, остальное — диоксид титана. В зависимости от состава проволоки и требований к физико-механическим характеристикам наплавленного металла покрытие может содержать дополнительно компоненты из группы: молибден, ферромolibден, никель, феррованадий, феррониобий, хром, железный порошок. Для регулирования сварочно-технологических свойств в покрытие могут быть введены компоненты из группы: целлюлоза, глинозем, каолин. Электрод обеспечивает хорошие сварочно-технологические и механические свойства, а также высокую стойкость против межкристаллитной коррозии. Патент РФ 2339495. О. В. Шишкова, Н. В. Захарова (ЗАО «Электрод»).

Способ изготовления многослойных стальных изделий, включающий укладку по меньшей мере двух пластин из сталей с различной травимостью с получением пакета, при этом, по крайней мере, одна из пластин выполнена из стали типа булата и имеет толщину 10...25 мм, а другая либо другие пластины выполнены из обычной стали и имеют толщину 5...25 мм, сварку пластин по периметру с герметизацией пространства между ними, отжиг для снятия напряжений, горячую деформацию пакета пластин ковкой и/или прокаткой в две стадии, из них на первой стадии — после нагрева до 1150...1250 °С с общей степенью деформации 45...75 %, на второй стадии — после нагрева до 1050...1180 °С с общей степенью деформации 35...65 % с получением двухслойных или многослойных листов толщиной 2...12 мм, отжиг, резку двухслойных или многослойных листов на двухслойные или многослойные заготовки, создание искаженной формы всех или некоторых слоев заготовки, выравнивающую ковку и/или прокатку со степенью деформации 15...75 % до получения двухслойного или многослойного изделия толщиной 1,5...6,0 мм, закалку, отпуск, шлифование по плоскости либо под углом 10...30° и выявление на шлифованной поверхности узоров, характерных для дамасской и булатной стали. Заявка РФ 2007118526. М. П. Галкин, Е. А. Никандрова, В. Е. Тихомиров, Е. К. Захаров, А. А. Чеканов, В. Н. Никандров, И. М. Галкин, А. М. Галкин, В. В. Логинов, С. В. Федорова, Е. Е. Захарова, О. Е. Захарова.

Высокопрочная сварная стальная труба, у которой основной металл трубы является сталью с пределом прочности на разрыв по меньшей мере 760 МПа, а сварной шов образован внутренней шовной сваркой с последующей наружной шовной сваркой, отличающаяся тем, что предел прочности на разрыв наплавленного металла сварного шва составляет по меньшей мере 780 МПа, и средний диаметр зерна первичного аустенита в наплавленном металле внутреннего сварного шва, образованного внутренней шовной сваркой, составляет по меньшей мере 90 мкм и не превышает 150 мкм. Заявка РФ 2007120792. М. Хамада, С. Окагути, Ю. Комизо (Япония).



Электрод для подводной сварки, который состоит из стержня из проволоки Св-08 и покрытия, содержащего рутиловый концентрат, полевой шпат и ферросилиций, отличающийся тем, что покрытие дополнительно содержит флюорит, оксид железа, магнезит металлургический, марганец металлический, никелевый порошок и карбоксиметилцеллюлозу при соотношении компонентов, мас. %: 19,5...28,0 флюорита; 18,0...33,5 рутилового концентрата; 13,0...28,0 оксида железа; 8,0...12,0 полевого шпата; 4,0...8,0 магнезита металлургического; 5,0...10,0 марганца металлического; 0,5...2,0 ферросилиция; 0,5...3,5 никелевого порошка; 1,5...2,0 карбоксиметилцеллюлозы. Заявка РФ 2006115931. И. В. Ляховая, С. Ю. Максимов, В. С. Бут, А. А. Радзиевская, М. Н. Дрогомирецкий, Б. И. Педько, А. Ф. Оверко (НИПИАСУ-трансгаз).

Способ сварки рельсов, включающий установку концов свариваемых рельсов с образованием между их торцами сва-

рочного зазора, размещение вокруг концов рельсов, в зоне сварочного зазора, разъемной камеры, заполненной металлургическим флюсом, нагрев концов рельсов проводят в два этапа, на первом электрический ток подают через узлы подключения к головкам и вертикальным стенкам свариваемых рельсов и нагревают их до температуры 400...500 °С, а на втором этапе электрический ток подают на нагревательные прокладки, и нагревают торцы головок и оснований свариваемых рельсов до температуры сварки, и к сварочным рельсам прикладывают сварочное давление для выполнения диффузионной сварки рельсов, отличающийся тем, что после приложения сварочного давления производят охлаждение сварного шва со скоростью 60...70 °С до температуры $M_H^{\circ}C(M_H + 400)^{\circ}C$, затем выдержка 2...3 мин и последующее охлаждение на воздухе. Заявка РФ 2007115948. А. А. Бондаренко, Г. Р. Маеров, С. И. Субботина, Р. М. Галанцев (СамГАПС).



AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL (Австралия) 2007. — Vol. 52, Fourth Quarter (англ. яз.)

Schulz B. Дополнительные источники энергии (ветряные электростанции), с. 4–5.

Raj B., Bhaduri A. K. Технология сварки для устойчивого развития атомной энергетики — перспективы Индии, с. 6–10.

Солнечная энергия — очевидный выбор, с. 14–15.

Вода — жидкое золото, с. 16–17.

Проблемы, связанные с трубопроводной промышленностью, с. 18.

Allen C. Краткий обзор последних разработок в области процессов лазерной сварки для трубных ферритных сталей, с. 21–22.

Badneka V. J., Agrawal S. K. Испытания на разрушение при поперечном растяжении оцинкованного стального листа, сваренного контактным точечным способом, с. 35–38.

Sharma A. et al. Моделирование с помощью нейронной сети искусственного интеллекта, с. 39–48.

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



BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH (Польша) 2008. —
Рос. 52, № 4 (пол. яз.)

Klimpel A., Kik T., Krasowski K. Технологии плазменных микронаплавки и микропереплава сверхсплава на основе никеля 713С, с. 47–20.

Pieteras A., Miara D. Мониторинг процессов сварки трением, с. 51–54.

Radek N., Daszkiewicz L., Korny Z. Геометрическая структура поверхности после резки плазменной дугой, с. 57–59.

JOURNAL of JAPAN INSTITUTE of LIGHT METALS (Япония) 2007. —
Vol. 57, № 7 (яп. яз.)

Terawaki T. et al. Комбинированная модификация поверхности магниевого сплава AZ31В путем нанесения, с. 269–273.

Matsumoto R. et al. Влияние термообработки на ковкость магниевого сплава AZ31, с. 274–279.

Yoshihiro N. et al. Влияние деформационного старения на флуктуацию напряжений во время деформации растяжением листового алюминиевого сплава 5083, с. 280–285.

Yamaguchi T. et al. Механические свойства формованных изделий из уплотненной стружки сплава Mg96Zn2Y2 непрерывного прессования выдавливанием, с. 286–292.

Ishida A. et al. Микроструктура и механические свойства Ti–Ni сплава с памятью формы, с. 293–300.

Takatsuji N. et al. Лекции по прессованию выдавливанием, с. 301–310.

Специальный курс по производству алюминия. —
С. 316. (Весь текст на яп. яз.)

Специальный выпуск отделения Канто по производителям металлов, сплавов, конструкций и деталей, с. 317. (Весь текст на яп. яз.)

JOURNAL of JAPAN INSTITUTE of LIGHT METALS (Япония) 2007. —
Vol. 57, № 8 (яп. яз.)

Furushima T., Manabe K. Процесс бесфильтрной вытяжки полых фасонных пресс-профилей алюминиевого сплава, с. 351–356.

Ochi H. et al. Оценка предела прочности при растяжении и усталостной прочности соединений технически чистых алюминия и меди, выполненных сваркой трением, по тепловложению при деформации, с. 357–361.

Hatanaka N. et al. Влияние пластической деформации на механизмы восстановления листов чистого мягкого алюминия, с. 362–365.

Mochizuki T. et al. Структура и характеристики электростатической емкости анодных оксидных плен на быстро охлажденных алюминиевых сплавах, с. 366–370.

Seri O. Основной смысл диаграммы потенциал–рН и поляризационной кривой при изучении коррозии и защиты от нее алюминия, с. 371–380.

Yoshida K. Лекция по волочению легких металлов, с. 381–388.

JOURNAL of JAPAN INSTITUTE of LIGHT METALS (Япония) 2007. —
Vol. 57, № 9 (яп. яз.)

Aida T. et al. Измельчение структуры и обеспечение сверхпластичности при высокой скорости деформации путем горячей экструзии механически обработанной стружки магниевого сплава AZ91D, с. 391–397.

Nakayama Y. et al. Температурная зависимость зубчатости, полос и следов деформации при температуре 318 К в алюминиевом сплаве 5083, с. 398–404.

Oya-Seimiya Y. et al. Формирование AlN/Al композита, с. 405–410.

Sudo M. et al. Влияние прокатки в вакууме на развитие текстуры холодной прокатки {111} на поверхности тонколистового алюминия 1050, с. 411–415.

Shibayanagi T. Микроструктурные аспекты сварки трением с перемешиванием, с. 416–423.

Fuchizawa S. Лекция по гидроформингу трубок, с. 424–434.

JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY (Япония) 2008. — Vol. 77, № 4 (яп. яз.)

Takao M. Совместная деятельность по национальной адаптации (слияние с промышленностью), с. 6–8.

Koji G. Разработка цифровых моделей роста усталостной трещины в сварных соединениях, с. 9–13.

Специальный выпуск. ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРКИ

Toshio A., Toshihiko K. Компьютерное моделирование формирования структуры стальных сварных швов, с. 15–19.

Kenji S., Motomichi Y., Peng W., Tomoko T. Прогнозирование зарождения кристаллизационных трещин в металле шва, с. 20–25.

Yuichi K. Методики оперативного контроля кристаллизации и фазовых превращений в процессе сварки, с. 26–31. Лекционные заметки.

Yoshinori H. Ч. 1. Способы сварки и сварочное оборудование. 1-2. Сварка МИГ/МАГ, с. 32–39.

Tetsuya T. Ч. 3. Механические свойства и расчет сварных конструкций. 3-2. Механические испытания материалов, с. 40–47.

Yukinori H. Способы измерения сварочного тока и напряжения на дуге, с. 48–50.

Takashi I. Мировые тенденции применения современных лазеров, с. 51–53.

Toshiya S. Тематика исследований сварки трением с перемешиванием в университете Торонто, с. 54–57.

Tadafumi H. Интервью студента Осацкого университета, с. 58–61.

*DER PRAKTIKER (Германия) 2008. — № 5 (нем. яз.)*

B DVS организовано новое научное общество по технике соединения, с. 158.

Международная конференция и выставка по термическому напылению с 2 по 4 июня 2008 г. в Маастрихе (Нидерланды), с. 158.

Dien W. Новые стандарты по термическому напылению, с. 164–166.

Trommer G., Spierling D. Рациональная экологическая технология плазменной резки в изготовлении металлоконструкций, с. 168–170.

Aichele G. Старые оправдавшие себя и новые правила для МИГ/МАГ-сварщика, с. 174–181.

Tatter U. Актуален ли еще ацетиленовый генератор?, с. 182–184.

Zwatz R. Ссылки на нормативы, с. 185–186.

DER PRAKTIKER (Германия) 2008. — 6 (нем. яз.)

Gerster P. Ультразвуковая ударная обработка — возможность значительно увеличить долговечность сварных конструкций, с. 192, 194, 196–197.

Trillmich R. Обеспечение качества при приварке шпилек. Что об этом сказано в DIN EN ISO 14 555:2006 (Ч. 1), с. 198–202.

Zwatz R. Необходимость в сертификации и ее применение согласно серии стандартов DIN EN ISO 3834, с. 203–207.

Baier E. Обработка сварных швов — Старая техника «проковка» — сравнение с УУО, с. 208–211.

Fiala J. et. al. Правила предприятий об обеспечении по старости вредят работающим, с. 212–213.

Schmidt J. Коррозия стальных конструкций — белая ржавчина и ржавчина, вызванная посторонними примесями, с. 214–216.

Schuster J. Легенды, профессиональные предприятия и вандалы. Не доказанная, но вполне допустимая история, с. 217–218, 220–222.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2008. — № 6 (пол. яз.)

Labanowski J., Glowacka M. Цвета побежалости на сварных соединениях из нержавеющей стали, с. 3–6.

Dutka K., Stabryla J. Причины коррозии сварных швов контейнера из аустенитной стали, используемого в молочной промышленности, с. 7–10.

Wincza M. Техническая некомпетентность — реальность или фикция (анализ проблемы), с. 11–14.

Stabryla J., Dutka K. Анализ разрушения сварных конструкций, с. 15–20.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (Польша) 2008. — № 7 (пол. яз.)

Tasak E. et al. Влияние термообработки после сварки на структуру и свойства сварных соединений их хромоникелевой нержавеющей стали с мягким мартенситом, с. 3–8.

Urzynicki M., Szubryt M. Новый подход к сварке коллекторных труб, изготовленных из стали марки 16Mo₃, с. 9–16.

Mirski Z., Drzeniek H., Wojdat T. Вредное влияние бесвинцовых припоев и защита паяных устройств от повреждений, с. 17–20.

Bartnik Z., Zimniak Z. Модель, описывающая нагрев зерен в процессе облицовки с помощью контактного спекания, с. 21–24.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (Италия) 2008. — № 3 (итал. яз.)

Отчет руководства Итальянского института сварки о деятельности за 2007 г. и планы на 2008 г., с. 327–330.

Canale G. Особенности процедуры оценки рисков и периодическая инспекция, с. 343–347.

Rosellini C., Jarvis L. Процесс сварки ТИГ с кинжальным проплавлением — альтернативное решение для соединения дорогостоящих материалов, с. 351–356.

Angelotti S., Vanerk P. Присадочные материалы для сварки резервуаров для хранения природного сжиженного газа из стали с 9 % никеля, с. 359–368.

Lorenzin G., Rutili G. Использование низкого тепловложения при сварке — эксперимент по плакировке и пайке методом переноса холодного металла (CMT), с. 373–383.

Daurelio G. Измерительная аппаратура для расчета эффективности процесса лазерной сварки, с. 387–399.

Holmberg B., Bergquist A. Соответствующие методы коррозионных испытаний сварных швов из нержавеющей стали, с. 403–407.

Металлургия и свариваемость оцинкованных сталей, с. 411–416.

SOUDEGE ET TECHNIQUES CONNEXES (Франция) 2007. — Vol. 61, № 7/8 (франц. яз.)

Cys становится лидером в области конструирования сварочных источников питания, с. 10–11.

Valk Welding (страны Бенилюкс) укрепляют свои позиции на сварочном рынке в Европе, с. 14.

Высокопрофессиональные комплексы по обучению и аттестации, с. 16–17.

Randstad (объединение по обслуживанию людскими ресурсами) объявило соревнование для приема на работу 100 сварщиков во Франции, с. 20.

Яценстая наплавка — принцип и области применения в черной металлургии, с. 29–38.



Актуальные проблемы современного материаловедения: В 2 т. — Киев: ИД «Академпериодика», 2008. — Т.1. — 656 с.; Т.2. — 656 с.

Двухтомное издание посвящено актуальным проблемам современного материаловедения — созданию материалов с наперед заданными свойствами, методов их соединения и обработки для применения в машино- и приборостроении, авиационной и космической технике, инструментах и электронике. Рассмотрены состояние научных исследований по указанным проблемам и перспективы их дальнейшего развития. В издание вошли обзорные статьи, подготовленные известными учеными-материаловедами.

Первый том состоит из трех разделов: сварочные процессы и технологии, металлургические процессы, технологии и конструкционные материалы, во втором томе два раздела: функциональные и композиционные материалы и физико-химическая механика и прочность материалов.

Для специалистов, занятых в различных областях материаловедения, а также преподавателей, аспирантов и студентов вузов.



Ю. Н. Тюрин, М. Л. Жадкевич. Плазменные упрочняющие технологии. — Киев: Наук. думка, 2008. — 216 с.

В монографии представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований нестационарных процессов формирования высокоэнергетических плазменных струй и созданных на их базе комплексных упрочняющих технологий. Технологии позволяют легировать и структурировать только рабочие поверхности изделий, что многократно повышает их физико-механические свойства без изменения структурного состояния всего изделия. Показано, что комплекс разработанных технологий многократно повышает коррозионную стойкость, прочность, износостойкость, усталостную прочность изделий при циклических нагрузках и т. д. Наряду с теоретическим материалом широко представлена информация по применению и эффективности использования разработанных технологий в промышленности.

Для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий и институтов, которые специализируются в области упрочняющей обработки изделий.





МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА EXPOWELDING 2008 И КОНФЕРЕНЦИЯ В СОСНОВЦЕ

С 21 по 23 октября 2008 г. в Сосновце (Польша) в выставочном комплексе «Силезия» прошла Международная выставка ExpoWelding 2008. Экспозиция выставки занимала более 8500 м² и включала более 130 экспонентов из 12 стран мира.

Особенностью выставки являлось то, что крупнейшие мировые лидеры в области сварки и смежных технологий были представлены совместно с Польшей предприятиями, либо только представителями. Среди крупнейших экспозиций, включающих действующее сварочное оборудование, следует отметить ESAB, Lincoln Electric, Fronius, Cloos и др.

Украина на выставке была представлена коллективным стендом в составе ИЭС им. Е. О. Патона, Каховского завода электросварочного оборудования (КЗЭСО), фирмы «СЭЛМА» (г. Симферополь), ПО «Коммунар» (г. Харьков), завода сварочного оборудования «Донмет» (г. Краматорск). Особый интерес у посетителей стенда Украины вызвали разработки КЗЭСО, связанные с созданием специализированного оборудования для сварки рельсов как в стационарных, так и в монтажных условиях. Экспозицией ИЭС им. Е. О. Патона заинтересовались многие специалисты из Польши и других стран, в частности, результатами исследований в области сварки живых тканей, электронно-лучевой сварки авиационных конструкций, технологии получения новых титановых сплавов, а также наплавочными материалами, обеспечивающими особую износостойкость наплавленного металла. По некоторым вопросам, например, по сварке трением с перемешиванием, польская сторона предложила проводить совместные исследования, в том числе и в рамках существующих общеевропейских научных программ.

Специалистами-представителями из Украины были проведены многочисленные переговоры с зарубежными партнерами с целью заключения взаимо-

выгодных соглашений и налаживания более тесных коммерческих взаимоотношений.

Параллельно с выставкой проходила 50-я Международная научно-техническая конференция «Современное сварочное производство». На ней было представлено 24 доклада, которые широко иллюстрировались современными методами передачи информации, включая видеофильмы.

Одной из главных на конференции была тема сертификации. По ней было представлено три доклада, в том числе совместный доклад португальского и английского институтов сварки «Направления развития европейской и международной системы обучения и сертификации в области сварки» (под эгидой МИСа). В докладе, в частности, отмечалась необходимость внедрения стандартов EN ISO 3834 и TN ISO 14731 как одной из ключевых проблем, решением которой активно занимаются во всем мире, в том числе и в польском Институте сварки. Доклад вызвал оживленную дискуссию так же, как и другие доклады из Германии, посвященные этой теме — *Х. Герольда* и др. «Вехи в области техники соединения — производство благ в Германии посредством сварочного производства» и *С. Кайтеля* и *Х. Аренса* «Обучение и повышение квалификации в сварочном производстве и исследованиях материалов».

Проблеме сертификации были посвящены также доклады *М. Амее* и др. «Защитные газы — их роль и классификация в сварочном производстве» и *Л. Коста* «Здоровье и безопасность при изготовлении сварных элементов: аспекты, действия и проблемы с правилами».

Большое внимание было уделено лазерным технологиям. По этой теме было представлено три польских сообщения. В докладе «Лазерные сварочные технологии. Примеры использования диодного лазера большой мощности» (*А. Климмель* и др.) опи-





саны основы процессов лазерной сварки, пайки, наплавки, введения легирующих элементов и термообработки, а также проведен анализ преимуществ и недостатков этих процессов. Особо следует подчеркнуть применение этого метода для переплавки поверхностных дефектов лопаток турбин.

В докладе *Я. Пилярчика* и др. «Различные техники соединения с помощью лазера — результаты исследований и возможности использования» дана общая характеристика технологий лазерной сварки. Приведены примеры применения традиционных лазерных технологий, разработанных в Институте сварки в Гливицах. Оговорены проводимые в настоящее время исследования в области специальных лазерных технологий: сварки с фокусированием луча в двух точках, гибридных способов сварки и сваркопайки.

В докладе «Использование волоконных лазеров при изготовлении элементов котлов для энергетической промышленности» (*И. Адамiec* и др.) представлены результаты соединения трубных панелей с помощью гибридной сварки волоконным лазером и сваркой МАГ, в результате чего производительность выросла в 4 раза. Лазерная сварка оребренных труб, которые применяются в теплообменниках, может производиться со скоростью 60 м/мин с полным проплавлением при удовлетворении требований по качеству на уровне В по стандарту EN ISO 5817.

Огромный интерес вызвал доклад *Е. Матусиака* и *Т. Пфайфера* (Польша) «Способы дуговой сварки в среде защитных газов с низким тепловложением — влияние материало-технологических условий на качество соединений и выделение сварочного аэрозоля в рабочую среду». Исследования охватывают механизированную сварку и сваркопайку нелегированной стали S235J2, а также оцинкованных горячим и электролитическим способами сталей толщиной 1,5 мм.

В докладе *Е. Грундманна* (Франция) «Высокопроизводительная сварка тонколистового металла — TIG» описаны преимущества применения высокопроизводительной разновидности ТИГ сварки. При соответствующем подборе защитного газа можно достичь большой скорости сварки, отсутствия

разбрызгивания и хорошего внешнего вида шва. Описано строение сварочной горелки, используемой в этом процессе, и протекание самого процесса.

Большое внимание на конференции было уделено эффекту микролегирования ниобием — проблеме, которая изучалась в ИЭС им. Е. О. Патона много лет назад с соответствующими практическими результатами. В докладе *Х. Морбахера* «Большое значение микролегирования ниобием для свариваемости сталей» отмечается, что микролегирование, особенно ниобием, в сочетании с контролируемой прокаткой позволяет сохранить высокую прочность высокопрочных низколегированных сталей (HSLA) при снижении в них содержания углерода, что улучшает их свариваемость. Показано, каким образом микролегирование ниобием может улучшить свариваемость сталей при различных способах сварки, включая лазерную.

В докладе *Е. Брузда* и *М. Зеemана* (Польша) «Свариваемость микролегированных сталей с повышенным содержанием ниобия» подчеркиваются высокие значения работы разрушения основного металла и удовлетворительная стойкость металла ЗТВ сварных соединений к хрупкому разрушению. Исследуемые стали не проявляют склонности к возникновению холодных трещин, что было подтверждено испытаниями на образцах типа Теккен.

Новый подход к оценке роли водорода в процессе образования холодных трещин в соединениях микролегированных и бейнитных низколегированных сталей рассмотрен в докладе *Е. Тасака* и др. (Польша) «Роль водорода в процессе разрушения швов — новый взгляд». Авторы утверждают, что началом холодных трещин типа «shewton» являются горячие трещины, в которых накапливается водород, вызывающий после охлаждения замедленное трещинообразование.

Большой объем экспериментальных данных обобщен в докладе *Т. Аммана* (Германия) «Дуговая сварка в среде защитных газов аустенитно-ферритных сталей». В нем отмечается, что наиболее важным фактором при сварке сталей «duplex» является обеспечение одинаковой доли феррита и аустенита, что оказывает решающее влияние на свойства шва. Основное внимание уделено вопросам как влияния специальных



защитных газов на соотношение феррита и аустенита в металле шва при различных сварочных процессах, как, например, при сварке МИГ/МАГ и ТИГ (с присадочным материалом или без него), так и защитных газов на свойства, внешний вид, форму шва, а также его коррозионную стойкость.

Нельзя не отметить работу *М. Шубрыта* и *Х. Фрыца* (Польша) «Сравнение свойств соединений листовой ферритной стали X2CrNi12, полученных с помощью плазменной сварки и контактной точечной сварки». Установлено, что при изготовлении железнодорожных транспортных средств можно использовать обе технологии соединения. Преимущество плазменной сварки заключается в более низкой стоимости сварочного оборудования по сравнению с очень дорогостоящим порталом для контактной сварки.

Три доклада на конференции были посвящены пайке. *В. Ф. Хорунов* (Украина) представил доклад «Пайка жаропрочных сплавов на основе никеля и титана», в которых были предложены новые системы припоев для пайки суперсплавов и интерметаллидного сплава γ -TiAl, разработанные на основе построения соответствующих участков диаграмм состояния.

В докладе *А. Виноовски* и *М. Ружаньски* (Польша) «Диффузионная пайка титана и его сплава с алюминием на базе фазы γ -TiAl» приведены струк-

тура и свойства соединений, полученных с использованием известных систем припоев.

Интересные практические результаты, полученные *З. Мирски* и др. (Польша), изложены в докладе «Порошковые припои для высокотемпературной пайки алюминия и его сплавов». В частности, проведено сравнение пайки с помощью припоев AlSi12 с некоррозионноактивным флюсом с помощью припоев в традиционном виде и в виде порошковой проволоки. Припои применены при пламенной пайке алюминиевых теплообменников.

На конференции были также представлены доклады, посвященные расчетным методам исследования свариваемости (*Е. Ранатовски*, Польша), модельным испытаниям сварных соединений в газовых трубопроводах высокого давления (*П. Бернасовски*, Словакия), термографическим исследованиям термоцикла наплавки (*Е. Новацки* и *А. Выпрых*, Польша), сварке алюминия трением с перемешиванием (*Д. Миара* и др., Польша) и др.

Следует особо подчеркнуть четкую организацию конференции, высокую квалификацию и исключительную доброжелательность персонала.

В. Ф. Хорунов, д-р техн. наук,
Н. Г. Третьак, канд. техн. наук

УДК 621.791:061.2/4

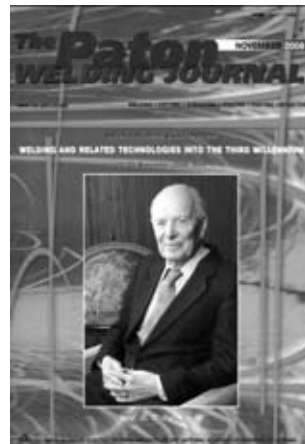
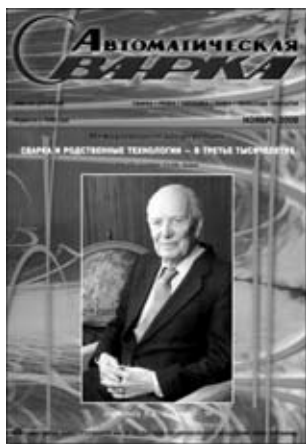
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — В ТРЕТЬЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЕ»

24–26 ноября в Киеве в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины прошла представительная Международная конференция «Сварка и родственные технологии — в третье тысячелетие», организованная Национальной академией наук Украины, Институтом электросварки, Межгосударственным научным советом по сварке и родственным технологиям и Международной ассоциацией «Сварка». В ней приняли участие представители академических и отраслевых НИИ, научных, проектно-конструкторских и инженерных центров, промышленных предприятий и учебных университетов, руководители и менеджеры бизнес-структур и др. Кроме сотрудников Института электросварки, в конференции участвовали свыше 160 представителей из стран дальнего (Австрия, Австралия, Болгария,

Бразилия, Германия, Испания, Канада, КНР, Македония, Польша, Румыния, Словакия, США, Франция, Швейцария, Япония) и ближнего зарубежья (Беларусь, Грузия, Россия, Казахстан).

Программа конференции включала в первый день ознакомление ее участников со стендовыми докладами (211 докладов) по пяти разделам:

технологии, материалы, оборудование для сварки, пайки, наплавки и резки (90 докладов);



прочность, неразрушающий контроль, ресурс сварных соединений и конструкций (76 докладов); математические методы моделирования сварочных процессов (11 докладов);

технологии, материалы и оборудование для нанесения покрытий (17 докладов);

специальная электрометаллургия (17 докладов).

Ознакомление со стендовыми докладами произошло в просторном зале научно-технической библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона и сопровождалось оживленными дискуссиями.

Во второй и третий день конференции был заслушан 31 пленарный доклад известных ученых и специалистов по актуальным проблемам сварки и родственным технологиям. Среди докладчиков академики Б. Е. Патон, С. И. Кучук-Яценко, И. К. Походня, Л. М. Лобанов, Б. А. Мовчан, К. А. Ющенко, В. В. Панасюк (Украина), И. В. Горынин, Н. П. Алешин, Е. Н. Каблов, Ю. В. Цветков (Россия), видные ученые и специалисты из Австралии, Германии, Японии, Китая, Польши, Бразилии, Румынии, Болгарии, Австрии.

К началу работы конференции пленарные доклады были опубликованы в текущих номерах журналов «Автоматическая сварка» (русский язык) и «The Paton Welding Journal» (английский язык), а тезисы стендовых докладов были изданы в виде отдельного сборника.

Кроме того, 24 ноября состоялось заседание бюро Межгосударственного научного совета по сварке и родственным технологиям. В работе приняли участие представители Республики Беларусь, Республики Грузия, Республики Казахстан, Российской Федерации и Украины. На заседание бюро был приглашен председатель Международного органа по аккредитации Международного института сварки и Европейской сварочной федерации господин *Г. Хернандес* (Испания). Основное внимание было уделено вопросам стандартизации в области сварки и организации работ по системе управления качеством в сварочном производстве. Рассмотрены также некоторые организационные вопросы.

В результате всестороннего обсуждения рассматриваемых проблем бюро единогласно приняло, в частности, следующие решения:

1) признать целесообразным создание рабочей группы МТК-72 по подготовке единого каталога терминов и обозначений в сварочном производстве на русском, украинском и английском языках. Сторонам-участникам соглашения о научно-техническом-сотрудничестве подготовить предложения по персональному составу от своей страны;

2) рекомендовать на базе Уполномоченного национального органа по сертификации сварочных производств «ПАТОНСЕРТ» создать методический центр по разработке документации на сертификацию сварочных производств в соответствии с требованиями серии стандартов ISO 3834, включив в

его состав представителей от Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины и других стран-участниц соглашения о научно-техническом сотрудничестве;

3) рекомендовать сторонам-участникам соглашения о научно-техническом сотрудничестве создать национальные центры по сертификации сварочных производств, действующих от имени Уполномоченного национального органа по сертификации «ПАТОНСЕРТ» согласно системе сертификации фирм EWF IS03834.

Члены бюро Межгосударственного Научного совета по сварке и родственным технологиям выразили взаимную заинтересованность в развитии всесторонних связей ученых и специалистов сотрудничающих стран.

В период работы конференции 24 и 25 ноября были проведены заседания Совета Международной ассоциации «Сварка», в которых приняли участие представители ИЭС им. Е. О. Патона, Мариупольского ГТУ (Украина), Волгоградского ГТУ (Россия), Института сварки в Гливицах (Польша), Института сварки «ЮГ» (Македония), КЗУ Холдинг Групп (Болгария), Общества сварщиков Грузии.

Дирекция МАС отчиталась о проделанной работе за 2006–2008 гг., выделив основные направления деятельности МАС, которые выполнялись в тесном сотрудничестве с ИЭС им. Е. О. Патона: электрическая сварка мягких живых тканей и издательская деятельность.

По первому направлению работ особенно успешным был 2008 г. МАС организовала серийное производство сварочных электрокоагуляторов на заводе «Счетмаш» (Полтавская обл.), что значительно повысило их надежность. В августе 2008 г. американский партнер МАС по проекту электрическая сварка живых мягких тканей — компания «Consortium Service Management Group» — получила разрешение FDI на применение технологии сварки сосудов в США и аналогичное разрешение CE Mark для стран Европейского Союза.

Среди задач МАС на 2009 г. по проекту сварки живых мягких тканей Совет МАС выделили следующие: дальнейшее продвижение технологии в Украине, получение сертификатов на технологию в России и Белоруссии.

Члены Совета МАС поддержали усилия руководства МАС по направлениям издательской деятельности, отметив важность издания трудов конференций, проводимых МАС.

Совет МАС единогласно продлил полномочия академика Б. Е. Патона в качестве Председателя Совета МАС на период 2008–2010 гг. и назначила А. Т. Зельниченко директором МАС.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук,
А. Т. Зельниченко, канд. техн. наук



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО НАНОТЕХНОЛОГИЯМ

3–5 декабря 2008 г. в Москве в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр» прошел международный форум по нанотехнологиям «Rusnanotech», организованный Государственной корпорацией «Российская корпорация нанотехнологий». Это крупнейшая ежегодная российская выставка в области нанотехнологий и наноматериалов.

Пленарное заседание форума открыл заместитель Председателя Правительства Российской Федерации, Председатель Организационного комитета по подготовке и проведению форума С. Б. Иванов, зачитавший приветствие Президента Российской Федерации Д. А. Медведева и обратившийся к собравшимся со вступительной речью. В рамках пленарного заседания выступили министр экономического развития Российской Федерации Э. С. Набиуллина, директор РНЦ «Курчатовский институт» М. В. Ковальчук («Нанотехнологии — основа новой наукоемкой экономики постиндустриального общества»), исполнительный директор Института лазеров, фотоники и биофотоники Парас Прасад (США) («Нанотехнологии и технические вызовы XXI века»), Вице-президент РАН, лауреат Нобелевской премии Ж. И. Алферов («Полупроводниковые наноструктуры — основа развития современной электроники и высокоэффективной энергетики»). Выступление генерального директора ГК «Роснано-тех» А. Б. Чубайса завершило торжественную часть пленарного заседания. Программу заседания продолжила дискуссия «Бизнес и нанотехнологии», в которой приняли участие А. А. Мордашов (ОАО «Северсталь»), М. Д. Прохоров (группа ОНЭК-СИМ), Уве Крюгер (Oerlikon), Джонг Мин Ким (Samsung Electronics), Оуэн Кемп (HP), В. В. Авдеев (Унихимтек), В. А. Быков (НТ-МДТ).

В мероприятиях форума приняли участие 9024 представителя мировой наноиндустрии, предпринимателей, государственных деятелей и ученых, из которых 8354 участника из 90 городов Российской Федерации и 670 участников из 32-х зарубежных стран (Австрия, Австралия, Азербайджан, Армения, Белоруссия, Болгария, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Дания, Израиль, Иран, Италия, Казахстан, Канада, Китай, Латвия, Литва, Мальта, Нидерланды, Польша, Сингапур, США, Украина, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция, Южная Корея, Япония), в том числе 4048 участников конгрессной части форума, 4212 посетителей выставки и 559 человек, работавших на выставочных стендах. 205 представителей СМИ освещали работу форума. В программах презентаций

и дискуссий деловой части форума в качестве дискуссантов, координаторов и докладчиков приняли участие 236 человек, из которых 131 российский и 105 международных представителей. Проведено 12 дискуссий, в которых приняли участие 127 представителей российского и международного бизнеса. В 12-ти программах презентаций было сделано 109 презентаций продуктов, технологий, компаний — мировых лидеров наноиндустрии.

Научно-технологические секции охватили 18 основных направлений развития нанотехнологий и создания наноматериалов: наноэлектронику; нанопотонику; нанодиагностику; конструкционные наноматериалы и высокочистые вещества, функциональные наноматериалы для энергетики, конструкционные наноматериалы и наноматериалы со специальными свойствами, функциональные наноматериалы (катализаторы, сорбенты, мембраны), химию и химическую технологию наноматериалов, наноматериалы для электроники, магнитных систем и оптики; наноэлектромеханические системы; нанотехнологии в энергетике; наномеханику и наноплазму; нанобиотехнологии; биологические молекулярные машины; нанотехнологии в медицине; нанотехнологии в онкологии; математическое моделирование нанотехнологий; образование в области нанотехнологий.

В выставке приняли участие 311 организаций из РФ, Австрии, Великобритании, Германии, Ирана, Латвии, Литвы, Нидерландов, США, Финляндии, Франции, Швеции, Японии. Форум продемонстрировал растущий научно-технический потенциал России в области нанотехнологий, подтвердил неосценимую роль обмена знаниями между зарубежными и российскими нанотехнологами для развития наноиндустрии в России, предоставил возможность российскому бизнесу непосредственно ознакомиться с передовыми мировыми и отечественными разработками в области нанотехнологий и их авторами. В рамках форума было объявлено об учреждении ГК «Роснано-тех» Международной премии в области нанотехнологий. Премия будет присуждаться ежегодно за внедрение в производство научных разработок в области нанотехнологий и вручаться авторам конкретной научной разработки (не более трех человек). Общее количество лауреатов в течение одного года не может превышать трех. Руководителю или полномочному представителю компании, осуществившей практическое внедрение данной разработки, будет вручаться Почетный диплом, премия и наградной символ Премии. Размер премии в 2009 г. составит 3 млн руб.

Г. К. Харченко, д-р техн. наук

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ!



*Коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, редколлегия и редакция журнала «Автоматическая сварка» горячо и сердечно поздравляют заведующего отделом, доктора технических наук, академика НАН Украины **Владимира Ивановича Махненко** и кандидата технических наук, старшего научного сотрудника **Виктора Степановича Бута** с присвоением им Государственной премии Украины в области науки и техники.*



УКАЗ

ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

від 1 грудня 2008 р. № 1121/2008

Київ

Про присудження Державних премій України в галузі науки і техніки 2008 року

На підставі подання Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки **постановляю:**

присудити Державні премії України в галузі науки і техніки 2008 р. за розробку та впровадження технологій ремонту магістральних трубопроводів під тиском:

МАХНЕНКУ Володимирі Івановичу — академікові Національної академії наук України, завідувачу відділу Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

БУТУ Віктору Степановичу — кандидатів технічних наук, старшому науковому співробітникові Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

Президент України **В. ЮЩЕНКО**

В. Н. БЕРНАДСКОМУ — 80



Всеволоду Николаевичу Бернадскому, заведующему отделом Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, кандидату технических наук, члену-корреспонденту АН Украины, заслуженному деятелю науки и техники Украины — 80 лет. В. Н. Бернадский —

один из представителей Патоновской научной школы и вся его трудовая деятельность связана с Институтом электросварки, в котором он работает с 1952 г. после окончания с отличием Киевского политехнического института.

Свою научно-инженерную деятельность В. Н. Бернадский начинал под руководством лауреата Ленинской премии Г. В. Раевского, участвуя в разработке и внедрении технологий индустриального производства и монтажа сварных преобразуемых конструкций — рулонированных резервуаров большой емкости и тонкостенных плоскостоварачиваемых труб. Он был участником строительства и пуска первых в бывшем Советском Союзе промышленных установок для выпуска рулонированных стенок и днищ резервуаров. В дальнейшем вел разработку и исследование технологий электродуговой сварки тонкого металла на флюсомедной подкладке и контактной шовной сварки. В сотрудничестве с И. В. Кирдоими была разработана оригинальная технология скоростной рельефно-роликовой сварки. В 1962 г. В. Н. Бернадским была успешно защищена кандидатская диссертация на тему «Вопросы технологии сварки и прочности плоскостоварачиваемых труб».

Уже в этот период В. Н. Бернадского привлекают к большой научно-организационной работе. Начиная с 1962 г. В. Н. Бернадский более 20 лет был ученым секретарем Института электросварки и заместителем главного редактора журнала «Автоматическая сварка». Эту деятельность он совмещал с научной работой в области технологии сварки тонколистовых конструкций.

В начале 1980-х годов В. Н. Бернадский по инициативе директора Института электросварки академика Б. Е. Патона сформировал и возглавил в институте новое направление по анализу состояния и технологическому прогнозированию развития мировой сварочной науки и сварочного производства. Разработанная В. Н. Бернадским с сотрудниками от-

дела система информационно-экономического мониторинга мирового рынка сварочной техники и комплексно-ситуационного анализа развития сварочной науки и сварочного производства в ведущих странах и регионах мира базируется на оригинальных методиках, современных информационных технологиях и созданных проблемно-ориентированных базах и банках данных. Системный анализ экономико-статистической информации находит свое отражение в международном сборнике «СВЭСТА», издаваемом при содействии Международного института сварки. Данное направление исследований значительно расширило возможности института по выбору приоритетной тематики научных исследований и эффективному трансферу новых технологий с учетом конъюнктуры мирового и региональных рынков сварочной техники, а лично В. Н. Бернадский стал признанным авторитетом в области анализа состояния и тенденций развития мирового сварочного производства, техники и технологий сварки и родственных процессов.

Значительное место в научной деятельности В. Н. Бернадского занимает формирование и актуализация сварочной терминологии на украинском языке. Под его редакцией и при его участии вышла серия многоязычных словарей по сварке на украинском, русском и английском языках, в том числе первый электронный русско-украинский словарь по сварке.

Результаты многолетней активной научно-инженерной деятельности В. Н. Бернадского представлены более чем в 320 научных публикациях, изданных в сварочной и экономической периодике Украины, России, Великобритании, Польши и других стран; среди них 22 авторских свидетельства и патента, 12 книг и брошюр, 15 справочников и словарей.

За выдающийся вклад в развитие сварочной науки и техники В. Н. Бернадский награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Знак почета» и рядом медалей; его деятельность отмечена Почетными грамотами Президиума Верховного Совета СССР и Верховной Рады Украины, он является лауреатом премии Совета Министров СССР.

Сердечно поздравляя Всеволода Николаевича со славным юбилеем, желаем ему доброго здоровья, творческой активности и благополучия.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Редколлегия журнала «Автоматическая сварка»

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Ю. А. СТЕРЕНБОГЕНА



24 февраля известному ученому в области сварки, доктору технических наук, профессору Юрию Александровичу Стеренбогену исполнилось бы 90 лет. Трудовую деятельность Юрий Александрович начал после окончания Уральского промышленного института. Более 60-ти лет научная деятельность

Ю. А. Стеренбогена была неразрывно связана с Институтом электросварки им. Е. О. Патона Национальной академии наук Украины. Работая в этом институте, он защитил кандидатскую и докторскую диссертации, стал профессором, организовал и долгие годы руководил отделом математических методов исследований физико-металлургических процессов сварки. Обладая замечательными человеческими качествами, Юрий Александрович умело подбирал и растил научные кадры. Из созданной им первоначально небольшой лаборатории математических методов исследований вышли такие известные ученые, как академик В. И. Махненко, член-корреспондент НАНУ В. Ф. Хорунов, доктора наук Ю. Я. Грецкий, В. Ф. Демченко и О. Г. Касаткин. Впоследствии Ю. А. Стеренбоген возглавил и много лет руководил отделом физико-металлургических процессов сварки среднелегированных высокопрочных сталей.

В научной деятельности Юрия Александровича глубокие фундаментальные исследования в области свариваемости конструкционных сталей, изучении тепловых, массообменных и металлургических процессов, протекающих при сварке, неразрывно сочетались с внедрением результатов этих исследований в промышленности. Широко известны его работы по технологиям сварки чугуна, дуговой сварке в судостроении, электрошлаковой сварке уникальных конструкций — гидропресса, сталеπροкатных станов.

Ю. А. Стеренбоген — автор более 150 научных трудов, нескольких монографий, многочисленных авторских свидетельств. В 1983 г. за разработку и внедрение технологии электрошлаковой сварки в производство оборудования для нефтехимической промышленности Ю. А. Стеренбогену была присуждена Государственная премия УССР. Его труд отмечен также правительственными наградами.

Много сил и внимания Юрий Александрович отдавал подготовке высококвалифицированных научных кадров, был руководителем общепрофсоюзного семинара, председателем Государственной экзаменационной комиссии на сварочном факультете Киевского политехнического института.

Светлая память о Юрии Александровиче Стеренбогене, замечательном человеке и ученом, сохранится в сердцах всех, кто его знал, кто имел удовольствие с ним работать и общаться.

Днепрометиз
Группа предприятий «Северсталь-метиз»

ОАО «Днепрометиз» - крупнейшее предприятие Украины в своей отрасли, входит в международную группу производителей «Северсталь-метиз»

e-mail: sale@dm.severstalmetiz.com

т/ф: (0562) 34-82-24, 35-83-69, 35-15-97
Украина, 49081, г. Днепропетровск, пр. им. газеты «Правда», 20

ПРОВОЛОКА:
сварочная Св-08 (А), Св-08Г2С
Вр-1 для армирования ЖБК
общего назначения без покрытия
термообработанная черная
оцинкованная
колючая

СЕТКИ:
плетеные
сварные
рифленные

ЭЛЕКТРОДЫ:
МР-3
АНО-4
АНО-6
АНО-21
УОНИ

**ГВОЗДИ
БОЛТЫ
ГАЙКИ
ШАЙБЫ**

www.dneprometiz.com.ua



HYUNDAI
WELDING CO., LTD.



Ваши надежные партнеры в мире сварки!



Официальный дилер "HYUNDAI Welding Co., Ltd." в Украине:
ООО "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА "ЭЛНА"
ул. Антоновича (Горького), 69, г. Киев, 03150 (сплошь в г.Киеве и с.Харькове)
тел. +38(044) 200-80-25, факс (044) 200-85-17
e-mail: info@elna.com.ua
www.elna.com.ua

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:

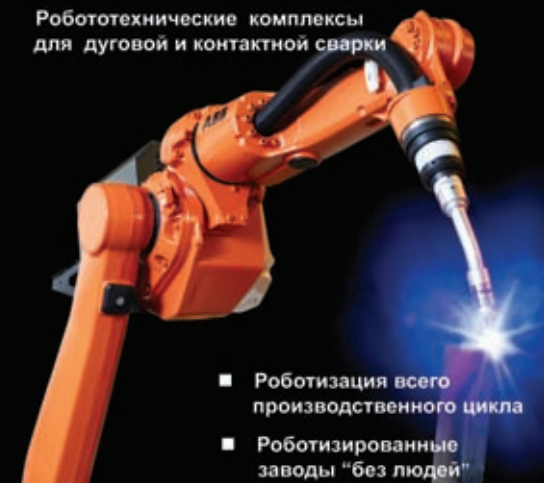
- Флюсы сварочные
- Проволоки порошковые для внепечной обработки металлургических расплавов
- Проволоки порошковые для сварки, наплавки, напыления и металлизации
- Электроды наплавочные, специального назначения, для сварки чугуна и резки
- Ферросплавы и легатуры
- Хром металлический
- Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Курсановая, 1
г. Днепропетровск
49051, Украина

Тел.: (380562) 35-50-25
Тел./факс: (380562) 35-19-41
E-mail: sp@spetssplav.dp.ua

АББ - сердце робототехники

Робототехнические комплексы для дуговой и контактной сварки



- Роботизация всего производственного цикла
- Роботизированные заводы "без людей"

АББ Лтд
Украина, 03680, Киев-67
бул. И. Лепсе, 4
тел. +380 44 495 22 11
факс +380 44 495 22 10
e-mail: robotics@ua.abb.com
www.abb.ua

ABB

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины

 **предприятие**
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

- Разработка и поставка автоматизированных сварочных комплексов
- Технологическое обеспечение и полная комплектация сварочных производств
- Ремонт сварочного оборудования, в т. ч. сложного
- Пуско-наладочные работы
- Широкий выбор сварочного оборудования



тел. (061) 233 1058, (0612) 34 3623,
(061) 213 2269, 220 0079 e-mail: weld@triada.zp.ua
Сервисный центр: (061) 270 2939. www.triada-weld.com.ua

 **ОАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»**

69035, Украина г. Запорожье, ул. Диагональная, 2
Тел.: +380 (61) 289-03-53; факс: +380 (61) 289-03-50
E-mail: market@steklo.zp.ua

ОАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стеклонзделей» на протяжении многих лет является одним из крупнейших в Европе производителей сварочных флюсов и силикатов натрия растворимого. На сегодня мы предлагаем более 20 марок сварочных флюсов.

На заводе разработана и внедрена Система управления качеством с получением сертификатов TUV NORD SERT на соответствие требованиям стандарта DIN EN ISO 9001-2000 и научно-технического центра «СЕПРОЗ» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001-2001.

Благодаря тесному сотрудничеству с Институтом электросварки им. Е. О. Патона ОАО «Запорожстеклофлюс» освоил производство сварочных флюсов новым методом – двойным рафинированием сплава.

Сварочные флюсы для автоматической, 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, ОСЦ-45, АНЦ-1А, ОСЦ-45 мелкой фракции (ГОСТ 9087-81, ТУ У 05416923.049-99, ГОСТ Р 52222-2004).

Силикат натрия растворимый (модуль от 2,0 до 3,5). Широко применяется для изготовления жидкого стекла и сварочных электродов.

МЫ ВСЕГДА ГАРАНТИРУЕМ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОСТАВОК И САМЫЕ НИЗКИЕ ЦЕНЫ В СНГ
Наша цель — более полное удовлетворение Ваших потребностей в качественных и современных сварочных материалах.





MEGAFIL®
СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМЫ

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

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


DRAHTZUG STEIN
wire & welding

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

Официальный представитель в Украине

АРКСЭЛ
83017, г. Донецк, пер. Витязий, 2а
Тел.: (062) 332-2650(52)
Тел./факс: 382-9449, 332-2651
E-mail: info@arscel.dn.ua; www.arscel.dn.ua





Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

НИИ лазерной техники и технологии

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Международная ассоциация «Сварка»

Четвертая Международная конференция **ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

26–29 мая 2009 г.

Украина, Крым, пос. Кацивели

Председатели программного комитета

академик Б. Е. Патон

проф. В. С. Коваленко

Тематика конференции:

**лазерная сварка,
резка,
наплавка,
термообработка,
нанесение покрытий,
выращивание трехмерных объектов и др.,
гибридные технологии,
лазеры в медицине и биологии;
технологии, базирующиеся на других
высококонцентрированных источниках**

ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ • МОДЕЛИРОВАНИЕ

Основные даты

Окончание приема тезисов — 20 марта 2009 г. Подтверждение участия — 10 апреля 2009 г.

Окончание приема текстов докладов для публикации в сборнике трудов — 30 июня 2009 г.

Рабочий язык конференции английский (будет обеспечен синхронный перевод на русский)

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА:

Украина, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 287-65-57, 529-26-23
Факс: (38044) 529-26-23, 287-46-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
E-mail: kovinvst@sovamua.com



ПОДПИСКА — 2009 на журнал «Автоматическая сварка»

Стоимость подписки через редакцию*	Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	240 грн.	480 грн.	2100 руб.	4200 руб.	78 дол. США	156 дол. США
* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.						

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

Контакты: телефоны: (38044) 287-63-02, 271-26-23; факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.

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

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____

200

г. по

200

г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки

(190×190 мм) - 700 \$

Вторая страница обложки

(200×290 мм) - 550 \$

Третья страница обложки

(200×290 мм) - 500 \$

Четвертая страница обложки

(200×290 мм) - 600 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки

(200×290 мм) - 400 \$

Вторая страница обложки

(200×290 мм) - 400 \$

Третья страница обложки

(200×290 мм) - 400 \$

Четвертая страница обложки

(200×290 мм) - 400 \$

Внутренняя вставка

Полноцветная (разворот А3)

(400×290 мм) - 570 \$

Полноцветная (200×290 мм) - 340 \$

Полноцветная (200×142 мм) - 170 \$

Реклама в разделе информации

Полноцветная (170×245 мм) - 300 \$

Полноцветная (170×120 мм) - 170 \$

Полноцветная (82×120 мм) - 80 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

• Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу

• Статья на правах рекламы - 50% стоимости рекламной площади

• При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000 \$, предусмотрена гибкая система скидок

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290 мм

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

Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 7.0

• Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

• К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 22.01.2009. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 9,04. Усл. кр.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24.

© Автоматическая сварка, 2009

Цена договорная. Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.