



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор

Б. Е. ПАТОН

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

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

Редакторы:

Е. Н. Казарова, Т. В. Юштина

Электронная верстка:

И. С. Баташева, Л. Н. Герасименко,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков,
А. И. Сулима

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001.

**Журнал входит в 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

Махненко В. И., Квасницкий В. В., Ермолаев Г. В. Напряженно-деформированное состояние соединений при диффузионной сварке металлов с различными физико-механическими свойствами 5

Малый А. Б. Улучшение свариваемости сплава на никелевой основе ЧС-104 путем оптимизации режима термической обработки 11

Головка Л. Ф., Анякин Н. И., Эхсан О., Новиков Н. В., Шепелев А. А., Сороченко В. Г. Применение лазерной технологии для спекания алмазосодержащих композиционных материалов 15

Размышляев А. Д., Миронова М. В. Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке в продольном магнитном поле 24

Цыбульский Г. А. О влиянии малых параметров на устойчивость процесса дуговой сварки плавящимся электродом 29

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Кириченко В. В., Грязнов Н. А., Кривцун И. В. Экспериментальный комплекс для исследования процессов импульсной лазерно-микроплазменной сварки 34

Мозжухин А. А. К теории решения изобретательских задач 40

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Диссертации на соискание ученой степени 45

Изобретения стран мира 46

По зарубежным журналам 48

ХРОНИКА

Конгресс термистов и металлургов 49

Международная научно-практическая конференция «Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки — 2008» 50

Научно-техническая конференция «Инженерия поверхности и реновация изделий» 51

Сварочный май в России 52

В. Г. Петушкову — 70 57

С. Б. Якобашвили — 75 58

К 100-летию со дня рождения А. Е. Асниса 59

ИНФОРМАЦИЯ 61

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

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

THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. 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, L. N. Gerasimenko,
A.I.Sulima, I. R. Naumova,
I. V. Petushkov
State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001
All rights reserved.
This publication and each of the articles
contained here in are protected
by copyright.

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

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Makhnenko V. I., Kvasnitskii V. V., Ermolaev G. V. Stress-strain state of the joints at diffusion bonding of metals with different physico-mechanical properties 5

Malyi A. B. Improvement of weldability of ChS-104 nickel-based alloy by optimization of the heat treatment mode 11

Golovko L. F., Anyakin N. I., Ekhsan O., Novikov N. V., Shepelev A. A., Sorochenko V. G. Application of laser technology for sintering diamond-containing composite materials 15

Razmyshlyayev A. D., Mironova M. V. Features of base metal penetration in arc surfacing in a longitudinal magnetic field 24

Tsibulkin G. A. On the influence of small parameters on the stability of consumable electrode arc welding 29

INDUSTRIAL

Kirichenko V. V., Gryaznov N. A., Krivtsun I. V. Experimental set-up for studying the processes of pulsed laser-plasma welding 34

Mozzhukhin A. A. To the theory of solving invention problems 40

BRIEF INFORMATION

Thesis for a scientific degree 45

Inventions of the countries of the world 46

From foreign journals 48

NEWS

Congress of heat-treatment and material scientists 49

International Scientific-Practical Conference «Electron Beam Welding Technology and Equipment — 2008» 50

Scientific-Technical Conference «Surface Engineering and Product Renovation» 51

Welding May in Russia 52

V. G. Petushkov is 70 57

S. B. Yakobashvili is 75 58

On 100th birth anniversary of A. E. Asnis 59

INFORMATION 61

НКМЗ ПРИСТУПИЛ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ КРУПНЕЙШЕЙ В СНГ МЕЛЬНИЦЫ

Новокраматорский машиностроительный завод (г. Краматорск, Донецкой обл.) приступил к изготовлению самой крупной в СНГ рудоразмельной мельницы с диаметром барабана свыше 9 м. Она предназначена Лебединскому ГОКУ — известному в России предприятию по добыче и обогащению железной руды и производству высококачественного металлургического сырья. Машина будет изготовлена и поставлена заказчику уже весной следующего года и использована для измельчения руд черных металлов.

Новая машина относится к типу мельниц мокрого самоизмельчения. Повышение надежности и работоспособности мельницы будет достигнуто увеличением нагрузочной способности коренных подшипников, современным креплением цапфы и другими прогрессивными техническими решениями. Новые краматорские мельницы выгодны потребителям и тем, что устанавливаются на старые фундаменты.

КОМПАНИЯ КТМ АВТОМАТИЗИРУЕТ ТИГ СВАРКУ ДЕТАЛЕЙ РАМЫ МОТОЦИКЛА

Одной из наиболее последних и успешных моделей КТМ является дорожный мотоцикл RC8. Сварные швы в нем должны быть не только прочными, но и иметь товарный вид. Поэтому все соединения в раме RC8 выполняются ТИГ сваркой. Традиционный чешуйчатый шов при ТИГ сварке высокого качества. Но все же имеется один недостаток: относительно низкая производительность, она на две трети ниже той, которую получают при использовании более современных сварочных процессов МАГ.

Технические эксперты КТМ посвятили три года работы для

совершенствования процесса ТИГ, результатом чего является 90-процентная автоматизация производства рамы. При этом значительно повышена производительность ТИГ сварки по сравнению с МАГ процессом. С начала 2008 г. завод роботизированной сварки, на котором свариваются рамы RC8, работает на полную мощность в три смены.



Роботизированная сварка угловых и V-образных швов с одним скосом двух кромок и зазором в 2 мм с использованием системы MagicWave 4000



Автоматизированная ТИГ сварка с холодной подачей проволоки при изготовлении рамы мотоцикла RC8

Успех достигнут благодаря выполнению особо тонких по сечению с хорошим формированием швов. Для сварки используются листы толщиной 1,2 мм и трубки, изготовленные из высокопрочной стали 25CrMo4. В качестве сварочной системы используется MagicWave компании «Fronius».

Специальная разработанная система подачи паллет самостоятельно выполняет подачу заготовок роботу ABB до тех пор, пока рама не готова. Расчетная толщина угловых и V-образных швов с одним скосом двух кромок составляет 2 мм, а зазоры, которые необходимо перекрыть, имеют ши-

рину 2 мм. «Сердце и душа» гоночного средства, которое состоит из соединенных трубчатых секций, может выдерживать механическое и динамическое напряжение при вождении на дороге и мотогоночной трассе.

Причиной успешного применения ТИГ сварки является то, что она обеспечивает идеальную (без усиления) форму лицевой поверхности шва.

«Импульсы», типичные для ТИГ способа, заставляют прирасточный материал расплавляться в виде серии зубчиков.

Использование в ТИГ сварке относительно большого, но четко регулируемого подводимого тепла позволяет эффективно перекрывать зазоры и получать идеальный провар корня шва. Сплавление в начале и конце шва значительно улучшается, особенно при сварке труб.

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ РАЗМАГНИЧИВАНИЕМ

Машиностроительным заводом «ВПЕРЕД» (г. Санкт-Петербург) освоено производство линейки устройств для размагничивания серии ЛАБС-7.

Оно позволяет осуществлять размагничивание труб и компенсацию магнитного поля в зоне стыка перед сваркой с целью исключения эффекта «магнитного дутья» и получения качественного сварочного соединения.

Блок ЛАБС-7К в основном предназначен для компенсации магнитного поля в зоне сварки, что является наиболее эффективным методом при монтаже намагниченных труб и элементов трубопроводов. В комплектацию к этому блоку по желанию заказчика может быть добавлен дополнительный контур для увеличения мощ-



ности, а также система локализации магнитного поля ЛАБС-7ЭМ. Устройство может использоваться в небольших строительномонтажных организациях.

Одно из достоинств ЛАБС-7К — это простота и удобство в эксплуатации.

Автоматизированный процесс управления размагничиванием не требует специальной подготовки персонала, органы управления сведены к минимуму.

Минимальные габариты и масса, а также упрощенная схема монтажа требуют привлечения не более одного специалиста, что позволяет оптимизировать производственный процесс и повысить производительность труда.

Дополнительно приобретая систему локализации магнитного поля ЛАБС-7ЭМ, процесс подготовки стыка к сварке можно сократить с 3 мин до 10с.

Блок размагничивания ЛАБС-7К также подходит для размагничивания крупногабаритных деталей, таких, как роторы и приводные колеса газовых турбин, крупногабаритные детали сложной геометрической формы, корпуса кораблей и подводных лодок.

Благодаря использованию специального полимерно-каучукового покрытия корпуса и системы индукционного разогрева катушки компенсатора устройство может эксплуатироваться в любых погодных условиях (даже в условиях Крайнего Севера при температурах окружающей среды менее -40 °С).

Основные параметры устройства: напряжение питания: 220...240 В, 50 Гц; потребляемая мощность: 2...5 кВт; компенсирующее поле на трубе: 200...1440 мм, 70...110 мТл; точность регулировки: 0,1 мТл; режимы: размагничивания/компенсации; полная масса (с катушкой компенсатора): не более 25 кг; время подготовки: не более 3 мин; время работы в режиме компенсации ограничено; катушка компенсатора:

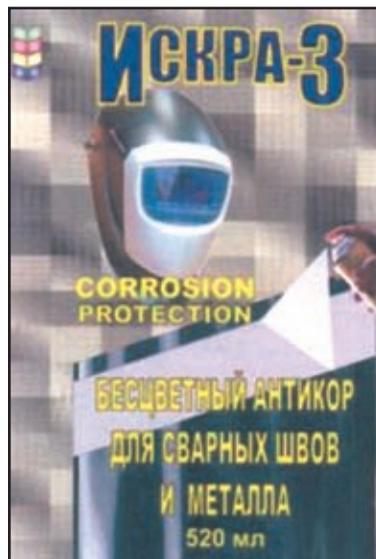
универсальная для труб диаметром от 200 до 1440 мм; корпус: диэлектрический с влагонепроницаемым полимерным покрытием.

БЕСЦВЕТНЫЙ АНТИКОР ДЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ И МЕТАЛЛА

ЗАО «Эмид-Техно» (г. Москва) предлагает средство «Искра-3» в аэрозольной упаковке для надежной защиты сварных швов и металлических поверхностей от коррозии.

Оно может наноситься на металлические поверхности без их предварительной подготовки (прямо на ржавчину), а также на покрытия, используемые для защиты участков сварных соединений от прилипания брызг расплавленного металла (нанесенных, например, средством «Искра-2»).

Особенности использования средства «Искра-3»: обрабатываемая поверхность должна быть сухой; после нанесения на металлической поверхности образуется ровное прозрачное быстровысыхающее антикоррозионное покрытие, устойчивое против атмосферных воздействий, истирания и ударов; сварной шов и иная металлическая поверхность могут при необходимости быть окрашены непосредственно по покрытию; за-



щитное покрытие может быть удалено с поверхности при помощи растворителя № 646.

ИНВЕРТОРНЫЙ ИСТОЧНИК АС-150

Киевским предприятием ОАО «Артем-Контакт» налажен выпуск современного профессионального инверторного источника питания АС-150 для ручной дуговой сварки (ММА) разнообразных металлоконструкций в производственных и бытовых условиях всеми видами покрытых электродов (кроме электродов для



сварки алюминиевых сплавов).

Достоинства аппарата определяются его возможностями:

- плавной регулировкой сварочного тока;
- наличием режима «горячий старт»;
- наличием функции «антиприлипание»;
- наличием функции снижения напряжения холостого хода;
- стабилизацией выходных параметров при колебаниях сетевого напряжения;
- наличием быстроразъемных и безопасных токовых разъемов;
- возможностью работы от маломощной электрической сети;
- возможностью работы от автономных источников питания 220 В, 50...1000 Гц, а также от постоянного напряжения 270...340 В;
- возможностью работы в условиях повышенной запыленности.



НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **В. В. КВАСНИЦКИЙ**, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»),

Г. В. ЕРМОЛАЕВ, канд. техн. наук (Нац. ун-т кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев)

Установлены закономерности влияния пластических деформаций на формирование напряженно-деформированного состояния при диффузионной сварке деталей из разнородных материалов в виде цилиндров и втулок в условиях сжатия и изменения температуры. Показано, что самый низкий уровень пластических деформаций и неблагоприятные распределения их вдоль оси цилиндров и втулок формируются при сварке материалов разной прочности в условиях сжатия при постоянной температуре.

Ключевые слова: диффузионная сварка, разнородные материалы, напряженно-деформированное состояние, пластические деформации, сжатие, температура

Ранее выполненные нами исследования полей напряжений в пределах упругости при диффузионной сварке в вакууме (ДСВ) показали, что распределение напряжений и деформаций, особенно в узлах из разнородных материалов, далеко от равномерного [1]. При этом в зоне стыка создается объемное напряженное состояние, обусловленное различием жесткостей и коэффициентов линейного температурного расширения (КЛТР) соединяемых материалов. Характер распределения эквивалентных напряжений по высоте образца при термоциклировании способствует локализации пластических деформаций именно в зоне стыка, а наибольшие эквивалентные напряжения и ожидаемые пластические деформации наблюдаются на периферии стыка.

В реальных материалах при ДСВ возникают и неупругие деформации, которые делятся на пластические, не зависящие от времени (мгновенной пластичности ε_{ij}^p) и зависящие от времени диффузионной пластичности (ползучести ε_{ij}^c). Тензор деформаций представляет собой сумму $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^c + \varepsilon_{ij}^p$, где ε_{ij}^e — упругие деформации [2]. Появление пластических деформаций связано с определенным уровнем напряженного состояния, характеризуемым инвариантой σ_i (эквивалентные напряжения или интенсивность напряжений). При $\sigma_i < \sigma_T$, где σ_T — предел текучести материала, пластические деформации мгновенной пластичности ε_{ij}^p не развиваются.

Возникающие при сварке пластические деформации могут отразиться на характере полей нап-

ряжений и деформаций. Поэтому изучение влияния пластических деформаций на напряженно-деформированное состояние (НДС) при ДСВ является актуальным.

Целью настоящей работы является установление закономерностей формирования НДС при ДСВ узлов из разнородных материалов цилиндрической формы типа цилиндр–цилиндр (Ц–Ц) и втулка–втулка (В–В) с учетом пластических деформаций, возникающих в узле.

На данном этапе работы рассматривались только деформации мгновенной пластичности. Исследования выполнялись методом компьютерного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS на узлах типа Ц–Ц и В–В. Теплофизические свойства соединяемых материалов принимали такими же, как и в упругих задачах [1], кроме предела текучести, который во всех случаях принимался больше минимальных и меньше максимальных эквивалентных напряжений, полученных в упругом решении ($\sigma_{\min} < \sigma_T < \sigma_{\max}$). В качестве условия появления пластических деформаций принято условие Мизеса $\sigma'_{\text{эКВ}} = \sigma_T$, где $\sigma'_{\text{эКВ}}$ — эквивалентные (приведенные) напряжения.

Для осесимметричной задачи (цилиндрические конструкции) касательные напряжения $\tau_{yz} = 0$ и $\tau_{xz} = 0$, поэтому

$$\sigma'_{\text{эКВ}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3\tau_{xy}^2},$$

где σ_x — радиальные; σ_y — осевые; σ_z — окружные (тангенциальные); τ_{xy} — касательные напряжения.

Исследовали НДС узлов Ц–Ц и В–В, которые по форме и размерам аналогичны использованным в упругой задаче (рис. 1). Конечно-элементные модели узлов приведены в работе [1]. Мо-

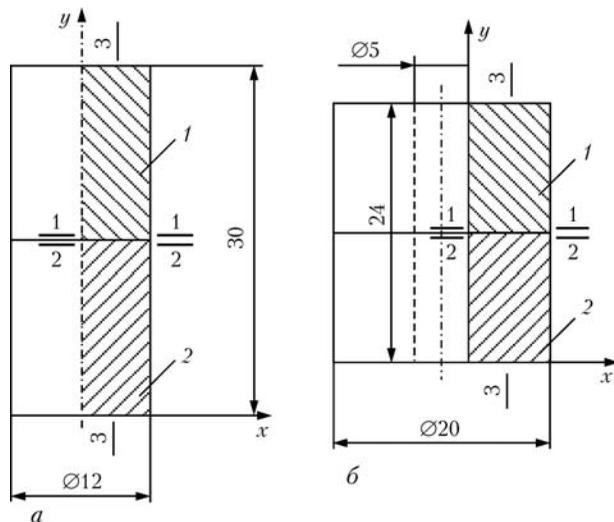


Рис. 1. Схема образцов сварных соединений типа Ц-Ц (а) и В-В (б)

дули упругости соединяемых материалов 1 и 2 принимали одинаковыми ($E_1 = E_2 = 1 \cdot 10^5$ МПа).

КЛТР соединяемых материалов во всех вариантах, кроме расчетной модели 1, приняты отличающимися в 2 раза ($\alpha_1 = 1 \cdot 10^{-5}$ 1/град, $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-5}$ 1/град). В модели 1 рассматривали нагружение только внешним усилием при постоянной температуре, поэтому КЛТР соединяемых материалов приняты одинаковыми ($\alpha_1 = \alpha_2 = 1 \cdot 10^{-5}$ 1/град). Исследованные варианты сочетания свойств материалов приведены в таблице.

Нагружение варьировалось следующим образом: только усилие сжатия (вариант 1), только нагрев или охлаждение (модели 2 и 3) и сочетание сжатия с нагревом или охлаждением (модели 4

Исследуемые варианты сочетания свойств соединяемых материалов 1 и 2 в узлах Ц-Ц и В-В (расчетные модели 1-5)

№ варианта	КЛТР- 10^6 материала, 1/град		Нагружение p , МПа	T , °C	σ_T материала, МПа	
	1	2			1	2
1 _п	10	10	40	0	39	80
2 _н	10	20	0	+100	60	60
2 _о	10	20	0	-100	60	60
3 _н	10	20	0	+100	60	120
3 _о	10	20	0	-100	60	120
4 _н	10	20	40	+100	80	80
4 _о	10	20	40	-100	80	80
5 _н	10	20	40	+100	80	160
5 _о	10	20	40	-100	80	160

Примечание. Индексами «н» и «о» соответственно обозначены нагрев и охлаждение, а индексом «п» — пластическое решение.

и 5). Предел текучести соединяемых материалов выбирался на таком уровне, чтобы пластические деформации происходили в обеих соединяемых деталях, т. е. одинаковые пределы текучести (модели 2 и 4), либо только в одной верхней детали, т. е. $\sigma_{T,1} = 0,5\sigma_{T,2} < \sigma_{ЭКВ}^{max}$ (модели 1, 3 и 5). Модуль упрочнения при пластическом деформировании для всех материалов принят равным нулю, кроме варианта 1, где с целью обеспечения устойчивости решения модуль упрочнения принят $1 \cdot 10^3$ МПа.

В варианте 1 рассматривали НДС при ДСВ материалов с разными пределами текучести, что характерно для соединения разнородных материалов, в том числе хрупких (керамика, графит) с пластичными (металлы). Результаты пластического решения сравнивали с аналогичной упругой задачей, когда эквивалентные напряжения в обоих материалах не достигают предела текучести. Эпюры распределения осевых напряжений, обеспечивающих сближение соединяемых поверхностей, в сечении 1-1 по стыку и сечении 3-3, расположенном поперек стыка на расстоянии, равном половине радиуса цилиндра в модели 1 при ДСВ цилиндров, показаны на рис. 2. Распределение осевых напряжений в зоне стыка узлов В-В аналогично.

Анализ полей напряжений показал, что при сжатии материалов с одинаковыми модулями упругости E в узлах обоих типов равномерное линейное напряженное состояние сохраняется до тех пор, пока оба материала работают упруго. При появлении пластических деформаций в менее прочном материале однородность полей напряжений и их симметрия относительно стыка на-

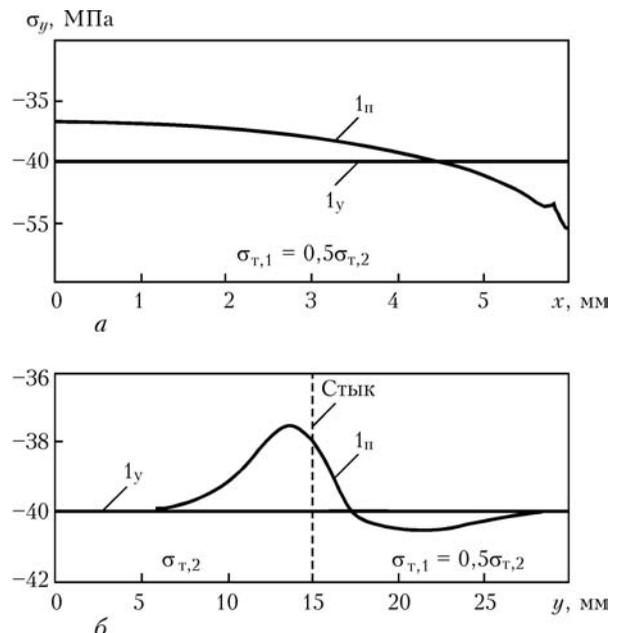


Рис. 2. Эпюры осевых напряжений в сечениях 1-1 (а) и 3-3 (б) узлов Ц-Ц, полученные при упругом решении (1_y) и с учетом пластичности (1_p)



рушаются. При этом в более прочном материале вблизи стыка эквивалентные напряжения несколько возрастают по сравнению с номинальными (приложенными к образцу). В образце из менее прочного материала аналогичная зона повышенных напряжений расположена вдали от стыка. Характер полей эквивалентных напряжений в этом варианте показывает, что различие прочности соединяемых материалов при пластическом решении проявляется аналогично различию жесткостей в упругом решении.

Поля пластических деформаций при ДСВ материалов с разными пределами текучести в цилиндрах и втулках свидетельствуют о том, что в материале с меньшим пределом текучести в момент появления в нем пластических деформаций в зоне стыка эквивалентные напряжения уменьшаются. Аналогично изменяются и осевые сжимающие напряжения (рис. 2, б). В результате этого при дальнейшем нагружении пластически деформируется часть детали, удаленная от стыка.

Пластические деформации возникают в менее прочном металле, но вблизи стыка они малы, осевое укорочение не превышает 0,005 %, а пластическое удлинение в радиальном и окружном направлении еще меньше.

Для всех моделей и вариантов изучали поля осевых, радиальных, окружных, касательных, главных и эквивалентных напряжений, а также поля пластических деформаций.

Эпюры пластических деформаций (рис. 3) подтверждают, что при сжатии и постоянной температуре материалов разной прочности пластические деформации развиваются в менее прочном материале главным образом за пределами стыка, что приводит к повышению общих деформаций при негарантированном качестве соединения.

В модели 2 рассматривается НДС при нагружении нагревом и охлаждении материалов одинаковой прочности с разными КЛТР без сжатия. Как показал анализ полей напряжений, в этом случае в районе стыка создается сложное поле напряжений, симметричное относительно стыка. При этом характер этого поля остается практически одинаковым как в области упругого деформирования, так и при появлении пластических деформаций. Отличие заметно только в очень узкой (около 1 мм) зоне, расположенной вблизи стыка.

Анализ полей пластических деформаций при нагреве или охлаждении материалов с разными КЛТР, но одинаковыми пределами текучести показал, что в этом варианте обеспечивается идеальная локализация пластических деформаций именно в зоне стыка с захватом обоих соединяемых материалов. Пластические деформации приводят к уменьшению и выравниванию эквивалентных напряжений вдоль стыка в обоих материалах

как при нагреве, так и охлаждении. Уровень напряжений при этом снижается. Вдоль оси образца распределение эквивалентных напряжений сохраняет свой идеальный, с точки зрения локализации пластических деформаций, характер, но пик в зоне стыка несколько притупляется.

Распределение осевых и главных напряжений вдоль стыка аналогично чисто упругому нагружению. При этом на большей части стыка значения осевых напряжений близки к нулю и резко увеличиваются только в узкой зоне у кромки стыка. Вдоль оси образца характер их изменяется, он близок к синусоиде с максимумами на расстоянии около 0,2...2,5 мм от стыка.

Как видно из рис. 3, пластические деформации возникают в обоих материалах в непосредственной близости от стыка, но вдоль стыка они распределяются неравномерно. В его средней части они невелики (около 0,01 %) и постепенно увеличиваются (до 0,16 %) по мере приближения к наружной поверхности образца (рис. 3, а-г). Точка минимума на эпюре пластических деформаций располагается в цилиндре на его оси, а во втулке — на расстоянии 0,23 ее толщины от внутренней поверхности, т. е. в точке с нулевыми касательными и минимальными эквивалентными напряжениями в упругом решении. В теории обработки металлов давлением зону, в которой значения касательных напряжений падают и меняют свой знак, называют зоной (областью) застоя или прилипания. В работе [3] такая зона представлена на контактной поверхности в центре цилиндра при его осадке. Моделирование показывает наличие зоны застоя при ДСВ не только цилиндров, но и втулок.

По мере удаления от стыка значения пластических деформаций резко уменьшаются (рис. 3, д, е). В направлении оси образца при нагреве значения пластических деформаций (укорочения в материале с меньшим КЛТР и удлинения в материале с большим КЛТР) заметно превышают значения деформаций в радиальном и окружном направлениях, имеющих обратные знаки. При остывании характер пластических деформаций сохраняется, но деформации укорочения меняются на деформации удлинения, и наоборот.

Таким образом, подтверждается вывод, полученный при упругом решении задачи, о том, что термодублирование при соединении материалов с разными КЛТР создает идеальные условия для локализации пластических деформаций именно в зоне стыка. При этом пластические деформации развиваются преимущественно по оси образца, т. е. перпендикулярно стыку, что должно способствовать физическому контакту материалов в стыке и повышению качества соединения. Однако неравномерность распределения пластических деформаций по стыку сохраняется.

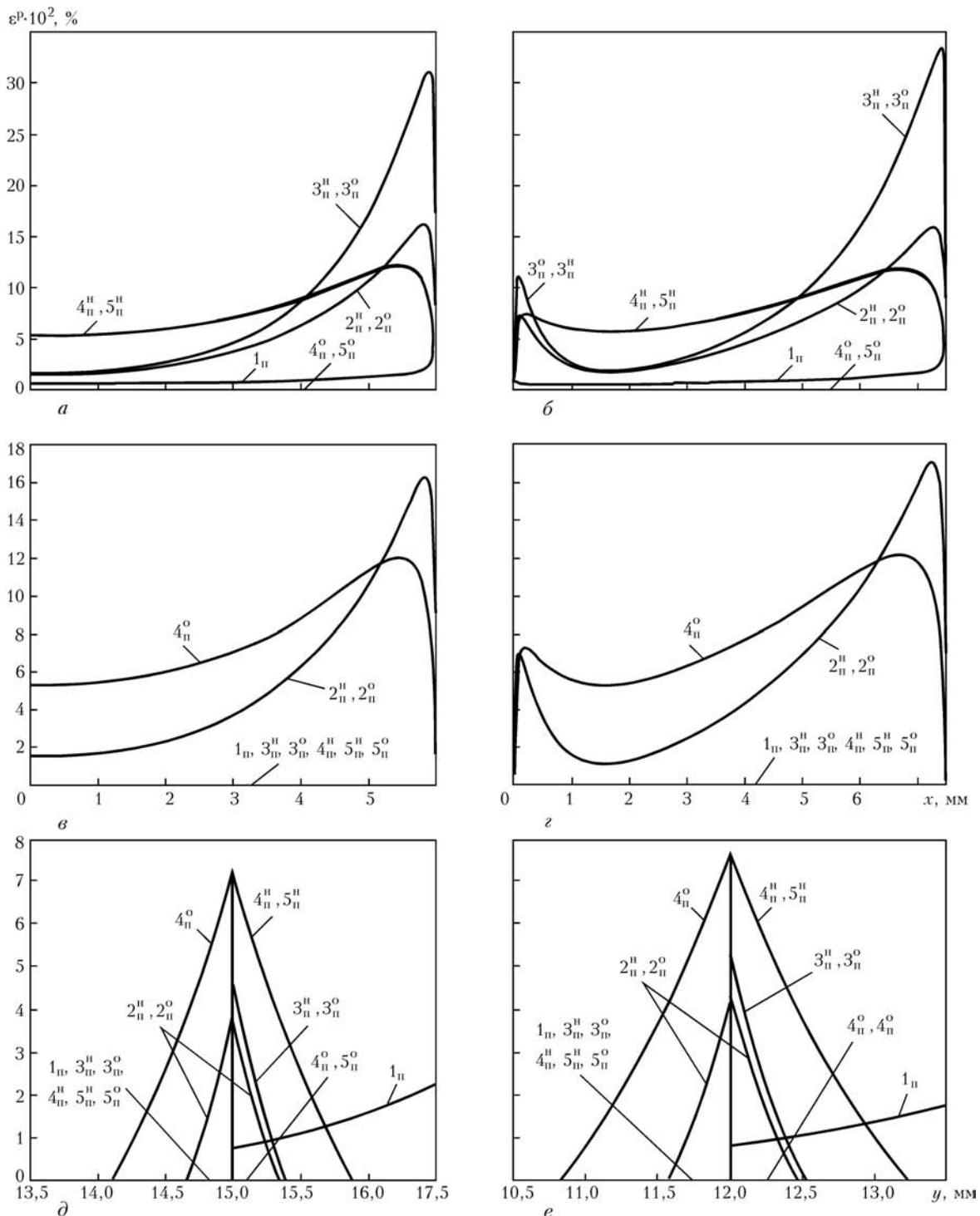


Рис. 3. Эпюры пластических деформаций (по Мизесу) в сечениях 1–1 (а, б), 2–2 (в, г) и 3–3 (д, е) в узлах Ц–Ц (а, в, д) и В–В (б, г, е) моделей 1–5

В модели 3 соединяемые материалы отличаются не только КЛТР, но и пределом текучести, т. е. пластические деформации развиваются преимущественно в одном из материалов. В районе стыка этой модели сохраняется сложное поле эквивалентных напряжений. При этом его характер остается практически одинаковым как в области упругого деформирования, так и при появлении пластических деформаций в соединении матери-

алов одинаковой и разной прочности, отличие заметно только в очень узкой (около 1 мм) зоне вблизи стыка, в частности, нарушается симметрия относительно стыка. Распределение осевых и главных напряжений вдоль стыка и характер напряженного состояния аналогичны чисто упругому нагружению и пластическому деформированию обоих материалов (модель 2). Анализ полей пластических деформаций в модели 3 также по-



казал их локализацию в зоне стыка, но только со стороны материала меньшей прочности. Пластические деформации приводят к уменьшению и выравниванию эквивалентных напряжений вдоль стыка прежде всего именно в менее прочном материале как при нагреве, так и охлаждении. Уровень напряжений при этом снижается, а их распределение становится более равномерным по сравнению с результатами, полученными при решении в пределах упругости. Распределение эквивалентных напряжений вдоль оси образца сохраняет свой идеальный, с точки зрения локализации пластических деформаций, характер, но пик в зоне появления пластических деформаций несколько притупляется.

Пластические деформации неравномерно распределены вдоль стыка и сосредоточены в материале меньшей прочности (см. рис. 3). В средней части стыка (в точке застоя) они невелики (около 0,01 %), однако постепенно увеличиваются до 0,32...0,34 % по мере приближения к наружной поверхности образца (см. рис. 3, а, б). При удалении от стыка значения пластических деформаций быстро уменьшаются (см. рис. 3, д, е). В более прочном материале пластические деформации отсутствуют (см. рис. 3, в, з).

Основные закономерности, установленные для нагружения термоциклированием в соединении материалов с различными КЛТР, сохраняются и при соединении материалов разной прочности.

В модели 4 рассматривается НДС при совместном нагружении сжатием и нагревом–охлаждением материалов с разными КЛТР и одинаковыми пределами текучести.

Поля эквивалентных напряжений в районе стыка становятся еще более сложными с явно выраженной асимметрией. Наличие пластических деформаций изменяет характер поля напряжений только в непосредственной близости от стыка (в зоне шириной около 1 мм). При замене нагрева охлаждением поля в материалах 1 и 2 меняются местами как при отсутствии пластических деформаций, так и при пластическом деформировании обоих материалов.

Отмеченные в упругом решении особенности и характер полей осевых и главных напряжений сохраняются, однако их значения несколько изменяются.

Появление пластических деформаций наблюдается поочередно в материале с меньшим КЛТР при нагреве и с большим при охлаждении, что приводит к уменьшению и выравниванию эквивалентных напряжений вдоль стыка в пластически деформирующемся материале. При этом уровень напряжений несколько снижается. В материале, где пластические деформации не происходят (с большим КЛТР при нагреве и с меньшим при

охлаждении), неравномерность распределения напряжений сохраняется, но их уровень также снижается. Вдоль оси образца распределение эквивалентных напряжений сохраняет близкий к идеальному, с точки зрения локализации пластических деформаций, характер, но пик в зоне стыка несколько притупляется, кроме того, он поочередно охватывает один или второй материал при замене нагрева охлаждением.

В распределении осевых напряжений сохраняются закономерности, установленные для нагрева–охлаждения без сжатия. При этом средний уровень осевых напряжений смещается от нуля до уровня приложенного осевого сжатия (40 МПа). Характер распределения главных напряжений вдоль стыка при появлении пластических деформаций меняется мало, незначительно изменяется и их уровень.

Пластические деформации неравномерно распределены как вдоль стыка, так и между материалами с разными КЛТР. В материале с меньшим КЛТР при нагреве (с большим КЛТР при остывании) в зоне застоя они находятся на уровне 0,055 %, по мере приближения к наружной поверхности образца постепенно увеличиваются до 0,12 % (см. рис. 3, а, б). В материале с большим КЛТР при нагреве (с меньшим КЛТР при остывании) пластические деформации отсутствуют по всей длине стыка (см. рис. 3, в, з). Общий уровень пластических деформаций при совместном нагружении сжатием и изменении температуры в целом выше, чем при изменении температуры без сжатия (модели 2 и 3). По мере удаления от стыка значения пластических деформаций быстро уменьшаются (см. рис. 3, д, е).

При нагреве по оси образца возникают пластические деформации укорочения как в материале с меньшим, так и с большим КЛТР, их значения заметно превышают значения деформации в радиальном и окружном направлениях, имеющие обратные знаки. При остывании характер распределения деформаций сохраняется.

Таким образом, подтверждается вывод, полученный при упругом решении задачи, о том, что термоциклирование при соединении материалов с различающимися КЛТР создает идеальные условия для локализации пластических деформаций именно в зоне стыка, а также в случае совместного нагружения сжатием и нагревом–охлаждением. При этом неравномерность распределения пластических деформаций по стыку уменьшается.

В модели 5 изучалось НДС при сжатии и нагревом–охлаждении материалов разной прочности с разными КЛТР. Установлено, что в районе стыка поля эквивалентных напряжений сохраняют достаточно сложный характер. Наличие пластических деформаций изменяет характер поля напряжений в непосредственной близости от стыка.



При нагреве пластически деформируется только материал, имеющий меньшее значение предела текучести, и только в том случае, если у него меньший КЛТР. При охлаждении происходит только упругая деформация обоих материалов.

В случае сжатия с нагревом в материале меньшей прочности и с меньшим КЛТР вследствие пластического деформирования эквивалентные напряжения уменьшаются и равномерно распределяются по всему стыку. При этом в более прочном материале эквивалентные напряжения также несколько снижаются, но неравномерность их распределения вдоль стыка сохраняется.

Вдоль оси образца распределение эквивалентных напряжений имеет близкий к идеальному, с точки зрения локализации пластических деформаций, характер, но пик в зоне стыка несколько притупляется при нагреве со стороны менее прочного материала.

При нагреве по оси образца возникают пластические деформации укорочения, их значения заметно превышают значения деформаций в радиальном и окружном направлениях, имеющие обратные знаки.

При сжатии с охлаждением пластические деформации отсутствуют в материалах, имеющих как большую, так и меньшую прочность. Для пластического деформирования необходимо увеличение давления сжатия или интервала изменения температур.

Таким образом, анализ полей и эпюр пластических деформаций показал, что при ДСВ материалов с разными физико-механическими свойствами в условиях сжатия и термоциклирования формируется сложное напряженное состояние, которое локализует пластические деформации в зоне стыка, интенсифицируя процесс сварки, что и было положено в основу нового способа ДСВ [4].

Наибольших значений пластические деформации (0,055 % в точке застоя и 0,120 % на периферии) достигают в модели 4 (совместное сжатие и термоциклирование при одинаковых пределах текучести и разных КЛТР), при этом обеспечивается также наиболее равномерное распределение пластических деформаций вдоль стыка.

Regularities were established of the influence of plastic deformations on formation of the stress-strain state in diffusion welding of parts from dissimilar materials in the form of cylinders and bushings under the conditions of compression and temperature change. It is shown that the lowest level of plastic deformations and their unfavourable distributions along the axis of cylinders and bushings form in welding of materials of different strength under the conditions of compression at constant temperature.

Выводы

1. Анализ имеющихся данных показал, что закономерности, установленные ранее в пределах упругости в целом сохраняются, но результаты решения, полученные с учетом пластичности, дают более полную и объективную картину НДС при ДСВ разнородных материалов. В частности, только решение, полученное с учетом пластичности, позволяет оценить степень равномерности распределения пластических деформаций вдоль стыка.

2. Наиболее равномерное распределение пластических деформаций в стыке обеспечивается при сжатии с термоциклированием материалов с близкими пределами текучести. Появление пластических деформаций происходит поочередно в материале с меньшим КЛТР при нагреве и с большим при охлаждении.

3. Наиболее неравномерное распределение пластических деформаций в стыке наблюдается при термоциклировании материалов разной прочности без их сжатия.

4. В условиях сжатия с термоциклированием материалов разной прочности пластическое деформирование происходит только на стадии нагрева, на стадии охлаждения деформации отсутствуют.

5. Самый низкий уровень пластических деформаций и неблагоприятное распределение их вдоль оси цилиндров и втулок имеют место при ДСВ материалов разной прочности в условиях сжатия при постоянной температуре.

1. Махненко В. И., Квасницкий В. В., Ермолаев Г. В. Влияние физико-механических свойств соединяемых материалов 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. Унксов Е. П. Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением. — М.: Машгиз, 1955. — 280 с.
4. Пат. 23414 Україна, UA B 23 K 12/14. Спосіб дифузійного зварювання матеріалів / В. В. Квасницький, М. В. Матвієнко, Г. В. Ермолаєв та ін. — Опубл. 25.05.2007.

Поступила в редакцию 14.03.2008



УДК 621.791:669.24

УЛУЧШЕНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ ЧС-104 ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А. Б. МАЛЫЙ, инж. (ГП НПКГ «Зоря-Машпроект», г. Николаев)

Рассмотрена свариваемость жаропрочного сплава на никелевой основе с дисперсионным упрочнением. Показано, что трещиностойкость сплава можно повысить путем оптимизации режима термической обработки до сварки и снижения скорости охлаждения после сварки.

Ключевые слова: термоупрочняемые никелевые сплавы, γ' -фаза, дуговая сварка, горячие трещины, термическая обработка, перестаривание, длительная прочность

Литые никелевые сплавы с дисперсионным упрочнением в результате выделения γ' -фазы принадлежат к несвариваемым или ограниченно свариваемым конструкционным материалам. Причиной тому является повышенная склонность сварных соединений к образованию трещин как при сварке, так и при последующей термической обработке. Отмеченное выше относится к способам сварки плавлением, для которых характерен концентрированный нагрев, создающий значительные градиенты температур в зоне термического влияния (ЗТВ). Использование равномерного нагрева для получения сварных либо паяных соединений, как правило, препятствует образованию трещин, однако такие способы соединения характеризуются значительной трудоемкостью и имеют ограниченные возможности.

Известно, что ухудшение свариваемости и стойкости сварных соединений никелевых сплавов к образованию трещин при послесварочной термической обработке находятся в прямой зависимости от содержания γ' -фазы. Это в полной мере относится и к литейному сплаву ЧС-104, используемому на предприятии для изготовления сопловых лопаток всех ступеней турбинной части газотурбинных установок, работающих вплоть до температуры 950 °С. Химический состав этого сплава следующий, мас. %: 0,07...0,14 С; 20,0...21,8 Cr; 10,3...12,0 Со; 0,3...0,9 Мо; 3...4 W; 2,1...2,9 Al; 3,1...3,9 Ti; 0,15...0,35 Nb; $\leq 0,3$ Mn; $\leq 0,3$ Si; $\leq 0,008$ S; 0,008 P; 0,015 В; $\leq 0,5$ Fe; Ni — основа. Из приведенного химического состава сплава видно, что в нем содержится достаточная для ухудшения свариваемости массовая доля титана и алюминия. Согласно теоретической оценке стойкости сварных соединений к образованию трещин при послесварочной термической

обработке, сплав находится в наиболее неблагоприятной области (рис. 1), и для предотвращения образования трещин необходимо многоступенчатое перестаривание перед сваркой [1].

Сплав хорошо поддается пайке высокотемпературными припоями, однако необходимость соединения лопаток в «пакеты» и восстановления их сложных геометрических размеров при браке литья требует использования сварки плавлением, а именно, электронно-лучевой для соединения в «пакеты» и аргонодуговой (АДС) для восстановления размеров лопаток. Таким образом, исправление дефектов литья пайкой в вакуумных печах осуществляется на тех частях лопатки (на пере), где качественно исправить дефект сваркой не представляется возможным. Там, где возможно исправление сваркой (на бандажных полках), при-

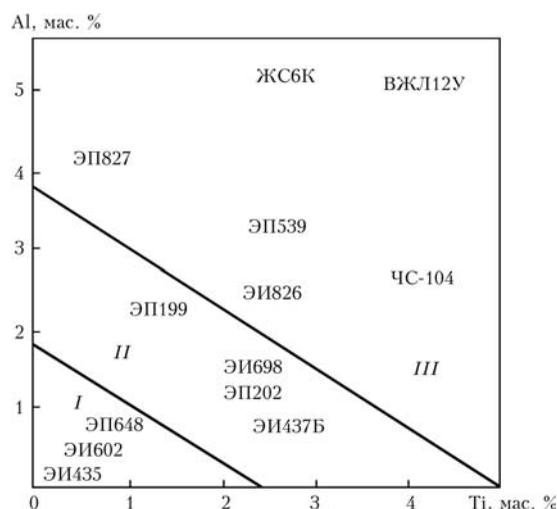


Рис. 1. Влияние содержания титана и алюминия на склонность никелевых сплавов к образованию трещин при термической обработке сварных соединений: I — гомогенные и слабостареющие сплавы (содержание γ' -фазы 3...5 об. %), не склонные к образованию трещин при сварке и термообработке; II — дисперсионно-твердеющие сплавы (содержание γ' -фазы не более 18...20 об. %) с умеренной склонностью к образованию трещин; III — дисперсионно-твердеющие сплавы (содержание γ' -фазы более 20...25 об. %) с высокой склонностью к образованию трещин

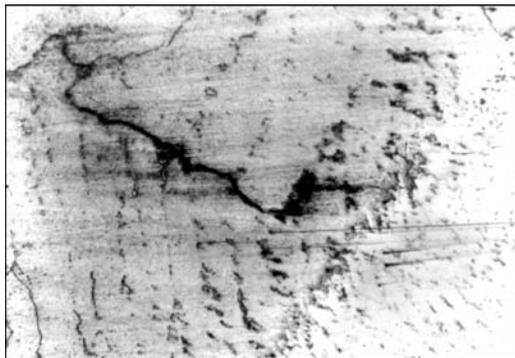


Рис. 2. Микроструктура (X100) участка ЗТВ соединения сплава ЧС-104

меняется АДС с использованием присадочной проволоки ЭП533. Следует отметить, что выбор проволоки этого типа наиболее оптимален с точки зрения прочностных характеристик и коррозионной стойкости сварных соединений [2–5].

Рекомендуемая разработчиком (ЦНИИ КМ «Прометей») для данного сплава термообработка состоит из следующих операций: гомогенизации 1170 °С, 4,5 ч, охлаждения на воздухе; старения при 1050 °С, 4,5 ч, охлаждения на воздухе; то же при 850 °С, 16–17 ч, охлаждения на воздухе.

Считается, что именно такая последовательность операций и, что очень важно, с быстрым охлаждением (на воздухе) позволяет достичь наилучших прочностных свойств материала. Кроме того, согласно классической теории для предотвращения образования трещин такие сплавы необходимо сваривать в закаленном на твердый раствор состоянии (после гомогенизации с быстрым охлаждением) [5, 6]. Однако при выполнении АДС с использованием присадочных проволок ЭП533, ЭИ602, ЭП648 после каждого из этапов термообработки замечено образование трещины длиной 0,2...3,5 мм в ЗТВ сплава ЧС-104 (рис. 2). Контроль осуществляли методом люминесцентной дефектоскопии и путем металлографического исследования. Уменьшение тепловложения в деталь положительного эффекта не давало — трещины не исчезали. Они обнаруживались непосредственно после сварки без последующей термообработки. Следует отметить, что при сварке в полностью состаренном состоянии количество обнаруженных трещин в 3,5 раза меньше, чем при сварке сплава после гомогенизации (23 трещины на десяти исправленных местах по сравнению с 81 трещиной при том же количестве исправлений).

Из полученных результатов следует, что если трещины возникают в ЗТВ (в металле шва трещины не образуются), то основной металл к сварке следует подготавливать путем предварительного перестаривания [7–9].

Разработчик приводит также второй режим термообработки, который состоит из гомогенизации 1170 °С, 4,5 ч, охлаждения в печи до 900...950 °С, выдержки 2 ч, затем охлаждения на

воздухе; старения 850 °С, 17 ч, охлаждения на воздухе.

При такой термической обработке свариваемость материала должна улучшаться, однако в зависимости от температуры испытаний кратковременная и длительная прочность снижаются соответственно на 6...9 % (в 1,3...2,3 раза). Ряд лопаток и «пакетов» подвергаются согласно технологии, принятой операции алюмосилицирования, которая подразумевает выполнение диффузионного отжига при 1030...1050 °С. Таким образом эффект старения устраняется, и после сварки эту операцию необходимо повторить. При быстром охлаждении (от 1170 до 950 °С) в течение 15...20 мин улучшение свариваемости после полной термообработки по второму варианту не происходит. Установлено, что на свариваемость сплава в наибольшей степени влияет скорость охлаждения после температуры гомогенизации. Для предотвращения образования трещин после сварки скорость охлаждения должна составлять 2...31 °С/мин в диапазоне температур 1170...950 °С. Последующая скорость охлаждения на свариваемость влияния не оказывает. Термообработка по штатной технологии (старение при 1050 °С, 4 ч, охлаждение на воздух и старение при 850 °С, 16...17 ч, охлаждение на воздухе) к появлению трещин не приводит.

Как известно, при перестаривании происходит коагуляция γ' -фазы, что отрицательно сказывается на жаропрочных свойствах материала [7, 9]. Это проверено практическим путем на образцах из основного материала (несварных) (таблица).

Полученные результаты свидетельствуют о небольшом снижении длительной прочности при сохранении кратковременной прочности и более высокой кратковременной пластичности при втором варианте термической обработки. Однако исходя из опыта эксплуатации данный факт не является критичным и повторную гомогенизацию после сварки с быстрым охлаждением для восстановления прочностных характеристик основного металла выполнять нецелесообразно. Проведение повторной гомогенизации сварных соединений опасно также тем, что велика вероятность образования трещин. При этом трещины располагаются поперек сварного шва и их длина может достигать 12 мм. Снизить интенсивность трещинообразования возможно путем максимального увеличения скорости нагрева в диапазоне температур старения.

На рис. 3 и 4 представлена морфология γ' -фазы, полученная на растровом электронном микроскопе «Самбах». На рис. 3, а показаны выделения γ' -фазы, образовавшиеся при полной термообработке по режиму 1, при этом ее размер и распределение одинаковы в осевом и межосевом прос-



Влияние режима термообработки на механические свойства и длительную прочность сплава ЧС-104 при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$

Режим термообработки	Испытания				
	кратковременные				длительные ($\sigma = 205\text{ МПа}$)
	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	
Режим 1 Гомогенизация (1170 °С, 4,5 ч, охлаждение на воздухе) Старение 1050 °С (4,5 ч, охлаждение на воздухе) Старение (850 °С, 17 ч, охлаждение на воздухе)	505	450	20	27	104
Режим 2 Гомогенизация (1170°С, 4,5 ч, остывание в печи в течение 2 ч до 950 °С, охлаждение на воздухе) Старение (1050 °С, 4,5 ч, охлаждение на воздухе) Старение (850 °С, 17 ч, охлаждение на воздухе)	500	430	25	42	100
Режим 3 Гомогенизация (1170 °С, 4,5 ч, остывание в печи в течение 2 ч до 950 °С, охлаждение на воздухе) Гомогенизация (1170 °С, 4,5 ч, охлаждение на воздухе) Старение (1050 °С, 4,5 ч, охлаждение на воздухе) Старение (850 °С, 17 ч, охлаждение на воздухе)	500	400	21	32	150

Примечания. 1. Требования заводской технической документации к механическим свойствам при кратковременных испытаниях: $\sigma_b \geq 46\text{ МПа}$, $\delta \geq 7\%$, $\psi \geq 14\%$ (образцы по ГОСТ 9456); время до разрушения при длительных испытаниях $t \geq 50\text{ ч}$ (образцы по ГОСТ 10145). 2. Даны средние значения шести измерений.

транстах; на рис. 3, б, в — γ' -фаза при полной термообработке по режиму 2 соответственно в осевом и межосевом пространствах; на рис. 3, г — γ' -фаза при полной термообработке по режиму 3, при этом ее размер и распределение в осевом и межосевом пространствах одинаковы. На рис. 4, а, б показана морфология γ' -фазы непосредственно после гомогенизации с замедленным остыванием в печи от 1170 до 950 °С в течение 2 ч в осевом и межосевом пространствах.

Как видно из приведенных рисунков, при термообработке по режимам 2 и 3 γ' -фаза имеет примерно одинаковые размер (в основном 0,15...0,20 мкм) и распределение в осевом пространстве. Однако при режиме 2 γ' -фаза в межосевом пространстве значительно крупнее (0,3 мкм) и распределена реже. Возможно, именно морфология γ' -фазы в межосевом пространстве оказывает наибольшее влияние на улучшение свариваемости при перестаривании. При термообра-

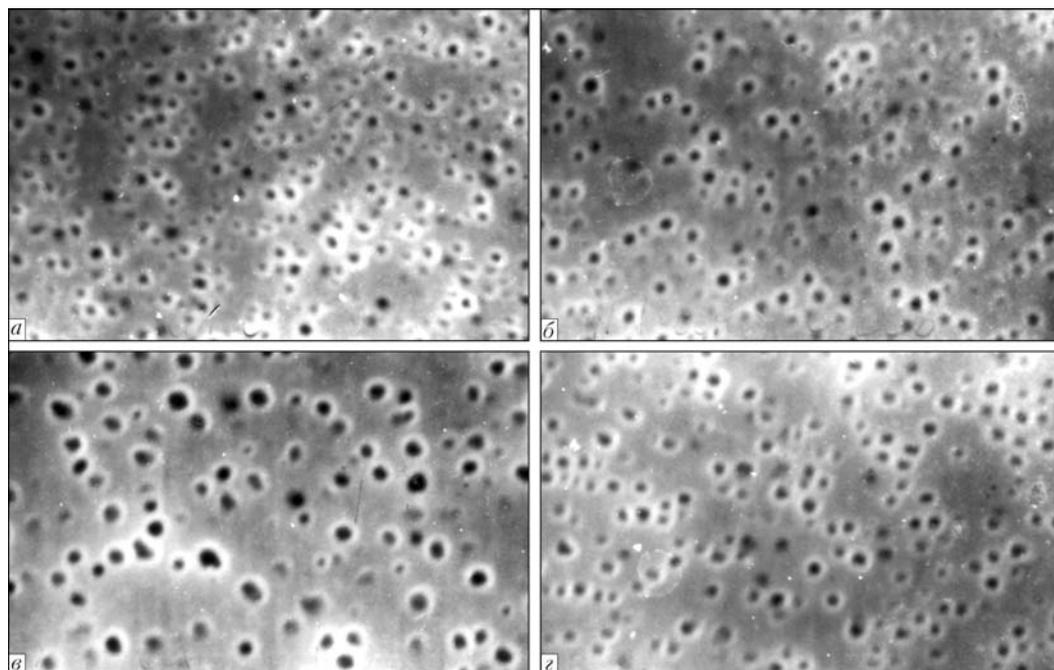


Рис. 3. Микроструктура ($\times 10000$) сплава ЧС-104 с выделением γ' -фазы, полученная после термообработки по режиму 1 (а), 2 (б, в — соответственно в осевом и межосевом пространствах) и 3 (г)

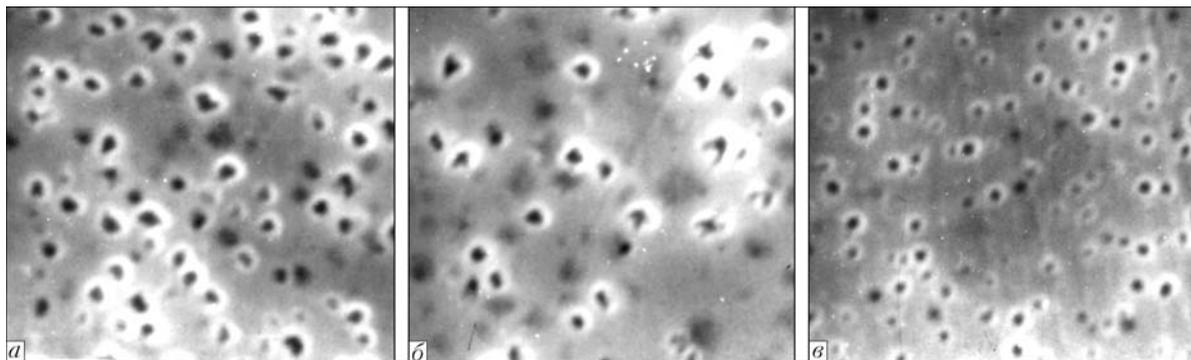


Рис. 4. Микроструктура ($\times 10000$) сплава ЧС-104 с выделением γ' -фазы, полученная после гомогенизации с замедленным остыванием в печи ($1170\dots 950\text{ }^\circ\text{C}$) в течение 2 ч в осевом (а) и межосевом (б) пространствах, а также металла ЗТВ при всех режимах термообработки (в)

ботке по режиму 1 γ' -фаза более мелкая ($0,05\dots 0,10\text{ мкм}$) и распределена более равномерно. Непосредственно после гомогенизации с замедленным остыванием γ' -фаза наиболее скоагулирована, ее размер составляет $0,25\dots 0,30\text{ мкм}$, что приводит к снижению релаксационной стойкости и повышению пластичности материала. Наблюдается также более редкое распределение γ' -фазы (по сравнению с осевым пространством) и неправильность ее формы. После гомогенизации с остыванием на воздухе γ' -фаза полностью растворяется в матрице и при увеличении $\times 10000$ не выявляется. В ЗТВ сплава ЧС-104 непосредственно возле линии сплавления размер и распределение γ' -фазы одинаковы при всех режимах термообработки (рис. 4, в).

Следует отметить, что чистота плавки приобретает важное значение в решении проблемы трещиностойкости. Так, при послесварочной термообработке по режиму 2 в одном исправленном месте все же обнаружили трещины длиной $0,1\dots 0,3\text{ мм}$ в количестве $2\dots 3$ шт. при вторичном переплаве с использованием лома до 80 %. В случае применения чистой шихты трещин не наблюдается, однако на практике это условие редко выполнимо. В процессе эксплуатации зародившиеся микротрещины получают развитие и по истечении $20\dots 33$ тыс. ч в участках лопаток, где был выполнен ремонт с помощью АДС, наблюдается появление значительного количества трещин. Несмотря на отсутствие случаев отрыва исправленных мест в процессе работы газотурбинных установок, а также повреждений проточной части, вероятность этого должна быть исключена.

The paper deals with weldability of a high-temperature nickel-base alloy with dispersion strengthening. It is shown that the alloy cracking resistance can be increased by optimization of the heat treatment mode before welding and lowering the cooling rate after welding.

Выводы

1. Для сплава ЧС-104 достигнуто существенное повышение стойкости к образованию трещин при сварке и послесварочной термообработке за счет снижения скорости остывания до $2\dots 3\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в диапазоне температур $1170\dots 950\text{ }^\circ\text{C}$ при гомогенизации до сварки.

2. Для гарантированного отсутствия трещин при сварке и послесварочной термообработке, а также с целью обеспечения максимально высокого уровня жаропрочности основного металла и равнопрочности металла сварного соединения необходимо разработать присадочный материал с принципиально иной системой легирования, а также процесс получения сварных соединений с его использованием.

1. Сорокин Л. И., Туупкин В. И. Классификация жаропрочных никелевых сплавов по их стойкости против образования трещин при термической обработке сварных соединений // Автомат. сварка. — 1985. — № 5. — С. 23–25.
2. Квасницкий В. Ф. Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении // Там же. — 1985. — № 10. — С. 26–30.
3. Сорокин Л. И., Багдасаров Ю. С., Туупкин В. И. Сравнительная оценка присадочных проволок для аргонодуговой сварки жаропрочных сплавов // Свароч. пр-во. — 1993. — № 10. — С. 31–33.
4. Сорокин Л. И. Присадочные материалы для сварки жаропрочных никелевых сплавов // Там же. — 2003. — № 4. — С. 35–40.
5. Сорокин Л. И. Свариваемость жаропрочных никелевых сплавов в состаренном состоянии // Автомат. сварка. — 1983. — № 7. — С. 12–16.
6. Медовар Б. И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. — М.: Машиностроение, 1966. — 430 с.
7. Землин В. Н. Жаропрочность сварных соединений. — Л.: Машиностроение, 1972. — 272 с.
8. Ющенко К. А., Савченко В. С., Звягинцева А. В. Влияние термообработки и степени легирования на структурные изменения никелевых сплавов // Автомат. сварка. — 2004. — № 7. — С. 14–16.
9. Малый А. Б., Бутенко Ю. В., Хорунов В. Ф. Проблемы свариваемости высоколегированных сплавов на никелевой основе // Там же. — 2005. — № 5. — С. 1–5.



УДК 621.375.826

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СПЕКАНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л. Ф. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, Н. И. АНЯКИН, канд. техн. наук, О. ЭХСАН, инж. (НТУУ «Киевский политехнический институт»),

академик НАН Украины Н. В. НОВИКОВ, А. А. ШЕПЕЛЕВ, д-р техн. наук, В. Г. СОРОЧЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины)

Приведено обоснование актуальности решения проблемы получения высококачественных и эффективных инструментальных композитов, содержащих сверхтвердые материалы. Освещены вопросы влияния кратковременного высокотемпературного лазерного нагрева на физико-химические процессы, протекающие на поверхности алмазов и в зоне их контакта со связками. Представлены результаты изучения тепловых процессов, протекающих в композиционном материале при лазерном скоростном нагреве, и физико-механических свойств связок алмазосодержащих композитов. Предложен новый способ термомеханического лазерного спекания и различные схемы его реализации.

Ключевые слова: лазерное спекание, композиционные материалы, алмазы, связки, инструменты, моделирование, износостойкость

Характерным для развития современного машиностроительного производства является создание металлообрабатывающих технологических комплексов, которые позволяют с помощью одного или нескольких универсальных инструментов изготавливать детали разной формы и размеров, осуществляя при этом полный цикл механической обработки. Такие инструменты должны иметь высокую режущую способность и большой период стойкости. Кроме того, для реализации оптимальной кинематики резания они должны иметь достаточно сложную форму (шар, эллипсоид, гиперболоид, тор и др.) и определенную геометрию режущих элементов. Таким требованиям могут удовлетворять инструменты, изготовленные из специальных сверхтвердых композиционных материалов.

Основными задачами технологии изготовления инструментов из сверхтвердых материалов (СТМ), в том числе и алмазных, является получение необходимой формы и размеров, обеспечение прочного закрепления на рабочих поверхностях абразивных зерен, придание им режущей способности, которая должна непрерывно сохраняться в процессе работы.

К настоящему времени известны различные способы изготовления инструментов такого типа (рис. 1) [1–3]. Приведенные технологии различаются способами формообразования режущих поверхностей, способами закрепления абразивных зерен, видами материалов свя-

зок. Любой из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки, области целесообразного применения.

Анализируя состояние технологий производства алмазосодержащих инструментов в целом, следует отметить, что они имеют весьма невысокую производительность. Спрос мирового рынка значительно превышает возможности самого современного производства алмазного инструмента, в частности, тонких отрезных кругов. При изготовлении алмазного инструмента применяют ограниченное количество связок, содержащих в качестве основы только легкоплавкие компоненты с температурой плавления не выше 700 °С. Это существенно ограничивает возможности его оптимального использования при обработке ши-



Рис. 1. Способы изготовления инструментальных композитов



рокой гаммы конструкционных материалов, ощутимо различающихся по твердости, химическому составу и другим характеристикам. Кроме того, такие связки недостаточно прочно удерживают зерна алмазов, что ограничивает производительность резания, стойкость инструментов, способствует повышению расхода алмазов, стоимости обработки. С уменьшением толщины алмазосодержащего слоя проблема усугубляется, поскольку при этом резко снижается его прочность. Существующие способы изготовления инструментальных композитов не позволяют управлять расположением зерен алмазов, тем более создавать однорядные, многослойные инструменты.

Наиболее перспективным и эффективным способом изготовления упомянутых выше универсальных инструментов является способ послойного лазерного спекания порошковых композитов.

Как источник нагрева лазерное излучение имеет ряд значительных преимуществ. Оно позволяет за счет высокой скорости бесконтактного введения энергии в материал и ее прецизионного дозирования осуществлять сверхскоростной нагрев локальных областей материалов в широком диапазоне температур. Это дает возможность, во-первых, использовать при спекании значительно более широкий спектр связок, в том числе и таких, которые требуют температур нагрева, значительно превышающих предельные, например, соответствующие началу окисления алмазов, во-вторых, обеспечить металлургическую связь между алма-

зоносным слоем и стальным корпусом инструмента, что обуславливает повышение его прочностных характеристик. Высокая локальность процесса позволяет послойно формировать одно- или многорядные алмазосодержащие рабочие элементы и таким образом получать инструменты практически любой конфигурации, достаточно легко управлять концентрацией составляющих композитов, осуществлять термическое упрочнение связки, получать структуры, имеющие высокую дисперсность.

Возможности применения лазерного излучения для спекания материалов изучал ряд авторов [1, 2, 4, 5]. В работах [4, 5] было экспериментально изучено лазерное спекание порошков из никеля, молибдена, карбидов, нитридов и боридов титана на стальной подложке. Лазерное спекание свободно насыпанных металлических и керамических порошков в твердой фазе [4] пока хороших результатов не дало. Существует чисто теоретическая возможность лазерного твердофазного спекания при использовании ультрадисперсных нанопорошков [1]. На сегодня наибольший интерес представляют два процесса лазерного жидкофазного спекания композитов, базирующихся на расплавлении легкоплавкой связки или на расплавлении периферийного слоя отдельных порошков [1, 5–9].

Данное исследование посвящено изучению влияния лазерного облучения на свойства составляющих алмазосодержащих инструментальных



Рис. 2. Схема причинно-следственных связей между основными факторами и параметрами процесса лазерного спекания инструментального композита



композитов, а также процессов их жидкофазного спекания в условиях сверхскоростного локального нагрева.

Моделирование процесса лазерного спекания. Структурные и фазовые изменения в исследуемых системах однозначно определяются температурным режимом лазерного нагрева и последующего охлаждения. Характеристики температурного поля (уровень температур, их распределение по нагреваемому объему, скорости нагрева и охлаждения) определяются рядом факторов, связанных с источником нагрева, характеристиками обрабатываемого материала, условиями их взаимодействия. Схема причинно-следственных связей между основными факторами и параметрами процесса лазерного спекания композитов приведена на рис. 2.

Для проведения экспериментальных исследований процесса лазерного спекания композитов из СТМ необходимы данные, отражающие связь характеристик теплового состояния системы «матрица — стальной корпус инструмента — алмазосодержащий композит» с основными технологическими параметрами обработки: мощностью излучения P (Вт) и ее распределением по облучаемой поверхности $P(x, y)$ (Вт/см²), диаметром пятна фокусирования $d_0 = 2r_0$ (мм), скоростью относительного движения лазерного луча v (м/мин), частотой f (Гц) и амплитудой сканирования B (мм).

Оценку характеристик теплового состояния материалов при действии лазерного излучения проводили на модели, основанной на использовании нестационарного нелинейного однородного уравнения теплопроводности в декартовой системе координат $X(x, y, z) \in R^3$:

$$c_{pi}(t)\rho_i(t)\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_i(t)\frac{\partial t}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_i(t)\frac{\partial t}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_i(t)\frac{\partial t}{\partial z}\right), \tau > 0; i = \bar{1,3},$$

где c_{pi} — теплоемкость; ρ_i — плотность; λ_i — коэффициент теплопроводности; t — температура; τ — время.

Обобщенная постановка задачи Стефана имеет следующий вид:

для связки ($i = 1$):

$$\begin{cases} t < t_m - \frac{\Delta t}{2}, \lambda_1(t) = \lambda_s, [c_p(t)\rho(t)]_1 = c_{ps}\rho_s; \\ t_m - \frac{\Delta t}{2} \leq t \leq t_m + \frac{\Delta t}{2}, \lambda_1(t) = \lambda_s + \frac{\lambda_m - \lambda_s}{\Delta t}(t - t_m + \frac{\Delta t}{2}); \\ [c_p(t)\rho(t)] = c_{ps}\rho_s + \frac{c_{pm}\rho_m - c_{ps}\rho_s}{\Delta t}(t - t_m + \frac{\Delta t}{2}) + \frac{L_f}{\Delta t}; \\ t > t_m + \frac{\Delta t}{2}, \lambda_1(t) = \lambda_m; [c_p(t)\rho(t)]_1 = c_{pm}\rho_m; \end{cases}$$

для корпуса инструмента ($i = 2$):

$$\lambda_2(t) = \lambda_2; [c_p(t)\rho(t)]_2 = c_{p2}\rho_{p2};$$

для матрицы ($i = 3$):

$$\lambda_3(t) = \lambda_3; [c_p(t)\rho(t)]_3 = c_{p3}\rho_{p3},$$

где t_m — температура плавления; Δt — интервал сглаживания; $\lambda_s, c_{ps}, \rho_s$ — теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность связки в твердом состоянии; $\lambda_m, c_{pm}, \rho_m$ — теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность расплава связки; L_f — скрытая теплота фазового перехода 1-го рода связки; $\lambda_2, c_{p2}, \rho_2$ — удельная теплоемкость и плотность материала корпуса инструмента; $\lambda_3, c_{p3}, \rho_3$ — теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность материала матрицы.

Примем следующие начальные условия:

$$T(x, y, z)|_{\tau=0} = F(x, y, z) = t_{\text{medium}}$$

где t_{medium} — температура окружающей среды; граничные условия на внешних поверхностях при $\tau > 0$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} |_{\Gamma_1} = q_r; \frac{\partial t}{\partial n} |_{\Gamma_2} = 0; -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} |_{\Gamma_3} = \alpha(t - t_{\text{medium}});$$

условия на границе контакта Γ_4 при $\tau > 0$

$$\begin{cases} t |_{\Gamma_4^-} = t |_{\Gamma_4^+}, \\ -\lambda_- \frac{\partial t}{\partial n} |_{\Gamma_4^-} + \lambda_+ \frac{\partial e}{\partial m} |_{\Gamma_4^+}, \end{cases}$$

где n — нормаль к поверхности; q_r — плотность мощности; α — коэффициент теплоотдачи; Γ_1 — облучаемая поверхность; Γ_2 — поверхность осевой симметрии; Γ_3 — поверхности, контактирующие с внешней средой; Γ_4 — граница контакта связки и матрицы.

Моделирование теплового процесса проводили с помощью программного обеспечения ANSYS 7.

Для выполнения расчетов была подготовлена параметрическая программа, в которой приводили все данные о модели: геометрические размеры, теплофизические свойства каждого материала, зона температурного влияния, время действия лазерного луча. При моделировании были выбраны следующие параметры облучения: мощность излучения 1500 Вт; диаметр пятна нагрева 0,7 мм; частота сканирования 200 Гц; амплитуда сканирования 7 мм; время действия излучения 0,2...1 с.

В качестве материалов модели применяли: корпус круга из стали 13X, корпус матрицы из стали 45; связка на основе стали 12X18Н10Т. Теплофизические характеристики материалов приведены в табл. 1.

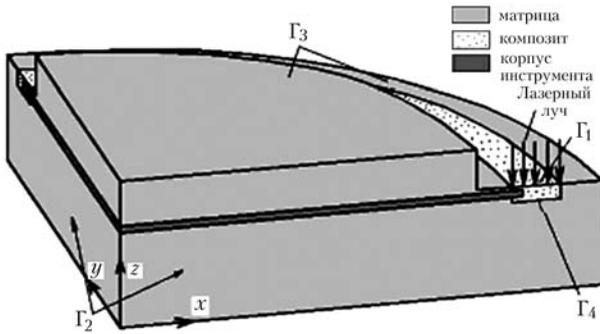


Рис. 3. Схема физической модели и учитываемые границы (обозначения см. в тексте)

В процессе моделирования принимали следующие упрощения:

учитывая большую скорость сканирования, небольшую амплитуду и относительно высокую инертность материала к термическому влиянию, считалось, что в каждой точке поверхности сканирования (7X0,7 мм) действует источник излучения с плотностью мощности 10^4 Вт/см²;

при моделировании для связки (12X18Н10Т) теплофизические характеристики принимали как для монолита;

поглощательная способность материала на протяжении облучения была постоянной;

наличие синтетических алмазов в композите не учитывалось.

При расчете теплового поля в программе ANSYS использован метод конечных элементов. На стадии деления целостной модели на отдельные части, имеющие определенные теплофизические свойства, модель разбивалась на элементарные тетраэдры. При этом каждому из них присваивался номер, соответствующий материалу с определенными свойствами. По мере приближения к области термического влияния для более точного отображения результатов расчетов шаг разбивки уменьшался.

Экспериментальное оборудование и методика проведения исследований. Экспериментальные исследования процессов лазерного спекания композитов из СТМ проводили на специальном технологическом комплексе. В состав комплекса входил мощный электроразрядный СО₂-лазер, устройство для транспортирования, фокусирования и контроля параметров излучения, пятикоординатный

стол с системой программного управления. Лазерное излучение с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм и мощностью излучения $P = 200...1500$ Вт фокусировалось плосковыпуклой сферической линзой из КС1 с фокусным расстоянием $F = 300$ мм. При этом диаметр пятна фокусирования изменялся в пределах $d_0 = 0,7...8$ мм, скорость перемещения детали относительно луча $v = 0,2...4,8$ м/мин.

Одной из основных задач исследования являлось определение максимальных значений температур сверхскоростного лазерного нагрева различных искусственных и природных алмазов и соответствующих им условий облучения, при которых не наблюдается ухудшения их прочности.

Методически данная задача решалась двумя способами — прямым облучением зерен алмазов, расположенных на графитовой подложке (рис. 4, а), и косвенным нагревом алмазов при лазерном оплавлении различных порошковых материалов, которые окружают и контактируют с ними (рис. 4, б, в). После лазерной обработки алмазы подвергали испытаниям на статическую прочность по стандартной методике.

Изучение влияния лазерного облучения на характер структуры (твердость, дисперсность, однородность, распределение легирующих элементов) проводили на образцах связки композита системы: ПС-12НВК-01–Со–алмаз; ХТН–Со–алмаз. В качестве экспериментальных изучали порошковые материалы, которые принципиально различаются основами. ПС-12НВК-01 — материал на основе никеля, который представляет собой механическую смесь порошков: 65 % ПГ-10Н-01 и 35 % WC. ХТН — порошковая смесь на основе нержавеющей стали 12Х18Н10Т с упрочняющими фазами TiB₂ и CrB₂. Химический состав порошков ПГ-10Н-01 и ХТН-23 приведен в табл. 2.

Образцы материалов в виде уплотненных слоев порошкового композита устанавливали на столе комплекса и обрабатывали на воздухе лазерным излучением при разной плотности мощности в пределах $1,4 \cdot 10^3...1,4 \cdot 10^4$ Вт/см² и скоростях обработки 0,2...2,0 м/мин. После облучения образцы изучали с применением методов растровой электронной микроскопии и локального рентгеноспектрального элементного анализа.

Результаты исследований. Искусственные алмазы марок АС125 (500/400), АС125 (425/300) и АС160 (400/315), отобранные по 60 штук в партии и разделенные по цвету (желтые и зеленовато-желтые), подвергали лазерному облучению. Режимы лазерного нагрева отвечали расчетным, которые планировалось применить для улучшения структуры, а также спекания композитов с разными типами связей.

Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов, составляющих композиты

Параметр	13X	45	12X18H10T
Теплопроводность, Вт/(см·К)	26	30	27,8
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	0,578	0,662	0,7
Температура плавления, °С	1535	1535	1400
Плотность, ·10 ³ кг/м ³	7,77...7,85	7,77...7,85	7,9...8,2
Теплота фазового перехода ·10 ⁵ , Дж/кг	0,90	1,00	0,80

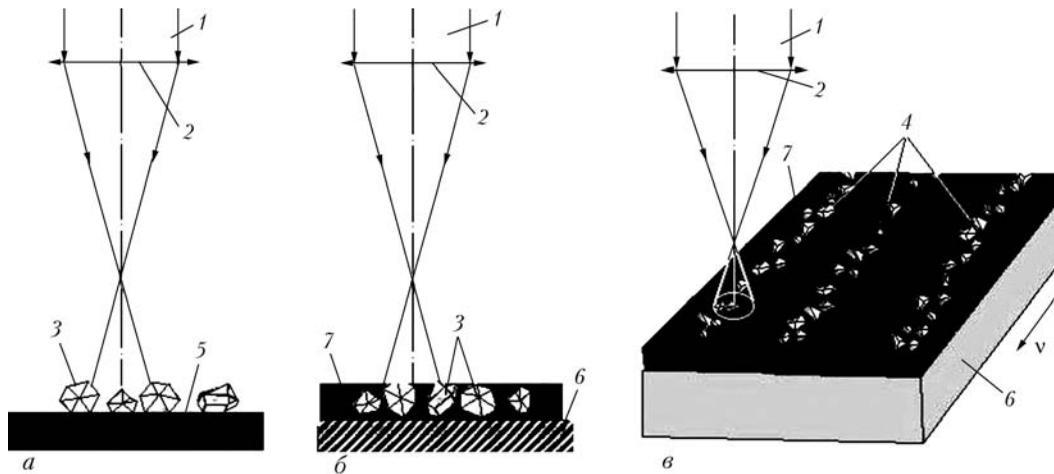


Рис. 4. Схемы облучения алмазов: *a* — прямое облучение; *б, в* — оплавление связки с алмазами соответственно при различном времени экспозиции и перемещающимися относительно лазерного луча: 1 — лазерный луч; 2 — линза; 3, 4 — соответственно алмазы и алмазы, погруженные в связку; 5, 6 — соответственно графитовая и стальная подложка; 7 — связка

Таблица 2. Химический состав порошковых материалов, мас. %

Материал	Fe	Ni	C	Cr	Ti	B	Al	Si
ПГ-10Н-01	3...7	Основа	0,6...1	14...20	—	2,8...4,2	0,8...1,2	4...4,5
ХТН-23	Основа	6...8	—	20...20,5	2,4...2,5	2,5...2,6	—	—

При прямом облучении искусственных алмазов (рис. 4, *a*), которые частично прозрачны для данной длины волны, прогнозировать количество поглощенной энергии излучения практически невозможно. Поэтому одновременно зерна алмазов подвергали косвенному скоростному нагреву за счет лазерного оплавления порошков кобальта, ПС-12НВК, ХТН-23, в которые предварительно были помещены искусственные и естественные алмазы (рис. 4, *б, в*). Результаты испытаний облученных алмазов на статическую прочность приведены на рис. 5, *a*. Анализ приведенных данных показывает, что лазерное облучение может в некоторой мере снижать прочность алмазных зерен. В первую очередь это обусловлено появлением трещин, которые возникают на поверхности зерен и распространяются вдоль ребер их огранки. Причиной появления трещин являются внутренние напряжения алмазов, их дефектность, режим облучения (в первую очередь, время). В общем случае можно констатировать, что зерна бездефектных и прочных искусственных алмазов при избранных режимах лазерного облучения своей прочностью практически не теряют (рис. 5, *a*). На рис. 5, *б* представлены области режимов облучения для различных видов связок, в пределах которых после спекания обеспечивается исходное качество алмазов (рис. 6, *a*). За пределами этих областей или отсутствует спекание (с левой стороны), или наблюдается трещинообразование (рис. 6, *б*), окисление алмазов (с правой стороны).

Изучение алмазных зерен показало, что в процессе лазерного облучения они имели хороший

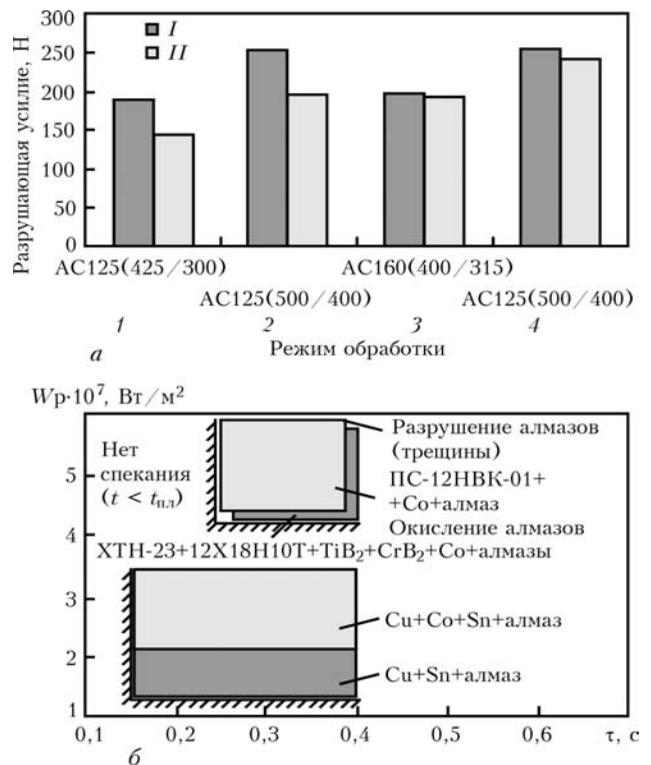


Рис. 5. Разрушающее усилие для исходных (*I*) и облученных (*II*) алмазов: 1 — $W_p = 1,7 \cdot 10^3$ Вт/см²; $\tau = 0,09$ с; 2 — $0,6 \cdot 10^3$, 0,15; 3 — $0,4 \cdot 10^3$, 0,18; 4 — $0,2 \cdot 10^3$, 0,24 (*a*); области оптимальных режимов лазерного спекания для различных типов связок (*б*)

тепловой контакт с расплавленным металлом. Подтверждением этому являются данные растровой электронной микроскопии (рис. 7, *a*), наличие

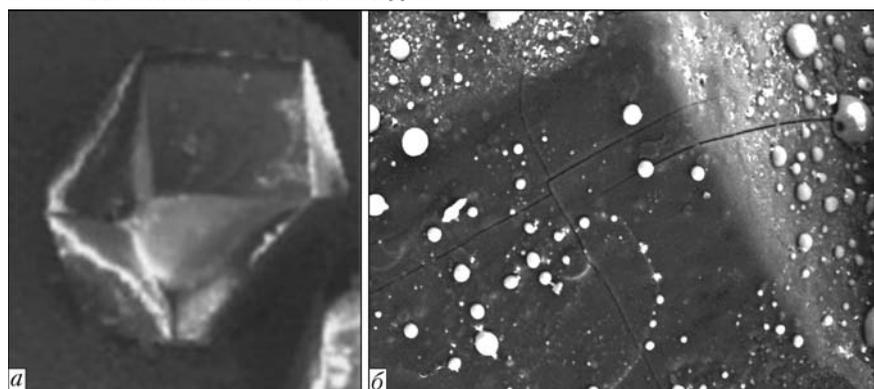


Рис. 6. Микроструктура ($\times 1000$) алмазного кристалла после лазерного спекания в оптимальной области режимов (а) и за ее пределами с трещинами (б)

на поверхности алмазных зерен слоя расплавленного кобальта толщиной от 18 до 400 нм, установленное с помощью качественного и количественного микроанализа (рис. 7, б).

Поскольку температура плавления кобальта составляет $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, можно утверждать, что и алмазные зерна нагревались до таких же температур. При этом заметного термического разрушения алмазов не наблюдалось. Наличие пленки металла свидетельствует также о хорошей смачиваемости алмазов кобальтом, что очень важно для повышения прочности механического зацемяления алмазных зерен связкой, а также процессов теплопередачи. Известно, что жидкий кобальт хорошо растворяет углерод, что может отрицательно сказываться на механических свойствах алмазов. Однако при таком небольшом времени существования жидкой фазы ($10^{-2}\dots 10^{-3}$ с) протекание заметных диффузионных процессов маловероятно. Тем не менее для исключения возможности этого взаимодействия целесообразно кобальт в связках применять вместе с карбидообразующими металлами или карбидами, например, карбидом вольфрама. С помощью лазерного оплавления порошков ХТН-23 и ПС-12НВК с алмазами, которые имеют более низкие температуры плавления (1220 и $1320\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно) также не обнаружено термического разрушения алмазов, потери их прочности. Отмечены единичные случаи образования трещин, которые следует считать результатом исходной дефектности алмазных зерен.

Ранее опытами по спеканию системы ПС-12НВК-01 (100 %) — алмаз при плотности мощности $5,1\cdot 10^7\dots 2,0\cdot 10^8$ Вт/м², диаметре пучка 3...5 мм и скорости сканирования 0,8 м/мин было установлено растрескивание связки. Поэтому с целью увеличения пластичности композиции нами к порошку ПС-12НВК-С1 (10 %) был добавлен кобальт (90 %). При меньшем содержании кобальта в данной композиции практически не удавалось получить брикет композита удовлетворительной прочности. Технологические режимы лазерного спекания были следующими: плотность мощности излучения $5,1\cdot 10^7\dots 1,4\cdot 10^8$ Вт/м², диаметр пучка 3...5 мм и скорость сканирования 0,8...1,2 м/мин.

Таким образом, приведенные выше результаты исследований показали, что для спекания композиции ПС-12НВК-01 (10 %) — Со (90 %) — алмаз плотность мощности излучения должна быть в пределах $5\cdot 10^7$ Вт/м², диаметр пучка 5...6 мм и скорость сканирования 0,8...1,2 м/мин. Режим спекания с плотностью мощности излучения $1,4\cdot 10^8$ Вт/м² является «жестким», при котором кобальт интенсивно плавится.

Спекание композита системы ХТН (10 %) — Со (90 %) — алмаз выполняли при плотности мощности $5,1\cdot 10^7\dots 1,4\cdot 10^8$ Вт/м², диаметре пучка 3...8 мм и скорости передвижения теплового источника 0,8...1,2 м/мин. При обработке на верхних режимах ($W_p = 1,4\cdot 10^8$ Вт/м², $d_0 = 3$ мм, $v = 0,8$ м/мин) порошок композиции расплавлял-

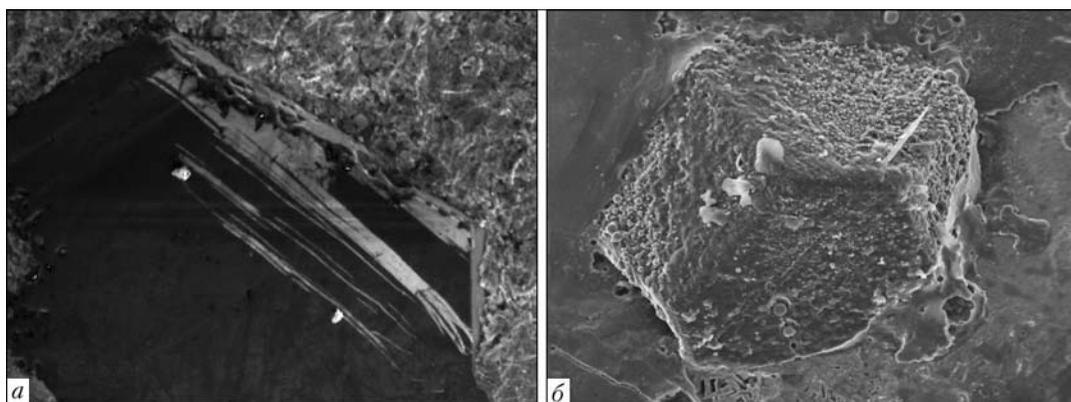


Рис. 7. Микроструктура ($\times 520$) алмазных зерен в зоне контакта со связкой (а) и покрытых пленкой кобальта (б)

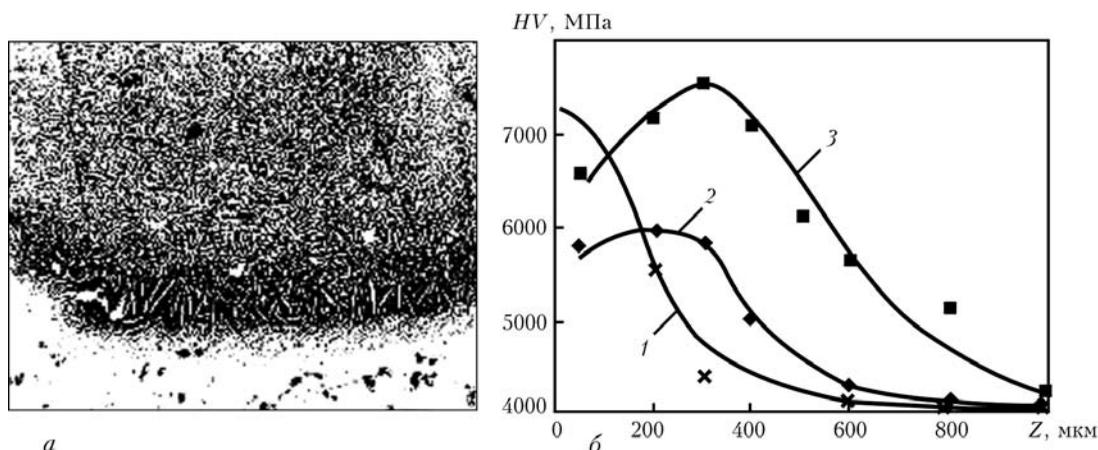


Рис. 8. Микроструктура связки, $\times 400$ (а) и распределение твердости по глубине композита на основе ХТН, полученного лазерным спеканием при $v = 0,2$ м/мин и различных условиях облучения (б): 1 — $W_p = 6$; 2 — 11; 3 — 25 кВт/см²

ся. Это внешне проявлялось в значительной пористости, которая возникала на границе алмаз – связка. Структура расплавленного материала состоит из зерен кобальта, окруженного со всех сторон фазой кобальт–никель, с вкраплениями фазы кобальт–карбид вольфрама.

Размеры зерен кобальта изменялись от 5 до 8 мкм. При лазерной обработке содержание карбида вольфрама в 2,0...2,5 раза меньше, чем в исходном порошке. По нашему мнению, для указанного выше технологического режима (достаточно жесткого) температура в зоне облучения значительно превышала температуру плавления кобальта. Как следствие, при таких температурах происходило образование трещин на поверхности алмазов. В устье некоторых трещин шириной не менее 1,3 мкм наблюдаются капельки металла. Для того чтобы установить природу этих капель (это исходный расплавленный порошок связки или металл-растворитель алмаза) был выполнен качественный анализ их материала. Установлено, что соотношение железа к кобальту в композите составляет 4,3, а в устье трещины — 1,4 %. Это свидетельствует о том, что в устье трещины находятся металлы-растворители, которые выходят на внешнюю поверхность после образования трещины вследствие термического действия на алмаз лазерного излучения.

В целом изложенные выше результаты исследований свидетельствуют о том, что и в этом случае, как и при спекании композиции ПС-12НВК (10 %) — кобальт (90 %) — алмаз, плотность мощности излучения должна быть в пределах $5 \cdot 10^7$ Вт/м², диаметр луча 5...6 мм и скорость сканирования 0,8...1,2 м/мин.

Таким образом, лазерное облучение позволяет спекать изученные композиты при отсутствии отрицательного термического влияния на монокристаллы алмазов.

Металлографические исследования показали, что после лазерного спекания связка композита

из порошковой смеси ХТН имеет высокодисперсную структуру (рис. 8, а). Измельченность избыточных кристаллов упрочняющих фаз (TiB_2 , CrB_2) и эвтектики значительно выше, чем у связок, полученных плазменным напылением. В оплавленных слоях наблюдаются участки повышенной травимости, подобные мартенситным иглам. Они представляют собой эвтектические локальные участки с дисперсной структурой. Упрочняющие фазы и γ -фаза ориентированы в направлении теплоотвода. Скорость охлаждения в приповерхностных слоях, рассчитанная по толщине кристаллов упрочняющей фазы, составляла примерно $5 \cdot 10^4 \dots 10^5$ °С/с. С увеличением расстояния от поверхности дисперсность структуры снижается, увеличиваются размеры кристаллов упрочняющих фаз. Микротвердость структуры по глубине наплавленного слоя изменяется плавно, зависит от режимов обработки и составляет 7000...7500 МПа (рис. 8, б). Твердость наплавленных слоев повышается с увеличением степени дисперсности их структурных составляющих, возрастанием доли более твердой эвтектики и твердости матрицы.

Триботехнические характеристики связок композитов, полученных лазерным оплавлением (величина и характер износа, коэффициент трения), изучали в условиях сухого трения. Исследовали связки из ХТН и ПС-12НВК-С1. Испытания проводили при различных удельных давлениях 1...9 МПа. Скорость скольжения составляла 0,1 м/с. Для сравнения параллельно испытывали на изнашивание покрытие ХТН, полученное плазменным напылением.

Наибольшая износостойкость характерна для покрытия ХТН, имеющего меньшую твердость из сравниваемых наплавов. Оно лучше работает как при малых удельных нагрузках, так и при больших — до 9 МПа (в последнем случае отличие очень существенное). Профилограммы поверхностей трения после испытаний на изнашивание показывают, что наплавленные слои в общем случае изнашиваются равномерно, без видимого

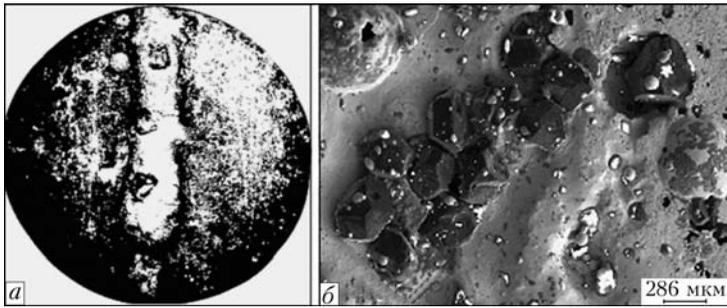


Рис. 9. Особенности лазерного спекания свободно насыпанных порошков системы ПС-12НВК-01 (10 % — Со (90 %) — алмаз (а) с образованием регулярных групп алмазов (б)

хрупкого разрушения. Это обусловлено высокой дисперсностью структуры, равномерным распределением твердых упрочняющих фаз и пластичной γ -фазой. Лазерное оплавление по сравнению с плазменным напылением существенно повышает износостойкость сплавов заэвтектического состава, содержащих избыточные кристаллы диборидов. При лазерном оплавлении в силу больших скоростей кристаллизации, образования сильно пересыщенных растворов уменьшается количество избыточных кристаллов и их размеры. Связка по своей структуре смещается в сторону эвтектической и имеет твердость несколько ниже по сравнению с твердостью связок, получаемых плазменным напылением [9], однако при этом они не имеют характерного хрупкого износа.

Результаты испытаний на изнашивание показывают, что порошковые материалы на основе стали после лазерной наплавки не уступают, а превосходят самофлюсующиеся сплавы на основе никеля. Такой эффект можно объяснить влиянием на процесс трения окислительных процессов, образованием вторичных структур, способных к самоорганизации.

При спекании алмазосодержащих композитов, изготовленных из шихты, которая находилась в свободном состоянии, формировались валики (рис. 9, а), размерами и формой которых трудно управлять, тем более получить с заданной точностью. Изучение «дорожек» композитов с зёрнами алмазов, полученных методом лазерного

жидкофазного спекания (рис. 9, а), показало, что алмазы в композите перемещались к поверхности расплава и перестраивались в цепочки или регулярные группы (рис. 9, б). Образование таких групп обусловлено всплытием алмазов в расплаве ввиду различия в плотностях алмазов и связки. Такие особенности наложили свой отпечаток на технологию формирования алмазосодержащих слоев реальных инструментов, которые должны иметь конкретные размеры и точность.

В связи с этим был предложен новый способ лазерного термомодеформационного спекания, сущность которого заключается в том, что процесс формообразования алмазосодержащего рабочего слоя осуществляется в специальных матрицах с помощью лазерного нагрева и последующего уплотнения закристаллизовавшегося композита пластическим деформированием.

Полученные результаты явились основой разработки способов изготовления алмазосодержащих инструментов и соответствующего технологического оборудования.

Предлагаются две основные технологические схемы спекания алмазосодержащего композита на конкретных инструментах, в частности, на тонких отрезных кругах, представленные на рис. 10.

Схема осевого послыстного наращивания алмазосодержащего композита (рис. 10, а) предусматривает реализацию процесса спекания путем подачи в специальную полупресс-форму с размещенным в ней корпусом отрезного круга и порошковой связки с алмазами. Одновременно лазерный луч, сканирующий в радиальном направлении, с амплитудой, равной ширине алмазосодержащего слоя, оплавляет кромку корпуса круга и металлическую связку. При этом частота сканирования обеспечивает квазинепрерывность теплового потока, интенсивность которого достаточна для расплавления связки. Закристаллизовавшаяся, но еще пластичная связка с алмазами по мере перемещения пресс-формы уплотняется деформирующим роликом, формируя требуемые размеры и профиль. Данная схема позволяет реализовать и другие варианты организации процесса спекания.

Схема радиального послыстного наращивания (рис. 10, б) позволяет реализовать процесс спекания однорядных и многослойных алмазосодержащих композитов. Она реализуется путем подачи в зону действия лазерного луча на перемещающийся между неподвижными формирующими матрицами корпус круга порошковой связки и алмазов. Расплавленная и закристаллизовавшаяся связка уплотняется деформирующим элементом. Формирующая матрица, состоящая из

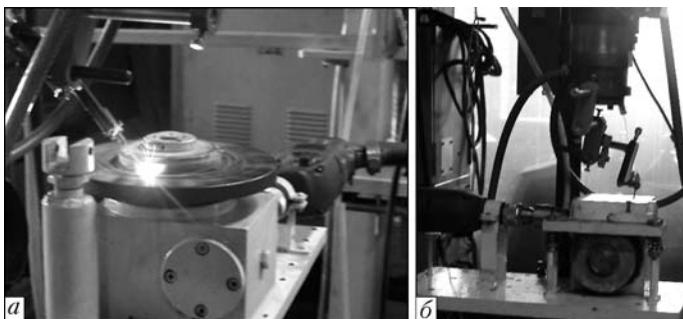


Рис. 10. Осевое (а) и радиальное (б) послыстное термомодеформационное лазерное спекание алмазосодержащего композита на отрезных кругах



двух полуматриц, имеющих сложные профили, обеспечивает возможность при своем повороте регулировать высоту спекаемого слоя.

Каждая из приведенных схем предназначена для решения определенного круга технологических задач. Они не исключают друг друга, а взаимно дополняют, расширяя технологические возможности метода.

Предложенные схемы были апробированы при лазерном спекании алмазосодержащих композитов на реальных инструментах. Полученные результаты подтвердили высокую эффективность разрабатываемой технологии.

В заключение следует отметить, что лазерный кратковременный нагрев алмазов АС125 (400/315), АС160 (400/315) на воздухе при времени воздействия 0,2...0,4 с до температур 1200...1500 °С не приводит к их термическому разрушению и ошугутизации. Исключение составляют алмазы, имеющие исходную дефектную структуру.

С помощью математического моделирования выявлен характер распределения температур в спекаемом слое, корпусе круга и прилегающей полуматрице, что позволяет регулированием процесса их рационального принудительного охлаждения управлять качеством процесса лазерного спекания.

Доказана принципиальная возможность использования в качестве связок износостойких и прочных порошковых сплавов на основе никеля и железа с добавками кобальта, что может быть применено при изготовлении однорядного многослойного алмазного инструмента. Этому способствует установленный факт плотного охвата алмазных зерен связкой с образованием на их поверхностях металлических пленок, а также эффект образования в условиях лазерного оплавления четких упорядоченных однослойных групп или цепочек алмазных зерен.

Для устранения остаточных термических деформаций, которые возникают при лазерном спекании, получения необходимой геометрии и качества поверхности алмазного инструмента целесообразно процесс лазерного облучения объединить с локальным деформированием алмазосодержащего слоя в нагретом состоянии.

Разработанные способы и технологические схемы термодеоформационного спекания алмазосодержащих композитов на примере отрезных кругов с применением сканирующего лазерного пучка и методом послыйного наращивания показали их высокую эффективность.

1. *Скоруход В. В.* Спекание порошковых материалов при электротермическом, плазменном и лазерном нагреве // *Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя.* — К.: Наук. думка, 1998. — С. 228–248.
2. *Pat. 4938816 USA.* Selective laser sintering with assisted powder handling / J. J. Beaman, C. R. Dekard. — Publ. 1989.
3. *Райченко А. И.* Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. — М.: Металлургия, 1984. — 128 с.
4. *Измерение* поглощательной способности свободно насыпанных однокомпонентных металлических порошков и ее изменение в процессе лазерной обработки / Н. К. Толочко, Ю. В. Хлорков и др. // *Порош. металлургия.* — 1997. — № 7/8. — С. 89–94.
5. *Рагуля А. В.* Селективное лазерное спекание. 1. Принципы. Континуальная модель // Там же. — 1998.
6. *Коваленко В. С., Головкин Л. Ф., Черненко В. С.* Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. — Киев: Техніка, 1991. — 128 с.
7. *On the possibility of using laser technology for diamond tool manufacturing* / V. S. Kovalenko, L. F. Golovko, N. V. Novikov et al. // *J. of Eng. Manufacture.* — 2004. — **218**, Pt B. — P. 1029–1036.
8. *Features of application of laser technology for a sintering diamond of composite materials* / V. S. Kovalenko, L. F. Golovko, N. V. Novikov et al. // *Intern. conf. on laser technologies in welding and materials processing.* — Katsieveli, Crimea, 21–28 May, Kiev, 2005. — P. 121–125.
9. *Research of direct laser sintering of metal powders* / Yu. A. Chivel, K. E. Beliavin, V. K. Pavlenko et al. // *Ibid.* — P. 113–115.

The paper gives a substantiation of the urgency of solving the problem of producing high-quality and effective tool composites, containing superhard materials. Issues of the influence of short-term high-temperature laser heating on the physico-chemical processes running on diamond surface and in the zone of their contact with the binders are described. Results of studying the thermal processes running in a composite material at high-speed laser heating and physico-mechanical properties of binders of diamond-containing composites are given. A new method of thermodeformational laser sintering and different schematics of its implementation are proposed.

Поступила в редакцию 11.04.2008



ОСОБЕННОСТИ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, д-р техн. наук, М. В. МИРОНОВА, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Показано, что при наплавке в постоянном продольном магнитном поле (ПРМП) частотой 50 Гц глубина и площадь проплавления основного металла уменьшаются, если продольная компонента индукции превышает уровень в 50...60 мТл. При наплавке проволокой в ПРМП на оси дуги образуется разрежение. Постоянное и переменное магнитное поле частотой 50 Гц оказывают тормозящее действие на скорость потоков жидкого металла в ванне, и это является одним из основных факторов, приводящих к уменьшению глубины проплавления основного металла при дуговой наплавке проволокой под флюсом.

Ключевые слова: дуговая наплавка, низколегированная сталь, продольное магнитное поле, индукция, сварочная ванна, давление дуги, проплавление

При дуговой сварке в продольном магнитном поле (ПРМП) наблюдается такое неблагоприятное явление, как уменьшение глубины проплавления основного металла [1], что применительно к процессу дуговой наплавки проволокой под флюсом является благоприятным. В работе [2] отмечено, что при наплавке проволокой под флюсом увеличение индукции ПРМП частотой 50 Гц снижает глубину проплавления основного металла. Ввиду важности для практики наплавочных работ эффект снижения эффективности проплавления основного металла при воздействии ПРМП требует углубленного изучения. Настоящая работа посвящена уточнению эффекта влияния ПРМП на глубину и площадь проплавления основного металла при наплавке, а также причин, лежащих в основе этого влияния.

Наплавки выполняли на постоянном токе обратной полярности проволокой Св-08ГА (ферромагнетик) диаметром 4 мм на пластины из стали 09Г2С (ферромагнетик) толщиной 20 мм под флюсом АН-348А в ПРМП на режиме: $I_n = 500...550$ А, $U_d = 30...32$ В, $v_n = 27$ м/ч. Во всех экспериментах продольную компоненту индукции B_z измеряли у поверхности этой пластины при расстоянии от плоского торца электрода до пластины 5 мм. Индукцию постоянного ПРМП измеряли миллитесламетром типа ЭМ-4305 с датчиком Холла с базой 1×1 мм, а переменного ПРМП — миллитесламетром типа Ф-4356 с датчиком Холла с базой 4×4 мм.

Для создания магнитного поля использовали соленоид с ферромагнитным сердечником, установленный соосно с электродом. Наплавки осуществляли с воздействием постоянного и пере-

менного ПРМП частотой 50 Гц. Чтобы уменьшить радиальные компоненты индукции B_r у электрода в жидком металле ванны, выполняли также наплавки проволокой Св-12Х18Н10Т (немагнитной) диаметром 4 мм на пластины толщиной 20 мм из такой же стали под флюсом АН-20С на указанных выше режимах. На рис. 1, а, б приведены данные поперечных макрошлифов валиков при наплавке с неизменной скоростью подачи проволоки. При увеличении индукции B_z как знакопеременного частотой 50 Гц, так и постоянного ПРМП глубина проплавления $H_{пр}$ уменьшается в одинаковой степени (рис. 1, а, кривые 1 и 2). Кроме того, при использовании немагнитных материалов, когда в зоне жидкого металла у электрода практически отсутствует компонента индукции B_r , глубина $H_{пр}$ и площадь проплавления $F_{пр}$ основного металла также значительно уменьшаются при увеличении индукции B_z ПРМП частотой 50 Гц (рис. 1, а, кривые 3, б). Характерно, что при индукции $B_z \leq 50...60$ мТл глубина проплавления практически не изменяется, а при $B_z \geq 50...60$ мТл начинает существенно уменьшаться. Поскольку при включении ПРМП наблюдается снижение I_n и увеличение U_d , выполняли также наплавки, когда при воздействии ПРМП увеличивали скорость подачи проволоки и сохраняли (во всех экспериментах) одинаковое значение тока наплавки I_n . Данные о глубине проплавления $H_{пр}$ и площади проплавления $F_{пр}$ в зависимости от индукции ПРМП (рис. 1, б) в этом случае практически совпали с данными, приведенными на рис. 1, а, совпали также и установленные зависимости. Для выявления причин наблюдаемых эффектов выполнили исследования, результаты которых изложены ниже.

Давление дуги определяли при наплавке проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм открытой дугой путем прохождения дуги над вольфрамовым

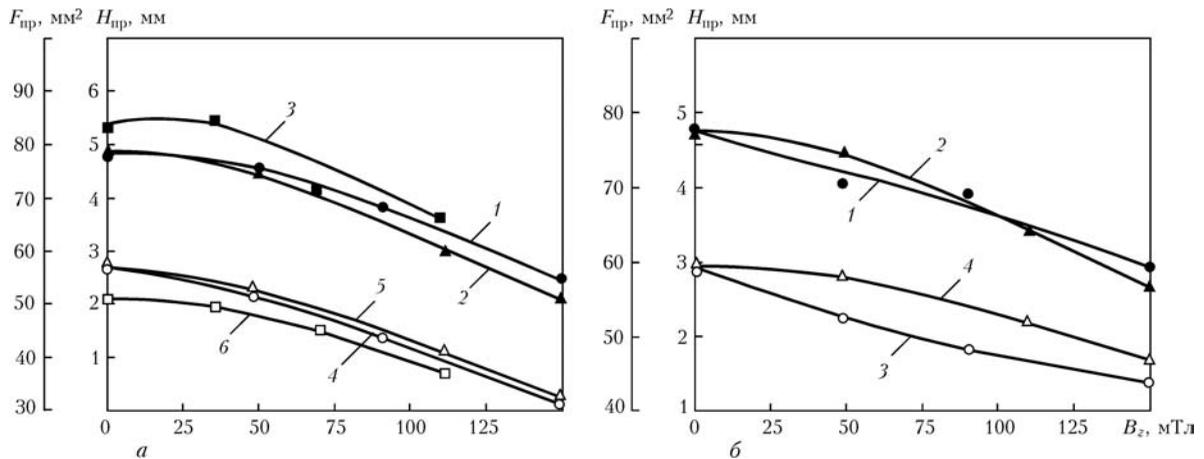


Рис. 1. Влияние индукции B_z ПРМП на параметры $H_{пр}$ (темные значки) и $F_{пр}$ (светлые): *a* — $v_{под} = \text{const}$: 1, 4 — Св-08ГА \varnothing 4 мм, ПРМП частотой 50 Гц; 2, 5 — Св-08ГА \varnothing 4 мм, постоянное ПРМП; 3, 6 — Св-06Х19Н9Т \varnothing 4 мм, ПРМП частотой 50 Гц; *б* — $I_n = \text{const}$: 1, 3 — Св-08ГА \varnothing 4 мм, ПРМП частотой 50 Гц; 2, 4 — Св-08ГА \varnothing 4 мм, постоянное ПРМП

зондом диаметром 1,0 мм, ось которого установлена на расстоянии 1,5 мм от поверхности пластины, и измерения усилия, оказываемого потоками в плазме дуги на зонд. Установка для измерений и методика исследования газодинамического давления дуги описана в работе [3]. Выполнить указанные измерения оказалось возможным, поскольку при плавлении электрода образовывались чрезвычайно мелкие капли, которые не приводили к замыканию вольфрамового зонда на изделие. Распределение давления дуги по радиусу получали после обработки экспериментальных данных о силе воздействия дуги на вольфрамовый зонд по следующей методике.

Как и в работе [3], исходной информацией служили записи во времени t усилий, которые оказывала перемещающаяся со скоростью наплавки дуга на неподвижный зонд. Типичные осциллограммы записи силы воздействия дуги на зонд приведены на рис. 2, *a* и *б* соответственно для процесса горения дуги без воздействия и с воздействием ПРМП. Полученные кривые были симметричны. С учетом масштаба изображения по горизонтали (по времени) и скорости наплавки расстояние между точками *A* и *B* на этих рисунках соответствует диаметру дуги D . Вследствие достаточной симметрии кривых определяли значение радиуса R ($R = D/2$) и выполняли их обработку на одной из ветвей этой кривой вдоль радиуса R .

Сечение дуги (в виде круга), в котором измеряли силу воздействия дуги на зонд, разбивали на серию колец, которым соответствовали номера j ($j = 1, \dots, n$, n — количество колец, рис. 2, *в*). Силу воздействия дуги на зонд F_j , когда он находился в i -м положении, определяли из осциллограмм (рис. 2, *a*, *б*). При этом принимали, что на всей площади выделенного j -го кольца газодинамическое давление дуги p_j было постоянным. Усилие, оказываемое на зонд, пропорционально площади зонда, введенного в j -е кольцо. В общем

виде уравнение для определения силы воздействия дуги на зонд в i -м положении имеет вид

$$F_i = C_{л3} d_3 \sum_{j=1}^i p_j 2l_{ij} \quad (1)$$

где i — номер положения зонда ($i = 1, \dots, n$); d_3 — диаметр зонда, вводимого в дугу; l_{ij} — половина длин участков зонда, находящихся в j -м кольце при i -м положении зонда, $l_{ii} = \sqrt{R_i^2 - h_i^2}$, $l_{ij} = \sqrt{R_j^2 - h_i^2} - \sqrt{R_{j+1}^2 - h_i^2}$ ($j < i$), $h_i = R_i + R_{i+1}/2$, $R_j = R - R/n$ ($j - 1$); h_i — расстояние от оси сечения дуги до оси зонда при i -м его положении; R_j — внешний радиус j -го кольца; $C_{л3}$ — коэффициент лобового сопротивления проволоки, являющийся функцией числа Рейнольдса [4]:

$$Re = \frac{v_{п3} d_3 \rho}{\eta}$$

где $v_{п3}$ — скорость потока плазмы; η — динамическая вязкость плазмы; ρ — плотность плазмы дуги.

Проведенные оценки показали, что для дуговой плазмы [5] $10^2 < Re < 10^4$, при этом значение $C_{л3}$ близко к 1 [6]. В расчетах было принято $C_{л3} = 1,0$.

На рис. 2, *в* в качестве примера приведены соответствующие обозначения для случая разбивки круга на пять колец. С помощью программы Microsoft Excel находили давление p_j в каждом кольце. Например, значение давления p_1 в первом кольце (наружном) определяли из уравнения, вытекающего из (1), приняв значение силы F_1 из рис. 2, *a* при положении зонда на расстоянии h_1 от оси дуги. Далее определяли давление p_2 во втором кольце, считая известным значение давления p_1 в первом кольце и т. д. Блок расчетных формул для $n = 5$ имеет вид

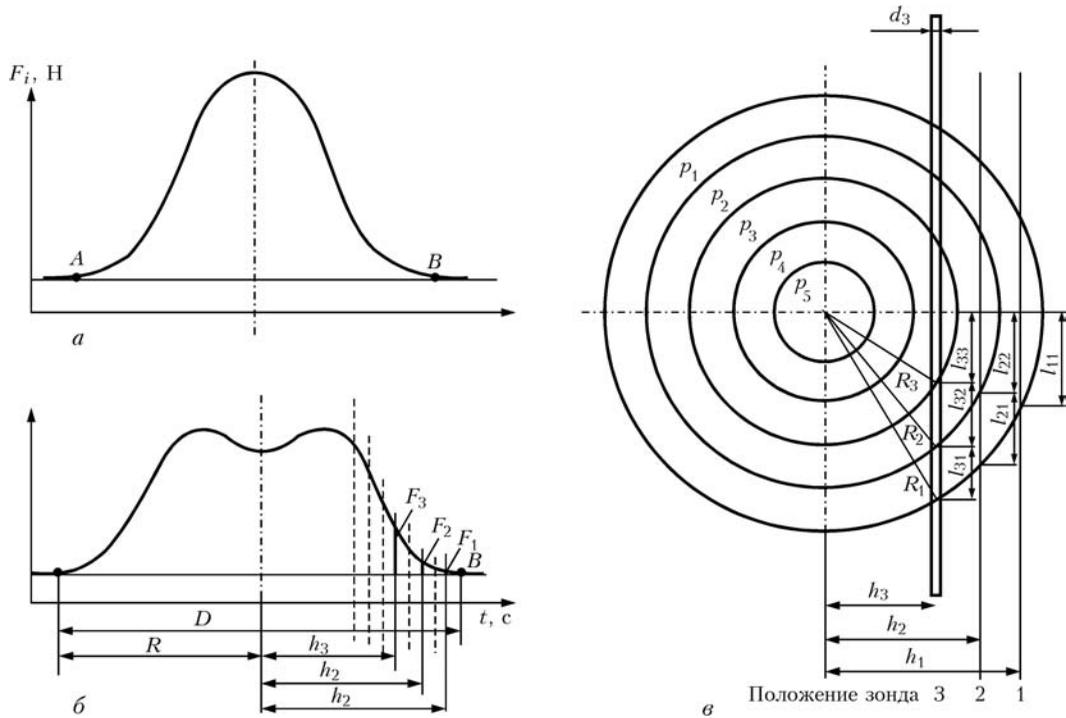


Рис. 2. Схема к расчету распределения газодинамического давления дуги вдоль радиуса R : а, б — осциллограммы усилия F_i перемещавшей со скоростью наплавки дуги на зонд соответственно без воздействия и с воздействием ПРМП; в — схема обработки результатов измерений (обозначения см. в тексте)

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \frac{F_1}{2C_{л3}d_3l_{11}}, \\
 p_2 &= \left[\frac{F_2}{C_{л3}d_3} - p_1 2l_{21} \right] \frac{1}{2l_{22}}, \\
 p_3 &= \left[\frac{F_3}{C_{л3}d_3} - p_1 2l_{31} - p_2 2l_{32} \right] \frac{1}{2l_{33}}, \\
 p_4 &= \left[\frac{F_4}{C_{л3}d_3} - p_1 2l_{41} - p_2 2l_{42} - p_3 2l_{43} \right] \frac{1}{2l_{44}}, \\
 p_5 &= \left[\frac{F_5}{C_{л3}d_3} - p_1 2l_{51} - p_2 2l_{52} - p_3 2l_{53} - p_4 2l_{54} \right] \frac{1}{2l_{55}}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$F_{\text{инт}} = \sum_{j=1}^n p_j \pi (R_j^2 - R_{j+1}^2), \tag{3}$$

$$p_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{инт}}}{\pi R^2}. \tag{4}$$

Интегральная сила воздействия дуги на основной металл (рис. 4, кривые 1, 2), а также среднее газодинамическое давление дуги (рис. 4, кривые 3, 4) при малых значениях индукции ПРМП увеличиваются при повышении индукции как постоянного, так и переменного ПРМП частотой 50 Гц. Характерно, что эти параметры стабили-

Отметим, что описанный метод позволяет определить давление струй паров металла электрода и плазмы на зонд, но не может дать сведений об избыточном давлении магнитного поля внутри дуги. Данные распределения газодинамического давления вдоль радиуса дуги R (рис. 3) показали, что при увеличении индукции B_z ПРМП давление в осевой зоне дуги с плавящимся электродом уменьшается, а в направлении радиуса увеличивается, проходя через максимум, что соответствует данным работы [7], установленным для процесса сварки вольфрамовым электродом в аргоне. Интегральную силу воздействия дуги и среднее газодинамическое давление на основной металл определяли соответственно по формулам

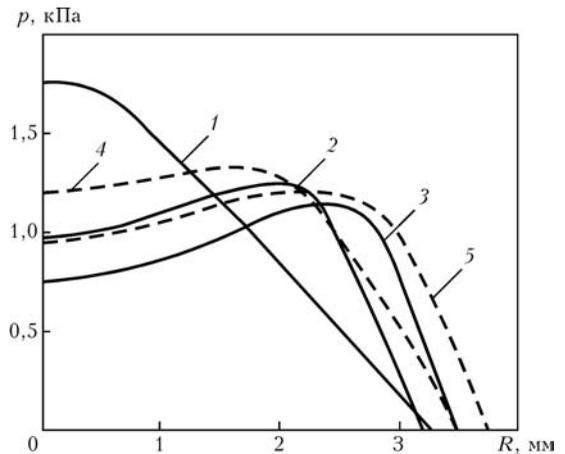


Рис. 3. Распределение газодинамического давления дуги вдоль радиуса R с воздействием постоянного ПРМП (2, 3) и с ПРМП частотой 50 Гц (4, 5): 1 — $B_z = 0$; 2, 4 — 63...65; 3, 5 — 100 мТл

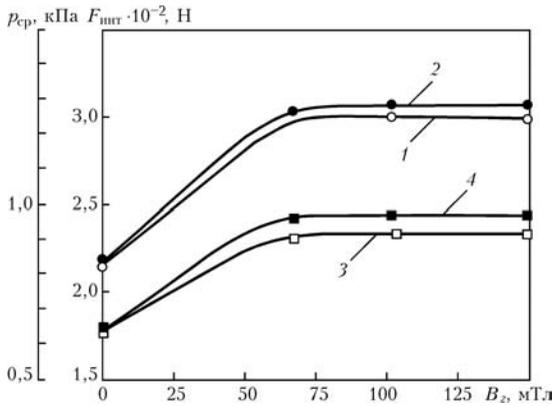


Рис. 4. Влияние индукции B_z ПРМП на интегральное усилие (1, 2) и среднее газодинамическое давление дуги (3, 4): 1, 3 — постоянное ПРМП; 2, 4 — ПРМП частотой 50 Гц

зируются, если индукция ПРМП превышает ориентировочно значения 50...60 мТл.

Таким образом, наблюдаемое уменьшение $H_{пр}$ при увеличении индукции B_z ПРМП и особенно при B_z свыше 50...60 мТл (см. рис. 1) не может быть объяснено изменением интегрального усилия дуги, либо среднего давления дуги, поскольку они не снижаются в указанном диапазоне индукций ПРМП. Полагали, что объяснение факта снижения $H_{пр}$ при увеличении индукции B_z ПРМП необходимо искать, анализируя явления, связанные с гидродинамикой жидкого металла в сварочной ванне и прежде всего с торможением потоков этого металла при воздействии ПРМП.

Воздействие постоянного ПРМП на движущийся из головной в хвостовую часть ванны со скоростью v жидкий металл индуцирует в этом металле поперечное электрическое поле напряженностью E (рис. 5) [8]. Этот процесс приводит к возникновению поперечного напряжения $U = Eb_b$ (где b_b — ширина ванны). Выделим трубку тока, показанную на рис. 5. В этой трубке напряжение U вызывает появление поперечного индуцированного тока I . Так как направление скорости v перпендикулярно направлению вектора B_z , то для модуля напряженности электрического поля можно записать:

$$E = vB_z, \quad (5)$$

$$U = Eb_b = IR, \quad (6)$$

где R — сопротивление контура, по которому замыкается ток I (по основному металлу).

Из формул (5) и (6) следует, что значение тока пропорционально B_z и v :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{Eb_b}{R} = \frac{b_b B_z v}{R}. \quad (7)$$

На выделенную трубку с током I действует сила F [8]:

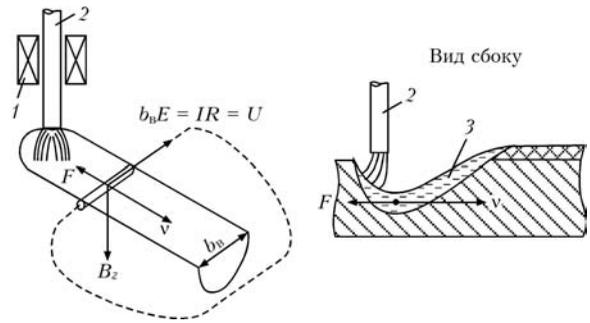


Рис. 5. Схема к расчету силы F , тормозящей скорость потока металла в ванне: 1 — соленоид; генерирующий ПРМП; 2 — электрод; 3 — жидкий металл сварочной ванны

$$F = IB_z b_b. \quad (8)$$

Используя выражение (7) и исключив ток, получаем

$$F = \frac{\rho B_z^2 b_b^2}{R}. \quad (9)$$

Отметим, что сила F всегда направлена встречно вектору v , т. е. уменьшает скорость потока. Рассмотренные явления в ванне близки по сути к явлениям, протекающим в МГД-генераторах, когда на движущийся в магнитном поле поток электропроводного материала (плазмы) также действует тормозящая сила. При воздействии знакопеременного ПРМП (в том числе и частотой 50 Гц) направление силы F при смене направления индукции B_z не меняется. Тормозящий эффект сохраняется и в этом случае, только тормозящая сила F будет пульсировать с удвоенной частотой ПРМП. Таким образом, при воздействии и постоянного, и знакопеременного ПРМП тормозящая сила F приводит к уменьшению скорости v придонного потока металла, увеличению толщины жидкой прослойки жидкого металла под дугой и, как следствие, уменьшению глубины и площади проплавления основного металла.

Действием указанного фактора торможения потоков жидкого металла можно также объяснить снижение глубины и площади проплавления основного металла при наплавке с воздействием ПРМП частотой 50 Гц, когда изделие и электрод не являются ферромагнетиками.

При увеличении индукции B_z ПРМП частотой 50 Гц очертания зоны проплавления соответствуют возрастающему давлению дуги в направлении радиуса (см. рис. 3), которое проявляется в снижении $H_{пр}$ в центре (по оси) валика и возрастании $H_{пр}$ в периферийной (по ширине валика) части. Вероятно, как это наблюдалось при наплавке вольфрамовым электродом в аргоне [3], и плотность теплового потока дуги вдоль радиуса при воздействии ПРМП имеет максимум не в центре активного пятна дуги на изделии, а изменяется так же, как и газодинамическое давление дуги.

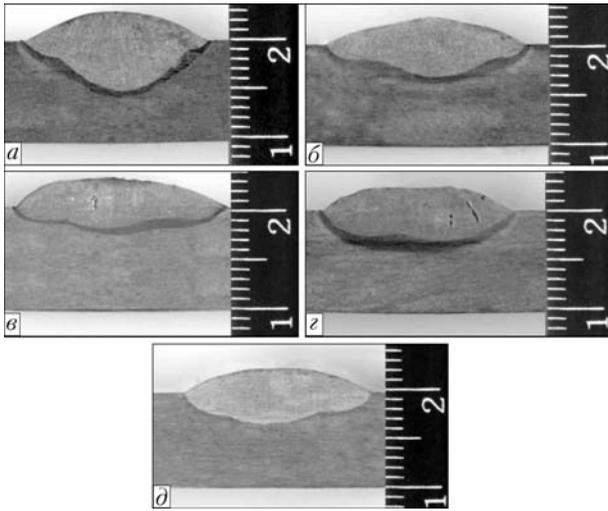


Рис. 6. Макрошлифы наплавки, выполненных при $v_{\text{под}} = \text{const}$: а — наплавка без ПРМП; б — ПРМП частотой 50 Гц, $B_z = 90$ мТл; в — то же, $B_z = 150$ мТл; г — постоянное ПРМП, $B_z = 110$ мТл; а-г — проволока Св-08ГА и пластина из стали 09Г2С ($I_{\text{н}} = 500 \dots 550$ А, $U_{\text{д}} = 30 \dots 32$ В); д — ПРМП частотой 50 Гц, $B_z = 70$ мТл, проволока и пластина из немагнитных материалов

Вероятно также, что аналогично и диаметр активного пятна дуги на изделии несколько возрастает при увеличении индукции B_z ПРМП. Сравнение очертаний зоны проплавления металла при наплавке без ПРМП (рис. 6, а) и с использованием ПРМП частотой 50 Гц и индукцией $B_z = 90$ мТл (рис. 6, б) показывает, что очертания этой зоны не изменяются, уменьшается лишь глубина проплавления и увеличивается ширина валика. При воздействии ПРМП с индукцией $B_z = 150$ мТл $H_{\text{пр}}$ уменьшается в центре валика и возрастает в периферийной части (по ширине) валика (рис. 6, в). Особенно это проявляется при использовании для наплавки постоянного ПРМП с индукцией порядка $B_z > 110$ мТл (рис. 6, г). Аналогично изменяется форма зоны проплавления и при наплавке постоянным ПРМП и частотой 50 Гц с использованием немагнитных электрода и изделия (рис. 6, д). Можно полагать, что определенный вклад в формирование такого очертания зоны проплавления вносят не только изменяющиеся по радиусу плотность потока в анодном пятне дуги на изделии и газодинамическое давление плазмы столба дуги, но и электродные капли. При воздействии как постоянного, так и переменного частотой 50 Гц ПРМП капли на торце электрода приобретают импульс силы и скорости, направленные по касательной к ок-

ружности и вниз, т. е. они движутся по конусной поверхности. Своим теплосодержанием и импульсом капли способствуют росту проплавления металла по краям валика. Однако основной вклад в общее снижение глубины $H_{\text{пр}}$ и площади проплавления $F_{\text{пр}}$ основного металла при воздействии ПРМП вносит тормозящее действие на скорость придонного потока металла в ванне из головной ее части в хвостовую осевая (продольная) составляющая индукции ПРМП. Тормозящее действие на скорость потоков металла в ванне пропорционально квадрату индукции B_z ПРМП и скорости этих потоков.

Выводы

1. При дуговой наплавке проволокой под флюсом глубина проплавления основного металла уменьшается, если значение продольной компоненты индукции постоянного и переменного частотой 50 Гц ПРМП превышает уровень порядка 50...60 мТл. Это наблюдается при использовании проволок и изделий как из ферромагнитных, так и немагнитных материалов.

2. Уменьшение эффективности проплавления основного металла при наплавке с воздействием постоянного и переменного частотой 50 Гц ПРМП определяется не только изменением распределения давления по радиусу дуги и радиуса дуги, а в основном торможением этим полем придонного потока жидкого металла из головной в хвостовую часть ванны.

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брисман и др. — Киев: Техніка, 1983. — 127 с.
2. Болдырев А. М., Биржев В. А., Черных А. В. Управление глубиной проплавления при дуговой сварке и наплавке с помощью продольного переменного магнитного поля // Свароч. пр-во. — 1993. — № 6. — С. 30–31.
3. Размышляев А. Д., Миронова М. В., Дели А. А. Влияние продольного магнитного поля на характеристики дуги при сварке неплавящимся электродом в аргоне // Автомат. сварка. — 2008. — № 3. — С. 21–25.
4. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики. — Киев: Наук. думка, 1989. — 864 с.
5. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1970. — 335 с.
6. Рабинович Е. З. Гидравлика. — М.: Недра, 1980. — 280 с.
7. О формировании сварного шва в продольном магнитном поле при аргонодуговой сварке / В. Н. Селяненок, В. А. Блинков, Ю. В. Казаков, В. Н. Баженов // Свароч. пр-во. — 1975. — № 11. — С. 5–7.
8. Поливанов К. М. Теоретические основы электротехники. — Ч. 1. — М.-Л.: Энергия, 1965. — 358 с.

It is shown that at surfacing in a constant longitudinal magnetic field (CLMF) with 50 Hz frequency the depth and area of base metal penetration decrease, if the magnitude of the longitudinal component of induction exceeds its level by 50...60 mT. At wire surfacing in CLMF a rarefaction forms on the arc axis. The constant and variable magnetic field of 50 Hz frequency has a braking action on the velocity of liquid metal flows in the pool, and this is one of the main factors leading to decrease of the penetration depth of the base metal in submerged-arc surfacing with wire.

Поступила в редакцию 06.02.2008



О ВЛИЯНИИ МАЛЫХ ПАРАМЕТРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Г. А. ЦЫБУЛЬКИН, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты аналитического и экспериментального исследования динамических процессов, протекающих в сварочной цепи, и уточнена область асимптотической устойчивости установившихся режимов дуговой сварки.

Ключевые слова: автоматическая дуговая сварка, инерционность дугового разряда, устойчивость, переходные процессы

Обеспечение устойчивости сварочного процесса по отношению к внешним воздействиям и параметрическим возмущениям является, как известно, одним из основных требований при разработке новых технологий дуговой сварки и соответствующего сварочного оборудования. Для проверки устойчивости установившихся режимов дуговой сварки обычно используется известный критерий [1–7], согласно которому эти режимы будут устойчивыми, если в рабочей точке выполняется определенное соотношение между наклонами вольт-амперных характеристик сварочной дуги и источника тока, питающего дугу.

Этот критерий был установлен в свое время в работе [3] при рассмотрении упрощенной математической модели процессов, протекающих в сварочной цепи. Однако в такой модели не учитывались так называемые малые параметры, в частности, индуктивность в цепи сварочного тока и постоянная времени дуги, характеризующая ее инерционные свойства. Ясно, что учет малых параметров в математической модели приводит к повышению порядка ее дифференциальных уравнений, но тогда возникает вопрос: насколько обосновано использование выше указанного критерия для проверки устойчивости сварочного процесса. В связи с этим появляется потребность в исследовании уточненной математической модели и выяснении дискуссионного вопроса: следует ли учитывать влияние малых параметров на устойчивость процесса дуговой сварки или этим влиянием можно пренебречь. В данной работе излагаются результаты исследований, направленных как раз на выяснение поставленных вопросов.

Математическая модель. Рассмотрим систему уравнений, описывающих, согласно [1, 4, 5, 8–13], процессы в сварочной цепи при автоматической дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитного газа:

$$\frac{d\lambda}{dt} = M(\varepsilon + i_0) - v_e, \tag{1}$$

$$L \frac{d\varepsilon}{dt} + (R - S_s)(\varepsilon + i_0) = u_* - u_a, \tag{2}$$

$$u_a = u_0 + E(\lambda + l_0) + S_a(\varepsilon + i_0), \tag{3}$$

где $\lambda = l - l_0$, $\varepsilon = i - i_0$ — отклонения текущих значений соответственно длины дуги $l = l(t)$ и сварочного тока $i = i(t)$ от значений l_0 и i_0 в установившемся режиме; $M \equiv \partial v_m / \partial i$ — крутизна характеристики плавления электрода в точке $i = i_0$; v_m — скорость плавления электрода; v_e — скорость подачи электрода относительно сопла горелки; L — индуктивность источника сварочного тока; R — суммарное сопротивление подводящих проводов, вылета электрода и скользящего контакта в мундштуке горелки; $S_s = \partial u_s / \partial i$, $S_a = \partial u_a / \partial i$ — тангенсы углов наклона вольт-амперных характеристик соответственно источника сварочного тока и дуги в рабочей точке $i = i_0$; $E \equiv \partial u_a / \partial l$ — напряженность электрического поля в столбе дуги; u_s — напряжение на выходных клеммах источника сварочного тока; u_* — напряжение холостого хода; u_a — напряжение на дуге; u_0 — сумма приэлектродных падений напряжений; t — текущее время.

Система уравнений (1)–(3) представляет собой несколько уточненную математическую модель, в которой принята во внимание индуктивность источника сварочного тока, но по-прежнему не учитываются динамические свойства самой дуги. Дальнейшим уточнением этой математической модели может быть замена алгебраического уравнения (3) на дифференциальное

$$\tau \frac{du_a}{dt} + u_a = u_0 + E(\lambda + l_0) + S_a(\varepsilon + i_0), \tag{4}$$

где $\tau > 0$ — параметр, характеризующий инерционность дугового разряда.

Заметим, что используемая в (3) и (4) аппроксимация реальной зависимости $u_a = u_a(i, l)$, имеющей на самом деле распределенный характер [14], в данной задаче вполне допустима, поскольку здесь нас не интересуют так называемые мик-



ропроцессы в самой дуге, а она рассматривается с микроскопической точки зрения как элемент цепи сварочного тока, отличающийся некоторыми обобщенными инерционными свойствами.

Решив систему уравнений (1), (2) и (4) относительно переменной $\lambda(t)$ при $v_e = \text{const}$, в результате получим одно дифференциальное уравнение

$$\tau T_e T \frac{d^3 \lambda}{dt^3} + T(\tau + T_e) \frac{d^2 \lambda}{dt^2} + T_s \frac{d\lambda}{dt} + \lambda = 0, \quad (5)$$

где T_e, T, T_s — постоянные времена, определяемые соотношениями:

$$T_e = \frac{L}{R_*}, \quad T = \frac{R_*}{EM}, \quad T_s = \frac{R_{**}}{EM}, \quad (6)$$

$$R_* = R - S_s, \quad R_{**} = S_a - S_s + R. \quad (7)$$

Уравнение (5), как и уравнения (1)–(3), составлены в предположении, что сварка ведется длинной дугой, расстояние между торцом токоподводящего мундштука и свободной поверхностью сварочной ванны не изменяется и непрерывно выполняется условие $0 < l(t) < l_k$, где l_k — критическое значение длины дуги $l(t)$, при котором происходит ее обрыв. При $l(t) \geq l_k$ и $l(t) = 0$ указанные уравнения не имеют смысла, поскольку описывают процессы в сварочной цепи лишь при горении дуги.

Отсюда возникает довольно жесткое ограничение на абсолютную величину отклонения $\lambda(t)$, связанное исключительно со спецификой дуговой сварки:

$$|\lambda(t)| < \delta, \quad \delta = \min \{l_0, (l_k - l_0)\}. \quad (8)$$

Правое соотношение (8) геометрически задает полосу шириной 2δ , за пределы которой не должна выходить переменная $\lambda(t)$.

Анализ устойчивости. Из теории устойчивости известно [15–20], что переходный процесс $\lambda(t)$ при выполнении условия (8) непременно будет затухать ($\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = 0$), если коэффициенты уравнения (5) положительны, т. е.

$$\tau > 0, T > 0, T_e > 0, T_s > 0, \quad (9)$$

и выполняется неравенство

$$T_s(\tau + T_e) > \tau T_e. \quad (10)$$

Поскольку $L > 0, E > 0$ и $M > 0$, то, согласно (6) и (7), три последних неравенства (9) будут иметь место, если $R_{**} > 0$, т. е. если в силу (7) выполняется следующее условие:

$$S_a - S_s + R > 0. \quad (11)$$

Соотношение (11) представим в безразмерном виде

$$\mu + 1 > 0, \quad (12)$$

где μ — параметр, определяемый по формуле

$$\mu = \frac{S_a - S_s}{R}.$$

Неравенства (11) или (12) при выполнении условия (8) являются по сути критерием так называемой условной асимптотической устойчивости процесса дуговой сварки [19], описываемого упрощенной моделью (1)–(3).

Рассмотрим теперь неравенство (10), обусловленное учетом в математической модели инерционности дугового разряда. Непосредственная проверка этого неравенства затруднена тем, что о реальных числовых значениях постоянной времени τ , входящей в выражение (10), как правило, отсутствуют достоверные сведения. Попробуем избежать этого следующим образом. Запишем неравенство (10) в виде

$$T_s > \frac{\tau T_e}{\tau + T_e} \quad (13)$$

и рассмотрим его правую часть. Поскольку $\tau > 0$ и $T_e > 0$, то очевидно, что

$$\frac{\tau T_e}{\tau + T_e} < T_e,$$

независимо от τ . Следовательно, условие (13), а значит и (10), будут заведомо выполняться, если

$$T_s > T_e. \quad (14)$$

Таким образом, неравенство (14) является достаточным условием асимптотической устойчивости динамических процессов, протекающих в сварочной цепи.

Запишем соотношение (14) с учетом (6), (7) в развернутом виде

$$R_* R_{**} > LEM. \quad (15)$$

Для удобства сравнения сделаем замену $R_* R_{**}$ в левой части неравенства (15) на $R_{**}^2 \approx R_* R_{**}$. Используя безразмерные величины

$$\mu = \frac{S_a - S_s}{R}, \quad \theta = \frac{\sqrt{LME}}{R}, \quad (16)$$

получаем критерий устойчивости (14) в виде

$$\mu + 1 > \theta. \quad (17)$$

Сравнив между собой формулы (12) и (17), нетрудно заметить, что они отличаются правыми



частями. Очевидно, что критерий (17) имеет существенное преимущество, поскольку позволяет более точно определить область асимптотической устойчивости, чем критерий (12). Область устойчивости, согласно (17), (16), зависит не только от наклона вольт-амперных характеристик дуги и источника сварочного тока в рабочей точке, но и от индуктивности L источника сварочного тока, крутизны характеристики плавления электрода M , напряженности электрического поля в столбе дуги E и суммарного сопротивления R подводющих проводов, вылета электрода и скользящего контакта в мундштуке горелки. Следует отметить, что критерий (17) имеет тот же вид, что и критерий, полученный нами ранее на основе неравенств Сильвестра для нестационарного случая при изучении влияния флуктуаций электрического поля в столбе дуги на устойчивость процесса дуговой сварки [21].

На рис. 1 показаны области асимптотической устойчивости, построенные на основании критериев (12) и (17) в пространстве двух параметров μ и θ . Границами устойчивости на рис. 1, а (упрощенная модель) являются линии $\theta = 0$ и $\mu = -1$. На рис. 1, б (модель с учетом малых параметров) границы устойчивости лежат на линиях $\theta = 0$ и $\mu = \theta - 1$. Как видим, в уточненной математической модели (рис. 1, б) с увеличением параметра θ область устойчивости сужается.

Из второго соотношения (16) следует, что значения θ возрастают при увеличении индуктивности L . Это означает, что при существенном увеличении L область устойчивости (рис. 1, б) может заметно сузиться. На этот факт обращалось внимание еще в работе [1], где, в частности, указывалось, что, кроме известного условия устойчивости $\mu > 0$, должно быть еще определено условие, ограничивающее индуктивность L . Теперь это условие вытекает непосредственно из выражений (17) и (16):

$$L < \frac{(S_a - S_s + R)^2}{ME}. \tag{18}$$

Впрочем, может оказаться, что значения индуктивности источника сварочного тока L выбираются исходя, например, из технологических или других соображений. В таком случае для обеспечения надежной стабильности установившихся режимов остается единственный управляемый параметр — тангенс угла наклона статической вольт-амперной характеристики источника сварочного тока S_s , при выборе которого желательно учитывать ограничение (18).

Итак, выполнение условия (17) и (8) обеспечивает затухание переходных процессов, протекающих в сварочной цепи. Однако может возникнуть вопрос: влияют ли параметры t и L на качество переходного процесса и в какой мере. Для выяснения этого на ЭВМ проводилось моделирование динамики, описываемой уравнениями (1), (2), (4). При этом использовались следующие значения параметров контура и режима сварки: $L = 7 \cdot 10^{-4}$ Гн, $M = 0,38$ мм/(с·А), $E = 2$ В/мм, $R = 0,015$ Ом, $S_s = -0,02$ В/А, $S_a = 0,005$ В/А, $i_0 = 132$ А, $v_e = 50$ мм/с, $H = 17$ мм, где H — расстояние между торцом токоподводящего мундштука и свободной поверхностью сварочной ванны.

В качестве возмущающего воздействия рассматривалось скачкообразное изменение напряжения u_s на выходных клеммах источника сварочного тока:

$$u_s(t) = \begin{cases} 21 \text{ В при } 1,5 \leq t < 2,3 \text{ с,} \\ 25 \text{ В при } 2,3 \leq t \leq 2,8 \text{ с,} \\ 21 \text{ В при } t > 2,3 \text{ с.} \end{cases} \tag{19}$$

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 2. На рис. 2, а изображено фактически два графика $\lambda(t)$, полученных при различных значениях параметра τ : $\tau_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ с и $\tau_2 = 1 \cdot 10^{-5}$ с. Но эти два графика практически совпадают, хотя постоянные времена τ_1 и τ_2 отличаются друг от друга на два порядка. Отсюда можно сделать вывод, что параметр τ не оказывает ощутимого влияния на переходные процессы в сварочной цепи.

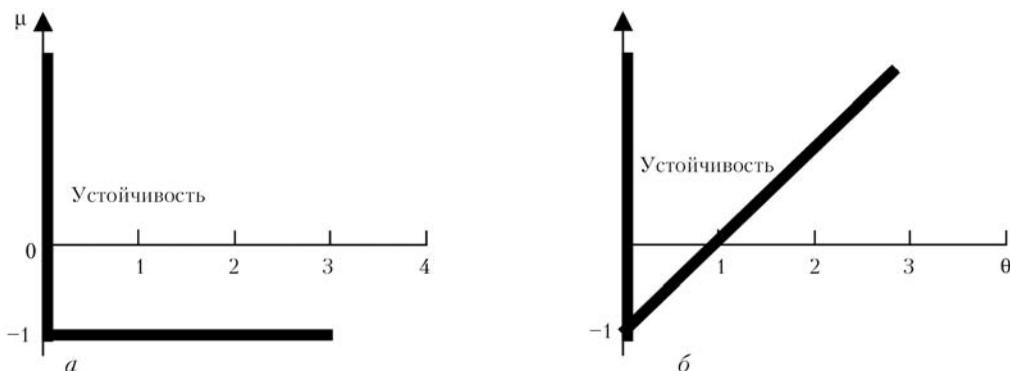


Рис. 1. Область асимптотической устойчивости без учета (а) и с учетом (б) малых параметров

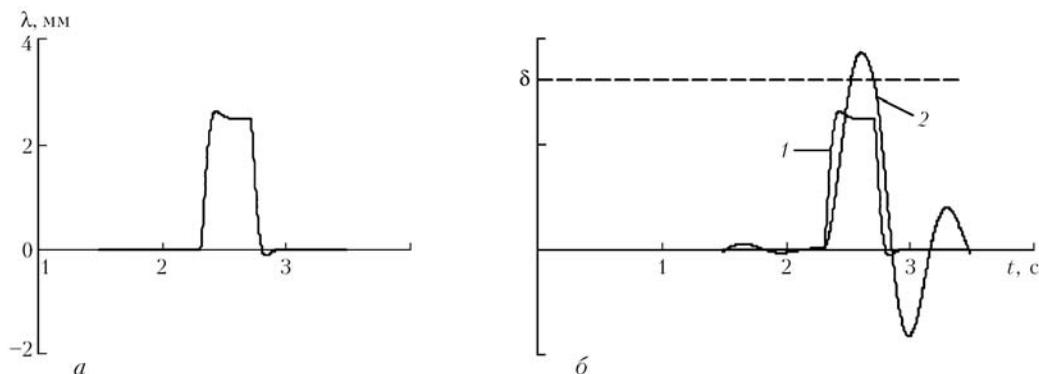


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования переходных процессов в сварочной цепи: а, б — см. в тексте

На рис. 2, б представлены графики $\lambda(t)$, полученные при $\tau = 1 \cdot 10^{-3}$ с и двух различных значениях индуктивности. Кривые 1 и 2 характеризуют реакцию длины дуги на возмущение (19) соответственно при $L_1 = 7 \cdot 10^{-5}$ Гн и $L_2 = 7 \cdot 10^{-3}$ Гн. Сравним кривую 1 на рис. 2, б с кривой на рис. 2, а. Эти кривые не отличаются друг от друга, хотя $L_1 = 7 \cdot 10^{-5}$ Гн на порядок меньше $L = 7 \cdot 10^{-4}$ Гн. Следовательно, малые значения индуктивности заметного влияния на переходный процесс $\lambda(t)$ не оказывают. Сравнение кривых 1 и 2 на рис. 2, б показывает, что значительное увеличение индуктивности ($L_2 = 7 \cdot 10^{-3}$ Гн на порядок больше L) приводит к существенному изменению характера кривой $\lambda(t)$.

Здесь следует обратить внимание на одно обстоятельство. Как видно из рис. 2, б, рост индуктивности приводит к увеличению не только времени переходного процесса, но и абсолютного значения отклонения длины дуги $|\lambda(t)|$ от установившегося ее значения l_0 . Очевидно, что при некотором значении L может произойти нарушение условия (8) — $|\lambda(t)| < \delta$ (рис. 2, б). В результате при автоматической дуговой сварке могут возникнуть неустойчивые режимы с квазипериодическими обрывами дуги или нежелательными короткими замыканиями (в зависимости от того, как расположена полоска $\delta = \min\{l_0, (l_k - l_0)\}$ относительно l_k).

Выводы

1. Результаты анализа и численного моделирования уточненной математической модели свидетельствуют о том, что инерционность дугового разряда практически не оказывает заметного влияния ни на устойчивость процессов, протекающих в цепи сварочного тока, ни на качество переходных процессов и в большинстве случаев ее можно не учитывать.

2. Для оценки области устойчивости целесообразно использовать критерий (17), устанавливающий ее зависимость не только от наклона вольт-амперных характеристик дуги и источника

сварочного тока в рабочей точке, но и от других параметров сварочной цепи.

3. Неустойчивые режимы автоматической дуговой сварки плавящимся электродом, обусловленные квазипериодическими обрывами дуги или нежелательными короткими замыканиями дугового промежутка, могут возникнуть и при выполнении условий устойчивости, если при этом произойдет нарушение условия (8), вызванное, в частности, чрезмерно большой индуктивностью источника сварочного тока.

1. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 359 с.
2. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1970. — 335 с.
3. Никитин В. П. Электрические машины и трансформаторы для дуговой сварки. — М.-Л.: Энергоиздат, 1934. — 260 с.
4. Львов Н. С., Гладков Э. А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. — М.: Машиностроение, 1982. — 302 с.
5. Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. — Киев: Вища шк., 1986. — 296 с.
6. Технология и оборудование сварки плавлением / Под общ. ред. Г. Д. Никифорова. — М.: Машиностроение, 1986. — 320 с.
7. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров. — М.: Машиностроение, 1989. — 264 с.
8. Цыбулькин Г. А. К вопросу об устойчивости процесса дуговой сварки плавящимся электродом // Автомат. сварка. — 2002. — № 5. — С. 17–19.
9. Цыбулькин Г. А. Компенсация воздействия внешних возмущений на режим дуговой сварки плавящимся электродом // Там же. — 2007. — № 4. — С. 7–10.
10. Судник В. А., Ерофеев В. А. Исследование устойчивости процесса дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа // Изв. Тул. гос. ун-та. Сер. Компьютерные технологии в соединении материалов / Под ред. В. А. Судника. — Тула, 1999. — С. 110–120.
11. Fujimura H., Ide E., Inoue H. Joint tracking control sensor of GMAW // Trans. Jap. Welding Soc. — 1987. — 38, № 1, Apr. — P. 32–40.
12. Inoue K., Zhang J., Rang M. Analysis of detection sensitivity of arc sensor in welding process // Trans. of JWRI. — 1991. — 20, № 2. — P. 53–56.
13. Ushio V., Mao W. Dynamic characteristics of arc sensor in GMA welding in dip transfer mode // Quart. J. of the Japan Welding Soc. — 1997. — 15, № 2, May. — P. 272–280.
14. Девятков Б. Н., Жуков М. В., Хайтман С. М. Постоянная времени дуги, инерционность процесса и линейная мо-



- дель динамики плазмы // Изв. Сибир. отд. АН СССР. Сер. техн. наук. — 1980. — Вып. 1, № 3. — С. 57–70.
15. *Фурасов В. Д.* Устойчивость движения, оценки и стабилизация. — М.: Наука, 1977. — 248 с.
 16. *Воронов А. А.* Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. — М.: Наука, 1979. — 336 с.
 17. *Кастри Дж.* Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. — М.: Мир, 1982. — 216 с.
 18. *Барбаашич Е. А.* Введение в теорию устойчивости. — М.: Наука, 1967. — 223 с.
 19. *Мартынчук А. А.* Практическая устойчивость движения. — Киев: Наук. думка, 1983. — 248 с.
 20. *Постников М. М.* Устойчивые многочлены. — М.: Наука, 1981. — 176 с.
 21. *Цыбульский Г. А.* О влиянии флуктуаций электрического поля в столбе дуги на устойчивость процесса дуговой сварки // Автомат. сварка. — 2002. — № 6. — С. 44–45.

The paper gives the results of analytical and experimental investigation of dynamic processes running in the welding circuit, and more precisely defines the areas of asymptotical stability of steady-state arc welding modes.

Поступила в редакцию 09.06.2008



WIN 2009 —

МИР ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫСТАВОК

05–08 февраля 2009

г. Стамбул

объединяет 4 международные торговые ярмарки:

МАШИНЫ — 14-я выставка «Запчасти. Детали. Машины. Обработка металлов»

СВАРКА — 9-я выставка «Сборочные, сварочные и режущие технологии»

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ — 3-я выставка «Технологии обработки поверхностей»

ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ — 3-я выставка «Оборудование для погрузочно-разгрузочных и логистических операций»

Контактная информация:

Г-жа Озлен Ерджан
Тел.: +90212 334-69-00
Факс: +90212 334-69-34
ozlen.ercon@hf-turkey.com
www.win-fair.com

Г-н Хакан Джулфа
Тел.: +90212 324-44-43,
доп. 126
Прямой тел.: +90212 284-26-52
Факс: +90212 324-32-12
hculfa@bilesim.com.tr
www.win-fair.com



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНО-МИКРОПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ*

В. В. КИРИЧЕНКО, канд. техн. наук, **Н. А. ГРЯЗНОВ**, канд. физ.-мат. наук
(ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, С.-Петербург, РФ),
чл.-кор. НАН Украины **И. В. КРИВЦУН** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Создан экспериментальный комплекс для изучения процессов импульсной гибридной (лазерно-микроплазменной) сварки и обработки материалов с использованием излучения импульсно-периодического Nd:YAG-лазера с широким диапазоном регулирования параметров импульса и импульсной малоамперной дуги, объединяемых при помощи интегрированного плазмотрона. Предложенные алгоритмы пространственной и временной синхронизации двух импульсных источников энергии для комбинированного воздействия на материалы дают возможность исследовать процессы лазерно-микроплазменной сварки стали для автомобилестроения, обработки алюминиевых сплавов и спекания наноматериалов.

Ключевые слова: гибридная сварка, микроплазменная дуга, лазерное излучение, импульс, экспериментальный комплекс, ток дуги, форма проплавления

Производственные возможности современной промышленности в значительной степени зависят от развития технологий обработки материалов. Трудно переоценить важность создания и развития процессов сварки, резки и различных способов поверхностной обработки, основанных на применении дугового разряда как самого дешевого и доступного источника тепловой энергии. В настоящее время совершенствование дуговых и плазменных технологий требует высокой концентрации энергии в электродуговой плазме и стабилизации разряда при одновременном увеличении производительности технологического процесса. Альтернативный путь, широко применяемый в промышленности, основан на использовании лазерного излучения как единственного теплового источника, так и совместно с другими традиционными источниками термического воздействия, включая дуговой разряд, ВЧ электромагнитные поля или световое излучение. Благодаря высокой концентрации энергии в фокусе пучка и хорошей управляемости лазер способен обеспечить глубокое проплавление металла, точность и стабильность при формировании сварного шва или реза.

Несмотря на очевидные преимущества, возможности лазера как теплового источника для некоторых областей применения значительно ограничены. Прежде всего это происходит из-за низ-

кой эффективности нагрева металлов лазерным излучением, связанной с высокой отражательной способностью металлической поверхности при длинах волн, типичных для большинства технологических лазеров. Другой фактор, снижающий эффективность применения лазеров, связан с появлением плазмы лазерного факела над рабочей поверхностью, которая поглощает излучение и тем самым уменьшает энергию, вкладываемую в зону обработки.

Один из подходов к решению упомянутых проблем базируется на использовании гибридных лазерно-дуговых и лазерно-плазменных процессов, сущность которых состоит в совместном воздействии на обрабатываемый объект лазерным излучением и электрической, в том числе сжатой (плазменной) дугой [1–5]. При практической реализации таких процессов оба тепловых источника действуют на металлическую поверхность в общей зоне обработки. Нагрев металла электрической дугой приводит к повышению его температуры и в результате к увеличению доли поглощаемой энергии лазерного излучения. В свою очередь, компактное фокальное пятно лазерного пучка создает над металлической поверхностью ограниченную зону с увеличенной концентрацией свободных электронов, которая приводит к повышению плотности тока в дуговом разряде и локализации его энерговклада. Другими словами, применение двух источников различной физической природы способно привести к возникновению положительного синергетического эффекта, который проявляется в повышении эффективности теплового воздействия как лазерного излучения, так и дуговой плазмы [6, 7].

* По материалам международной конференции «Laser technologies in welding and materials processing», 29 May–1 June, 2007, vil. Katsiveli, Crimea, Ukraine.

С целью изучения процессов импульсной лазерно-микроплазменной обработки материалов ЦНИИ робототехники и технической кибернетики совместно с ИЭС им. Е. О. Патона был разработан и изготовлен экспериментальный комплекс, включающий импульсно-периодический Nd:YAG-лазер с управляемой формой импульса, источник питания импульсной микроплазменной дуги и специальный плазмотрон прямого действия, который обеспечивает коаксиальное совмещение лазерного пучка и дуги. Комплекс был создан для решения следующих задач:

- оценки потенциального синергетического эффекта двух источников импульсного теплового воздействия на металлы при изменении времени задержки между импульсами лазерного излучения и тока дуги;
- предварительных исследований влияния пространственных и временных параметров лазерного излучения, а также точности совмещения зон воздействия на эффективность обработки;
- выработки технических требований к импульсному гибриднему тепловому источнику;
- разработки функциональной схемы и структуры оборудования для импульсной лазерно-микроплазменной сварки и обработки материалов;
- прикладных технологических исследований гибридной сварки для уточнения функциональной структуры и параметров комплекса оборудования;
- формирования технических требований к подсистемам комплекса;
- исследования технологических возможностей оборудования для импульсной гибридной сварки и обработки материалов;
- практического применения импульсных гибридных процессов и разработанного оборудования.

Априори целесообразность работ вызвана тем, что совместное воздействие на металлы двух различных импульсных источников тепла малой и средней мощности может привести к увеличению эффективности использования энергии как лазерного, так и дугового источников; максимальная глубина проплавления, определяющая толщину свариваемого металла при гибридной сварке, может быть более чем в полтора раза выше по сравнению с микроплазменной сваркой при практически удвоенной производительности процесса.

Создание маломощного технологического оборудования для импульсной лазерно-микроплазменной обработки материалов обеспечивает широкие возможности варьирования параметров процесса для формирования заданных свойств сварных соединений.

Технические параметры и схема экспериментального комплекса. В качестве лазерной составляющей комплекса оборудования для импульсной гибридной сварки и обработки матери-

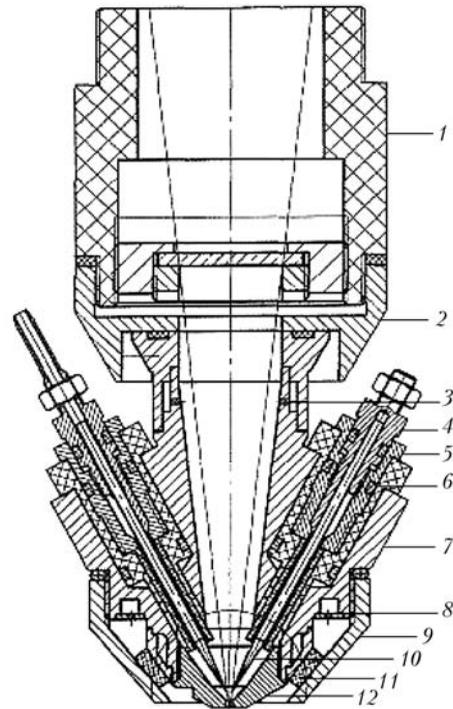


Рис. 1. Схема интегрированного плазмотрона: 1 — фокусирующая система; 2 — стыковочно-юстировочный узел; 3 — отверстия для ввода плазмообразующего газа; 4 — цапга; 5 — корпус катодного узла; 6 — изолятор; 7 — корпус плазмотрона; 8 — рассекатель газа; 9 — сопло для подачи защитного газа; 10 — термокатод; 11 — пористая набивка; 12 — плазмоформирующее сопло

алов была выбрана технологическая лазерная установка, предназначенная для резки металлов и глубокой гравировки. Основные параметры лазерного излучателя следующие: тип лазера Nd:YAG; импульсный режим работы; программируемая форма импульса; рабочая частота ≤ 100 Гц; средняя мощность 120 Вт; энергия в импульсе (при средней мощности 120 Вт) — до 3 Дж.

В качестве устройства, обеспечивающего совмещение сфокусированного лазерного пучка и малоамперной сжатой дуги, использовали интегрированный плазмотрон прямого действия, разработанный в ИЭС им. Е.О. Патона [8]. Схема плазмотрона приведена на рис. 1. Данный плазмотрон

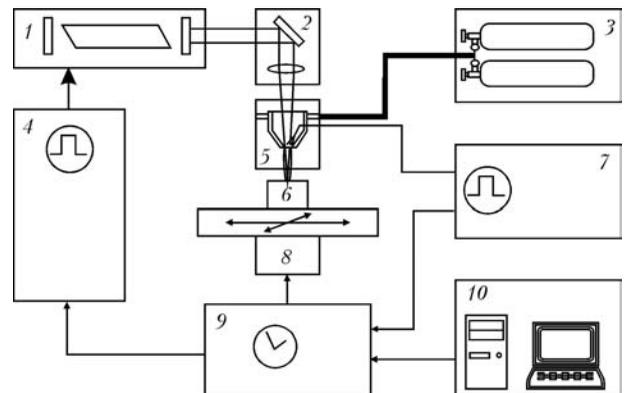


Рис. 2. Функциональная схема экспериментального комплекса (обозначения см. в тексте)



вместе с источником питания установки МПУ-4, который был модифицирован для работы в составе комплекса, обеспечивает несколько режимов горения микроплазменной дуги, включая непрерывный и импульсно-периодический с прямой и обратной полярностью импульсов тока при средней мощности дуги до 600 Вт. Сменное плазмформирующее сопло 12 из меди с каналом диаметром 1 или 1,5 мм предназначено для ограничения поперечных размеров и пространственной стабилизации столба дуги.

На рис. 2 представлена функциональная схема экспериментального комплекса. Лазерная составляющая комплекса состоит из генератора лазерного излучения 1, системы транспортировки и фокусировки излучения 2 и блока управления излучением лазера 4. Дуговая составляющая комплекса состоит из интегрированного плазмотрона 5, источника питания микроплазменной дуги 7 и системы подачи газа 3. Интегрированный плаз-

мотрон установлен на системе фокусировки лазерного излучения, что обеспечивает соосность лазерного пучка и дуги. Система управления 10 и система синхронизации импульсов 9 обеспечивают синхронизацию лазерного импульса с импульсом тока дуги и движение двухкоординатного стола 8 для реализации процесса гибридной обработки образца 6. Внешний вид экспериментального комплекса представлен на рис. 3, а различные режимы его работы — на рис. 4.

Рис. 5 иллюстрирует лицевую поверхность наплавочных швов, полученных на образцах из нержавеющей стали при дуговом и гибридном лазерно-дуговом воздействии. Параметры режимов горения микроплазменной дуги прямой полярности, соответствующие этим фотографиям, приведены в табл. 1. Движение стола осуществлялось справа налево, и, как видно из рис. 5, дополнительное использование импульсов лазерного излучения приводит к контрагированию анодного пятна дуги и заметному уменьшению ширины шва.

Результаты предварительных экспериментальных исследований показали заметное улучшение

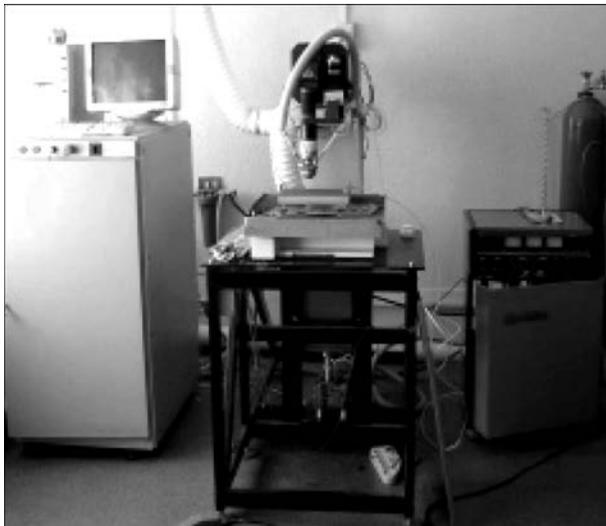


Рис. 3. Внешний вид экспериментального комплекса для исследования импульсных гибридных процессов

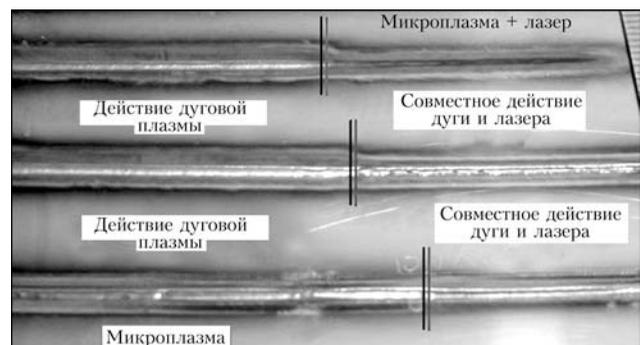


Рис. 5. Наплавочные швы при микроплазменной и гибридной лазерно-микроплазменной сварке нержавеющей стали толщиной 1 мм (средняя мощность лазерного излучения 35...40 Вт)

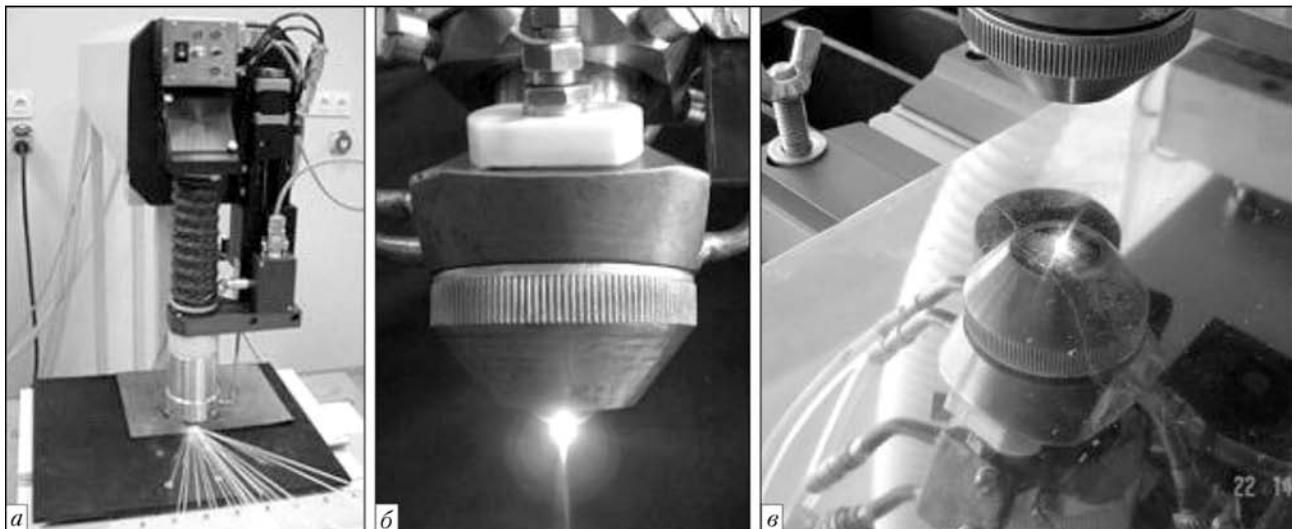


Рис. 4. Экспериментальный комплекс в работе

Таблица 1. Параметры режима горения микроплазменной дуги для швов, представленных на рис. 5

Способ сварки	Ток дуги, А	Длительность импульса, мс	Длительность паузы, мс	Частота повторения, Гц	Скорость сварки, м/мин
Импульсный	18	10	7	60	0,18
					0,12
Непрерывный	16	—	—	—	0,3

Таблица 2. Параметры режимов работы лазерного излучателя (частота 70 Гц, длительность импульса 1 мс) в экспериментах, результаты которых представлены на рис. 8

№ образца	Ток, А	Средняя мощность, Вт	Мощность импульса, Вт	Интенсивность, 10^{-6} Вт/см ²
1	100	61	870	5,0
2	150	72	1000	5,8
3	200	80	1150	6,5
4	250	87	1250	7,0

качества гибридной сварки (уменьшение ширины шва и увеличение глубины проплавления) по сравнению с микроплазменной, даже когда часть мощности, вносимой лазерным излучением, составляет лишь 10...15 % суммарной мощности используемых источников.

Чтобы проанализировать механизм этого явления, выполнили ряд экспериментов. Прежде всего электрические измерения показали некоторое уменьшение напряжения на дуге при включении лазерного излучения (рис. 6). Это можно рассматривать как косвенное качественное доказательство увеличения эффективности разряда при одновременном использовании обоих источников. Подобный эффект теоретически описан в работе [9].

Измерение сопротивления разрядного промежутка под воздействием импульса лазерного излучения было произведено с низким (5 В) на-

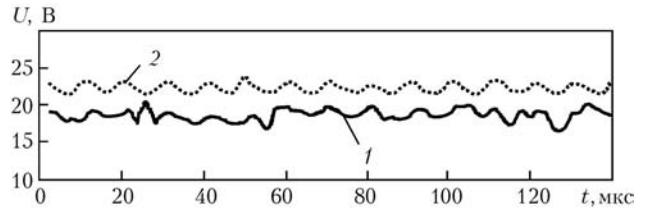


Рис. 6. Напряжение на дуге при микроплазменной (штриховая) и лазерно-микроплазменной (сплошная кривая) сварке

пряжением источника питания и ограничивающим шунтом 1000 Ом для предотвращения инициирования дугового разряда (рис. 7). Необходимо отметить, что сопротивление промежутка во время лазерного импульса еще ниже, чем сопротивление шунта (напряжение на промежутке ниже 2 В), т. е. электронная концентрация в лазерном факеле выше, чем в дуговом разряде.

Эффекты взаимодействия лазерного излучения и микроплазменной дуги прямой полярности при сварке алюминия еще более примечательны, поскольку имеющаяся на поверхности металла оксидная пленка ухудшает стабилизацию анодного пятна дуги. Лазерная энергия в данном случае может использоваться для удаления этой пленки в зоне фокального пятна. На рис. 8 представлены результаты экспериментов для алюминиевых образцов при воздействии импульсной микроплазменной дуги и при гибридном лазерно-дуговом воздействии. Параметры лазерного импульса в рассматриваемых экспериментах приведены в табл. 2.

Варьирование лазерной мощности позволяет экспериментально определить пороговую интенсивность лазерного излучения, требуемую для удаления оксидной пленки. При превышении этого значения исчезают флуктуации положения анодного пятна, типичные для дуги прямой полярности, и происходит его привязка к фокальному пятну, что отчетливо видно на рис. 8, з. Предыдущее изображение (рис. 8, в) соответствует пороговому значению интенсивности лазерного излучения и дает в соответствии с табл. 2 экс-

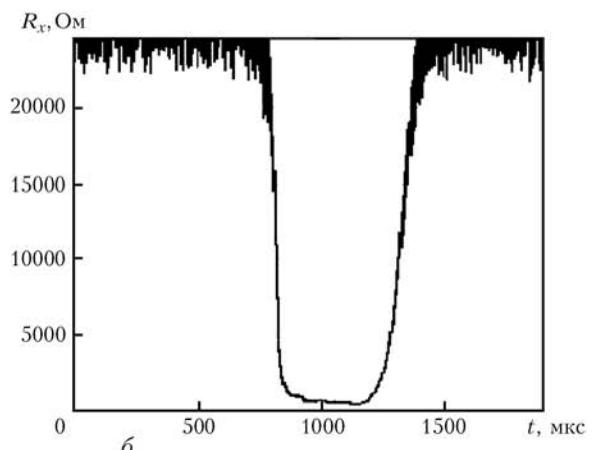
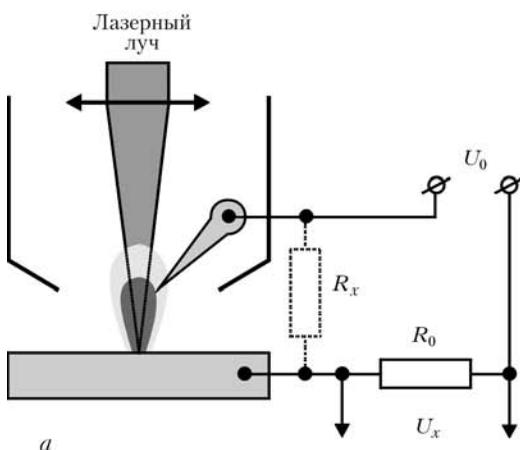


Рис. 7. Схема (а) и результат (б) измерения сопротивления разрядного промежутка в присутствии лазерной плазмы

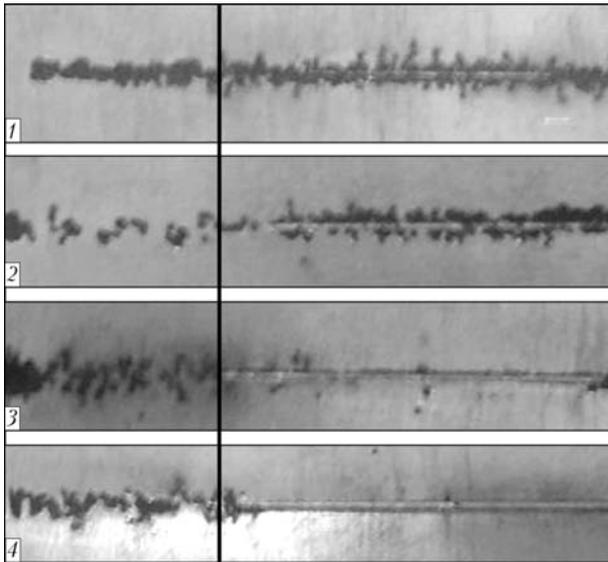


Рис. 8. Результаты воздействия на поверхность алюминия микроплазменной дугой постоянного тока прямой полярности (слева) и лазерно-микроплазменного воздействия (справа) (1–4 см. в табл. 2)

периментальное значение интенсивности, необходимое для удаления поверхностной пленки, равное $6,5 \cdot 10^6$ Вт/см². Анализ механизма разрушения пленки показал, что возможны два варианта: первый связан непосредственно с поглощением в пленке и ее дальнейшим испарением, в то время как второй обусловлен поглощением в металле (рис. 9). Чтобы оценить температуру алюминиевой поверхности, необходимо решить задачу теплопроводности. В нашем случае можно пренебречь теплопроводностью в боковых направлениях, таким образом, температура поверхности при прямоугольной форме лазерного импульса может быть определена по следующей формуле [10]:

$$T = \eta I \frac{\sqrt{\chi t / \pi}}{\lambda}, \quad (1)$$

где η — коэффициент поглощения лазерного излучения поверхностью алюминия; I — плотность мощности лазерного излучения; χ — температу-

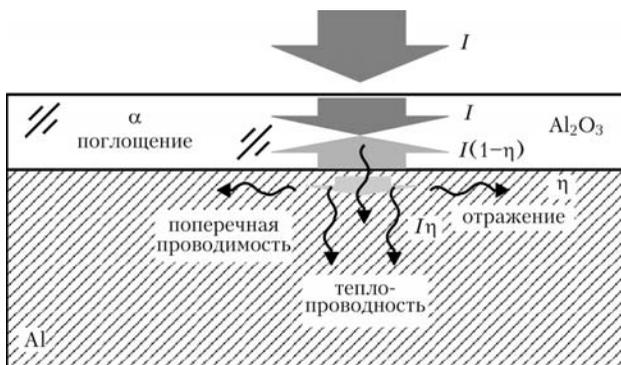


Рис. 9. Схема процессов поглощения излучения, отражения и теплопередачи при удалении оксидной пленки с алюминиевой поверхности

ропроводность; t — время действия (длительность импульса); λ — теплопроводность алюминия.

Исходя из гипотезы, что вся энергия расходуется на нагрев металла до температуры испарения, можно получить выражение для необходимой лазерной интенсивности. В этом случае получается оценка снизу, поскольку не учитываются потери энергии на плавление, частичное испарение, необходимое для разрыва оксидной пленки и слабого поперечного теплоотвода. Значение лазерной интенсивности, вычисленное по формуле (1), оказалось равным $4,5 \cdot 10^6$ Вт/см², что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Оценка второго возможного механизма, связанного с поглощением излучения в оксидной пленке, может быть проведена по выражению, которое учитывает двойной проход излучения через пленку из-за отражения от алюминиевой поверхности:

$$I = \frac{c\rho T}{\alpha t(2 - \eta)}, \quad (2)$$

где c — теплоемкость; ρ — плотность; α — коэффициент объемного поглощения пленки.

Полученное значение $2,5 \cdot 10^6$ Вт/см² оказалось существенно ниже экспериментально наблюдаемого порога. Этот факт может быть объяснен эффективной теплопередачей от пленки к алюминиевому основанию из-за малой толщины пленки, которая гарантирует достаточно высокую теплопроводность в миллисекундном диапазоне.

Импульсный режим работы обоих источников тепла дает возможность проводить эксперименты по количественному исследованию потенциального синергетического эффекта. Чтобы исключить взаимное влияние лазерного излучения и плазмы дуги, можно использовать временные задержки между их импульсами так, чтобы исследуемый источник начинал действовать на металлическую поверхность только после завершения действия другого. В этом случае оценка вложенной мощности и значение теплового эффекта должны быть основаны на достаточно прецизионной методике, и ее разработка является одной из перспективных научных проблем.

Разработанный экспериментальный комплекс для исследования процессов гибридной лазерно-микроплазменной сварки и обработки материалов имеет следующие характеристики:

- лазерный источник формирует импульс с управляемой формой, пиковой мощностью до 4 кВт и интенсивностью до 10^7 Вт/см² в зоне обработки;
- дуговой источник имеет четыре режима, включая импульсы переменной полярности, с частотой повторения до 70 Гц и амплитудой тока до 30 А;

– система синхронизации дает возможность изменения задержки между импульсом лазерного излучения и импульсом тока дуги;

– коаксиальная схема подачи лазерного излучения в плазмообразующее сопло приводит к максимальной эффективности воздействия на обрабатываемый металл обоих источников;

– устройство плазматрона позволяет регулировать расход газовой смеси и обеспечивает раздельную подачу защитного и плазмообразующего газов;

– двухкоординатный стол дает возможность автоматического регулирования параметров движения образца в диапазоне линейной скорости от 0,006 до 0,6 м/мин с независимым вертикальным перемещением плазматрона над обрабатываемой поверхностью.

Предварительные эксперименты, выполненные с помощью разработанного комплекса оборудования, показали его широкие возможности в области исследования импульсных гибридных процессов сварки и обработки материалов и развития соответствующих технологий. Полученные результаты доказывают возможность существенного влияния взаимодействия импульсов лазерного излучения и тока дуги на форму проплавления. Классификация факторов такого взаимодействия и их количественная оценка требует дальнейших исследований, в том числе с проведением металлографического анализа различных зон сварного шва с целью определения оптимальных режимов процесса для получения требуемых свойств соединения, а также дальнейшего

развития теоретической модели совместного воздействия на металл двух импульсных источников тепла.

1. Steen W. M., Eboo M. Arc augmented laser welding // Metal Construction. — 1979. — **11**, № 7. — P. 332–335.
2. Diebold T. P., Albright C. E. «Laser-GTA» welding of aluminium alloy 5052 // Welding J. — 1984. — **63**, № 6. — P. 18–24.
3. Гибридная лазерно-микроплазменная сварка металлов малых толщин / Б. Е. Патон, В. С. Гвоздецкий, И. В. Кривцун и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 3. — С. 5–9.
4. Особенности нагрева металла при лазерно-дуговой сварке / С. Г. Горный, В. А. Лопота, В. Д. Редозубов и др. // Там же. — 1989. — № 1. — С. 73–74.
5. Pat. 5700989 USA. Combined laser and plasma arc welding torch / I. S. Dykhno, I. V. Krivtsun, G. N. Ignatchenko. — Publ. 23.12.97.
6. Seyffarth P., Krivtsun I. V. Laser-arc processes and their applications in welding and material treatment // Welding and allied processes. — London: Taylor and Francis Books, 2002. — Vol. 1. — 200 p.
7. Diltthey U., Lueder F., Wieschemann A. Process-technical investigations on hybrid technology of laser beam-arc welding // Proc. of 6th Intern. conf. on welding and melting by electron and laser beams. — Toulon, France, 1998.
8. Кривцун И. В. Проведение экспериментов по микроплазменной сварке различных металлов малых толщин и выбор соответствующих режимов горения дуги для гибридной сварки (Науч. техн. отчет) / Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАНУ. — Киев, 2005.
9. Special features of formation of plasma torch under conditions of hybrid laser-arc welding / G. Turichin, A. Grigor'ev, E. Zemlyakov et al. // High Temperature. — 2006. — **44**, № 5. — P. 647–655.
10. Simulation of laser induced quartz ablation for nano powder production / A. Abdurahmanov, V. Lopota, V. Sysoev, E. Pozdeeva // Proc. of 5th Intern. conf. on beam technologies & laser application, St.Petersburg, 2006.

An experimental set up was developed to study the processes of pulsed hybrid (laser-microplasma) welding and treatment of materials using the radiation of pulsed-periodic Nd:YAG-laser with a wide range of adjustment of parameters of the pulse and pulsed low-ampere arc, combined by means of an integrated plasmatron. The proposed algorithms of spatial and time synchronization of two pulsed energy sources for a combined impact on materials enable studying the processes of laser-microplasma welding of steel for car construction, treatment of aluminium alloys and sintering of nanomaterials.

Поступила в редакцию 22.02.2008

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Решением Президиума ВАК Российской Федерации от 4 июля 2008 г. журнал «Автоматическая сварка» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.



К ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

А. А. МОЗЖУХИН, инж. (ГП «ОКТБ Ин-та электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины»)

В теории решения изобретательских задач есть метод инверсии (перестановки) известных элементов устройств для получения новых свойств. Ниже предлагается метод «выворотки наизнанку», расширяющий или дополняющий возможности инверсии.

Ключевые слова: сварочное производство, индуктор, дозатор, переключатель, манипулятор, изобретения, метод инверсии

Суть метода можно проиллюстрировать на примере использования шкуры с мехом в качестве шубы. Позаимствованная у животных идея теплой одежды спасла многих людей от холода. Однако намокший в дождь мех теряет свои теплоизоляционные свойства, шуба уже не греет так, как сухая. Кроме того, добавляются проблемы сушки и поддержания теплоизоляционных свойств слипающегося меха. Вот и придумали люди вывернуть шубу наизнанку кожей наружу. Дождь, стекая с плотной поверхности кожи, оставляет мех сухим. Новое изделие «выворотка» имело очевидные преимущества. Так была изобретена дубленка.

Этот метод можно применять в технике, получая порой не просто новое качество, но и неожиданное расширение функциональных возможностей изделий и устройств.

Пример 1. Использование метода в статическом изделии. Многогнездный индуктор для термообработки, пайки и наплавки. Такие индукторы иногда называют многоочковыми, многоместными, многопозиционными и даже многоячейчными.

Многогнездные индукторы, позволяющие обрабатывать одновременно несколько деталей на одной установке, применяются для повышения производительности. Конструкция известных устройств приведена на рис. 1. Здесь в индуктирующем контуре выполнены отверстия (гнезда) для размещения в них нагреваемых деталей. Гнезда соединены между собой пазы, расположенными внутри контура индуктора вдоль линии размещения деталей. При этом крайние позиции имеют по одному пазу в отличие от средних, имеющих по два. При различном количестве пазов в ячейках угол охвата током изделий, расположенных в крайних позициях, несколько больше, чем в средних. Поэтому последние нагреваются медленнее. Если количество гнезд нечетное, то появляется еще отверстие с тремя пазы.

Для выравнивания нагрева применяют следующие приемы:

крайние отверстия делают несколько большего диаметра, чем средние, снижая тем самым КПД процесса, так как эффективность нагрева максимальна при минимальном зазоре между изделием и индуктором;

на средние позиции устанавливают дополнительно П-образные магнитопроводы, что усложняет устройство и не всегда приемлемо по конструктивным особенностям изделий;

в крайних гнездах делают дополнительные пазы, что выравнивает условия, но увеличивает время нагрева деталей.

А теперь попробуем вывернуть индуктор пазы наружу. Благодаря методу «выворота наизнанку», можно получить многогнездный индуктор с обеспечением одинаковых условий нагрева всех деталей, повышение КПД и упрощение конструкции.

На рис. 2 показан индуктор, в котором отверстия размещены в два ряда в шахматном порядке, а пазы всех отверстий направлены не внутрь, а наружу индуктора перпендикулярно направлению

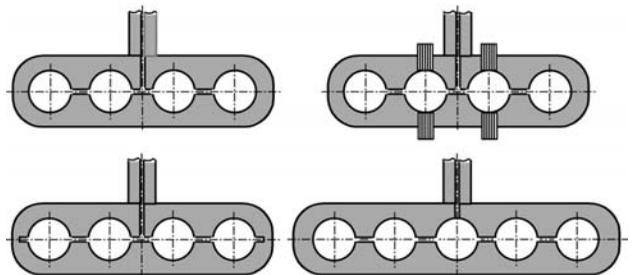


Рис. 1. Схемы многопозиционных индукторов

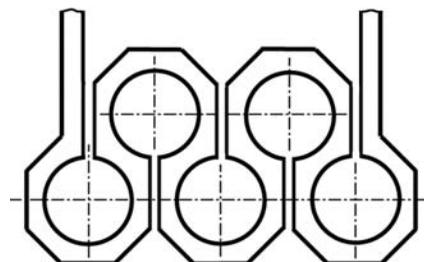


Рис. 2. Схема многогнездного индуктора по А.с. СССР 909852

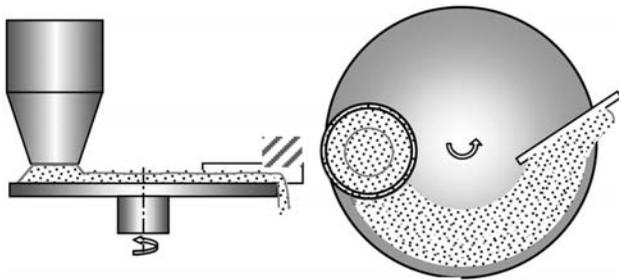


Рис. 3. Тарельчатый дозатор

рядов. Такая конструкция обеспечивает одинаковый угол охвата током изделий, расположенных во всех отверстиях, позволяет использовать индуктор с максимальным КПД путем применения минимального зазора между изделиями и индуктором. Здесь, конечно, недостаточно было просто вывернуть замкнутый контур с полукруглыми отверстиями наизнанку, надо было найти форму расположения отверстий, обеспечивающую в развернутом контуре условия, аналогичные простому одногнезднему индуктору. Но толчок к поиску дал метод выворота.

Пример 2. Использование метода в дозирующем устройстве. Известны тарельчатые дозаторы (рис. 3) для подачи порошковых масс, состоящие из бункера, вращающегося диска (тарелки) и скребка. Функциональные возможности такой конструкции показаны на схеме и заключаются в подаче порошка в определенную точку. Регулирование количества порошка осуществляется в основном путем изменения оборотов диска и зазора под горловиной бункера. Порошок сбрасывается скребком за пределы наружного диаметра диска.

Можно ли вывернуть такой дозатор наизнанку, и что это даст?

Для реализации замысла здесь также понадобилось дополнительно не только решить проблему сводообразования, т. е. преодолеть склонность сыпучих материалов образовывать своды над отверстиями, но и использовать их для дозирования. Так родился способ подачи сыпучих материалов, использующий «бегущий свод» (рис. 4).

На рис. 4, *а* изображено исходное положение процесса, когда над отверстием порошковый материал 5 образовал свод 6. На рис. 4, *б* изображено начало дозирования, когда благодаря перемещению порошка относительно отверстия 3 в дне 2 бункера свод 6 обрушивается. На рис. 4, *в* изображен пример равномерного перемещения порошка относительно отверстия и насыпание сквозь него на объект дозирования, на рис. 4, *г* — образование нового свода 6 при остановке движения лопаток относительно отверстия в дне бункера — конец процесса.

Общая принципиальная схема конструкции дозатора представлена на рис. 5, 6. Дозатор имеет

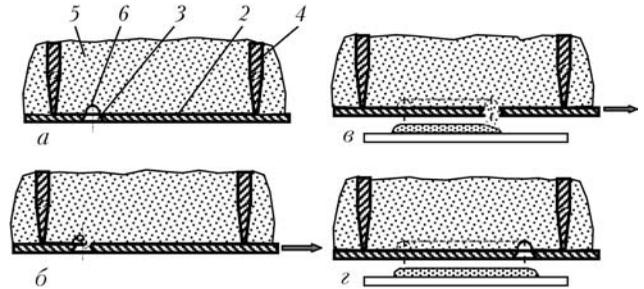


Рис. 4. Способ дозирования «бегущий свод» по А.с. СССР 134992 (*а-г* см. в тексте)

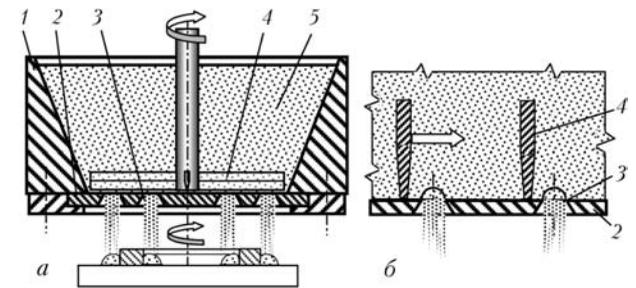


Рис. 5. Дозаторы по методу конструирования «выворотка наизнанку» (*а, б* см. в тексте)

бункер 1, сменное дно 2 с отверстиями 3 и размещенные над дном лопатки 4, которые имеют возможность передвигаться параллельно дну. Бункер содержит порошковый материал 5 — предмет дозирования.

Конструкция дозатора повторяет тарельчатую с точностью до наоборот. Порошок из бункера не высыпается через горловину на диск, а находится на диске, который неподвижен и запирает снизу бункер. Скребок выполнен подвижным в виде нескольких лопаток, радиально расходящихся от оси бункера и связанных с приводом вращения.

На рис. 5, *б* показано сечение по отверстиям в дне, на котором видно взаимное положение лопатки 4 и отверстия 3.

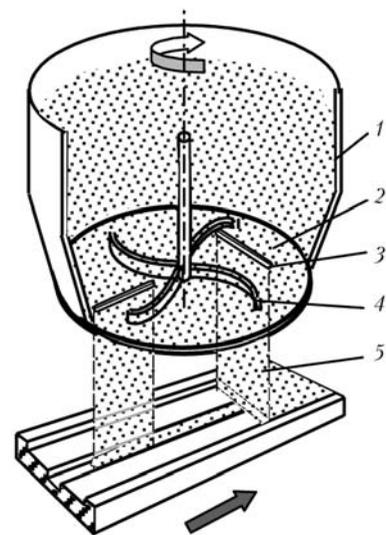


Рис. 6. Дозатор Мозжухина по Патенту Украины 27107 (*1-5* см. в тексте)

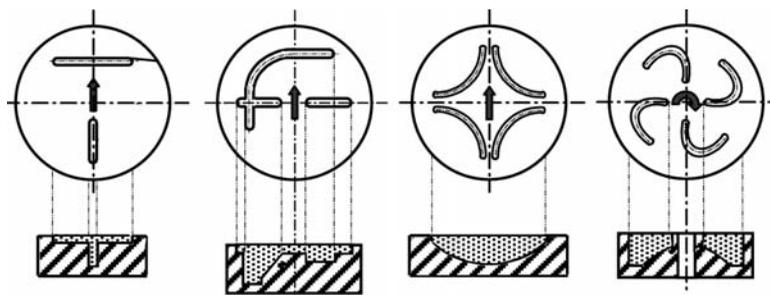


Рис. 7. Формы щелей и конфигурация формы засыпки материала на объекты дозирования

патов и отверстий дна во время дозирования. На рис. 5, а дан пример дозирования порошкового флюса через круглые отверстия на кольцевую деталь для паяния. Отверстия могут располагаться по двум концентрическим окружностям, а объект дозирования может вращаться для равномерности распределения порошка вдоль контура засыпки.

На рис. 6 показан вариант исполнения дозатора со щелевыми отверстиями в сменном дне.

На рис. 7 показаны формы щелей и конфигурация формы засыпки материала на объекты дозирования. Стрелками показано направление движения под дозатором объекта, на который подается сыпучий материал во время дозирования.

Дозатор работает следующим образом. При включении привода лопатки 4 начинают оборачиваться вокруг общей оси равномерно и параллельно дну 2. При этом порошковый материал 5 перемещается относительно отверстий 3 и своды 6 обрушиваются (см. рис. 4, б). Равномерное передвижение лопаток и порошка относительно отверстий благодаря силе тяжести вызывает высыпание порошка 5 сквозь отверстия (см. рис. 4, в). При этом своды не успевают сформироваться, так как их опорная часть, свисая над отверстием, непрерывно обрушивается. При окончании движения лопаток 4 над отверстиями 3 снова образуются своды и подача порошкового материала 5 прекращается (см. рис. 4, г).

Форма щелей позволяет подавать разное количество порошка на фигурные поверхности объекта дозирования (рис. 7). Такая конструкция обеспечивает широкие функциональные возможности дозатора и повышает производительность процесса благодаря тому, что сквозь щели подается больше материала, чем через круглые отверстия, а форма щелей дает широкий диапазон фигурной засыпки.

Изгиб лопаток относительно формы щелей способствует тому, что лопатка ни в какой момент не перекрывает щель полностью и не прерывает подачу порошка даже на короткое время своего нахождения над профилем отверстия.

Пример 3. Использование метода «выворота наизнанку» при создании малогабаритного механизма. Переключатель с цилиндрическим кулач-

ком и способ его изготовления. Изобретение относится к механизмам, где необходимо переключать положение отдельных деталей, например, к коробкам передач типа редукторов со сменным передаточным числом, в которых регулируются обороты выходного вала, в частности, к манипуляторам сварочного производства, но может быть применено в других механизмах, где возникает потребность малогабаритного переключателя.

В известных конструкциях переключателей с цилиндрическим кулачком, как правило, кулачковый паз выполнен со стороны внешней поверхности цилиндра. Такие и подобные механизмы довольно распространены и органы, которые взаимодействуют с пазом, всегда расположены за пределами цилиндрического кулачка. Такая конструкция имеет развитые габариты и ограничивает возможности создания малогабаритных устройств.

В основу изобретения поставлена задача расширить функциональные возможности путем уменьшения габаритов переключателя. Суть изобретения заключается в том, что в переключателе с цилиндрическим кулачком, который имеет паз, выполненный на наружной стороне цилиндрической поверхности, и орган, который взаимодействует с пазом, кулачок согласно изобретению выполнен с внутренней полостью, концентричной цилиндру кулачка, а паз выполнен со стороны внутренней цилиндрической поверхности полости кулачка, при этом орган, который взаимодействует с пазом, расположен внутри кулачка и не выходит за его габариты в радиальном направлении, т. е. известная конструкция вывернута наизнанку.

Суть изобретения состоит также в способе выполнения переключателя с цилиндрическим кулачком. Он предусматривает изготовление цилиндра с пазом сначала с внешней стороны, потом на него надвигают втулку с диаметром радиального отверстия, не меньшим ширины паза, и приваривают втулку к цилиндру. Затем в цилиндре делают концентрическое отверстие диаметром большим, чем внутренний диаметр паза, таким образом, что паз открывается в цилиндрическую пустоту отверстия. После этого в отверстие вставляют вал с резьбовым гнездом для штыря, выставляют гнездо напротив отверстия во втулке и сквозь него ввинчивают штырь в вал. Таким образом создают орган, который взаимодействует с пазом, расположен внутри кулачка и не выходит за его габариты в радиальном направлении.

Общая принципиальная схема конструкции переключателя представлена на рис. 8, на котором изображена в качестве примера четырехступенчатая коробка передач 1 с переключателем 2 и

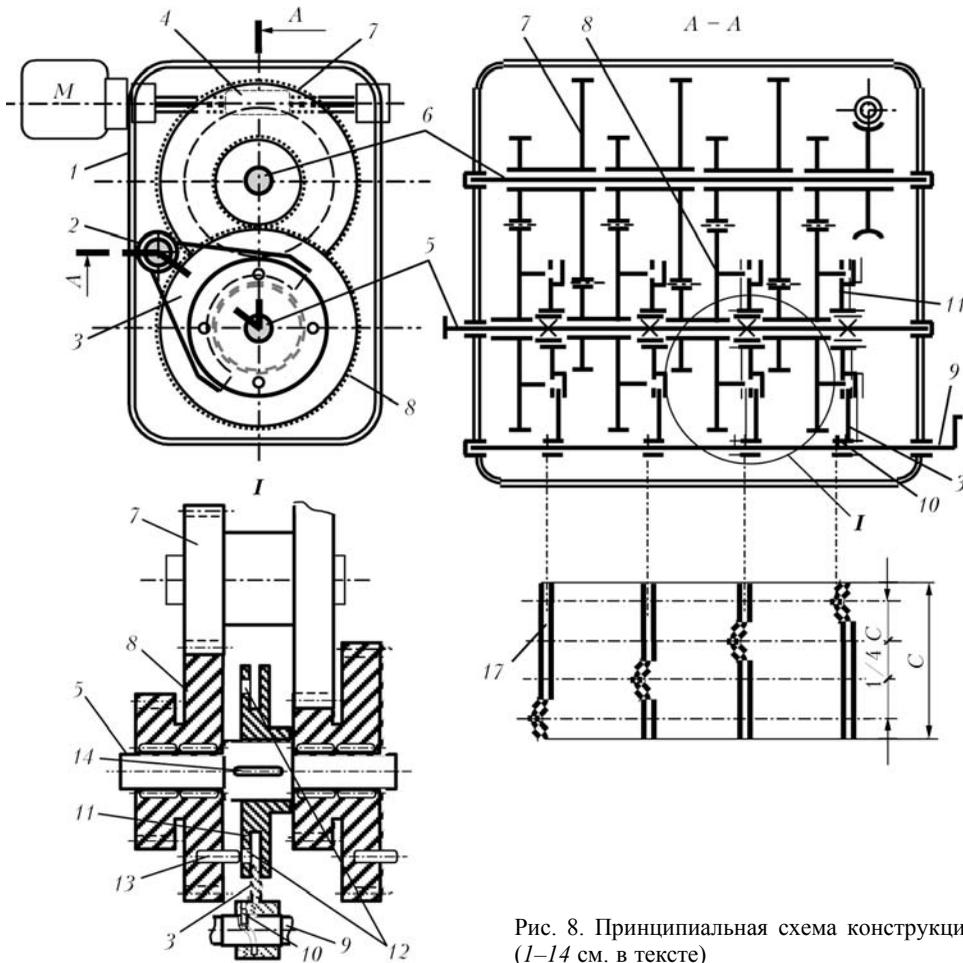


Рис. 8. Принципиальная схема конструкции переключателя (1-14 см. в тексте)

вилками 3. На рис. 8 приведено сечение коробки, на котором показаны червячный вал, от которого обороты двигателя передаются валам 5 и 6 через блоки шестерен 7 и 8, а также участок I. Переключатель 2 связан с валом 9, который имеет штыри 10, размещенные в пазах цилиндрических кулачков ступиц вилок 3. Вилки 3 размещены в пазах муфт 11, которые имеют отверстия 12, оппозитные пальцам 13, жестко закрепленным в шестернях 8. Муфты 11 посажены на вал 5 на

шпонке 14 с возможностью передвижения вдоль вала 5. Шестерни 7 и 8 посажены на валы на подшипниках и имеют возможность свободно вращаться вокруг них. Дана развертка цилиндров кулачков с пазами, на которой показано смещение активной зоны цилиндрических кулачков относительно друг друга для последовательного включения-отключения соответствующих шестерен при изменении передаточного числа редуктора.

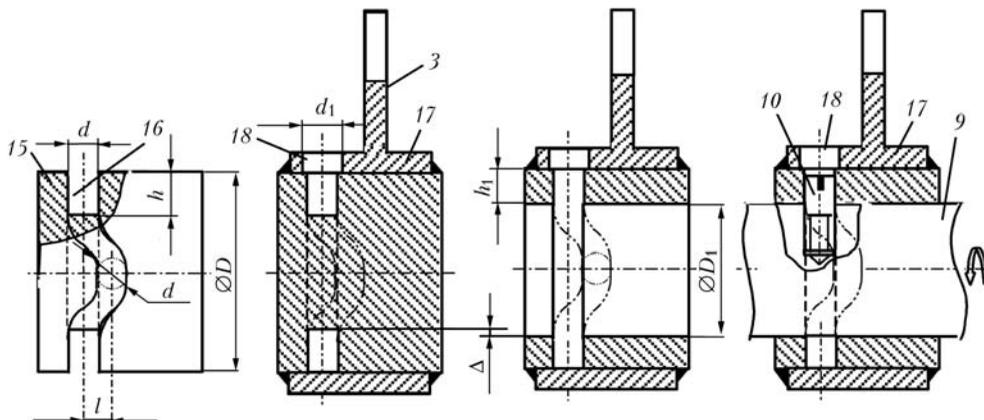


Рис. 9. Поэтапная схема изготовления переключателя

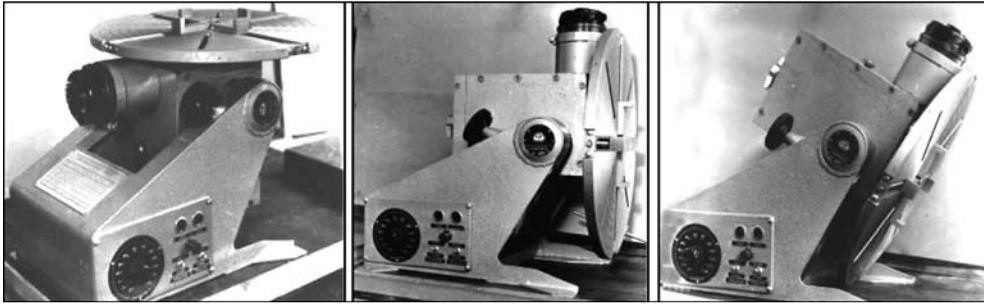


Рис. 10. Настольный манипулятор ОБ1020

Схема реализации способа изготовления переключателя представлена на рис. 9.

Сначала на цилиндре 15 диаметром D с внешней стороны изготавливают фигурный паз 16 шириной d и глубиной h . Потом на цилиндр надвигают втулку 17 с радиальным отверстием 18 диаметром, не меньшим ширины паза ($d_1 \geq d$), и приваривают втулку к цилиндру. На втулке сразу может быть выполнена вилка 3. Потом в цилиндре 15 делают концентричное отверстие диаметром D_1 , большим внутреннего диаметра паза ($h_1 < h$), таким образом паз 16 открывается в цилиндрическую полость отверстия. После этого в отверстие вставляют вал 9 с резьбовым гнездом для штыря 10, выставляют гнездо напротив отверстия 18 во втулке 17 и через него ввинчивают штырь в вал за пределы внутреннего диаметра втулки, таким образом создавая орган, который взаимодействует с пазом, расположен внутри кулачка и не выходит за его габариты в радиальном направлении.

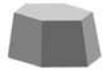
Переключатель (рис. 8) работает следующим образом. В собранном виде в зависимости от положения вала 9 штыри 10 могут размещаться как в кольцевой прямой части паза 17, так и на изгибе. Кольцевая фаза является пассивной, при поступлении в нее штыря муфта 11 отдалена от соответствующей шестерни и ее пальцы 13 не входят

в отверстия 12 муфты. Вместо пальцев и отверстий могут быть применены и другие конструкции муфт. При повороте вала 9 штырь 10, который попадает в изгиб, передвигает ступицу с вилкой 3 вдоль вала 9, одновременно передвигая муфту 11 вдоль вала 5. Благодаря тому, что все шестерни 8 вращаются относительно муфт 11, пальцы 13 попадают в отверстия 12 той муфты 11, которая движется к пальцам. Благодаря тому, что муфта 11 связана с валом 5 шпонкой 14, через нее передается вращение шестерни 8 на вал 5. От того, какая муфта будет включена, зависит передаточное число и скорость оборотов исходного вала 5. Как показано на рис. 8, пазы могут быть выполнены таким образом, что при переключении ни одна муфта не пойдет на включение, пока рабочая не будет выведена из зацепления. Промежуточные положения отвечают холостому ходу двигателя и остановке выходного вала.

Такая конструкция довольно компактна и позволяет, как видно на рис. 8, делать коробки передач с переключателем в пределах габаритов блоков шестерен. На рис. 10 изображен сварочный манипулятор, выполненный с такой коробкой передач по описанному выше примеру выворота переключателя с цилиндрическим кулачком с органом управления наизнанку. Такой манипулятор грузоподъемностью 60 кг весит тоже 60 кг.

The theory of solution of invention tasks includes a method of inversion (re-arrangement) of the known elements of devices to obtain new properties. Given below is the method of «turning inside out», which expands or complements the capabilities of inversion.

Поступила в редакцию 14.04.2008



ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

В. Ю. Белоус (ИЭС им. Е. О. Патона) защитил 11 июня 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Управление формированием шва при сварке сплавов титана в узкий зазор вольфрамовым электродом с магнитоуправляемой дугой».

Работа посвящена изучению особенностей процессов, протекающих при сварке в узкий зазор с наложением

внешнего управляющего магнитного поля, которое применяется для управления отклонением сварочной дуги и регулируемого оплавления вертикальных стенок зазора.

Сформулировано представление о механизме формирования сварного соединения в узкой разделке в условиях воздействия внешнего управляющего магнитного поля. Определено влияние параметров управляющего магнитного поля на перемещение дуги в узкой разделке и формирование сварного шва. Установлены закономерности перемещения анодного пятна в разделке под действием внешнего управляющего магнитного поля и показано, что значение его смещения на вертикальные стенки прямо пропорционально значению поперечной составляющей индукции магнитного поля и обратно пропорционально сварочному току. Экспериментально-расчетным методом выполнена оценка значения газодинамического давления дуги при СУЗ. Показано, что при СУЗ с управляющим магнитным полем, в отличие от сварки без внешнего магнитного воздействия, имеют место поперечные колебания металла сварочной ванны, причем основная роль в возбуждении колебаний металла принадлежит силе давления дуги. Установлено, что формирование сварного шва оптимальной формы с одинаковым по высоте проплавлением вертикальных стенок, отсутствием непроваров и несплавленных обеспечивается при индукции управляющего магнитного поля 8...10 мТл. Установлен рабочий диапазон частоты реверсирования магнитного поля исходя из условия предотвращения несплавления с поверхностью предыдущего слоя и основного металла. Определено численное значение коэффициента пропорциональности между смещением вольфрамового электрода от оси разделки и максимальной пульсацией напряжения на дуге. Установлено, что вольфрамовый электрод для СУЗ с внешним управляющим магнитным полем должен иметь специальную форму рабочей части. Установлено, что при СУЗ с внешним реверсируемым магнитным полем имеет место явление колебания рабочей части неохлаждаемого вольфрамового электрода, связанное с воздействием силы от внешнего реверсируемого магнитного поля.

В результате исследований разработаны технологические рекомендации для сварки конструкций из титановых сплавов ПТ-3В и ВТ23 толщиной 20...100 мм в узкий зазор с применением съемной водоохлаждаемой формирующей подкладки, которые обеспечивают отсутствие таких дефектов сварных соединений, как непровары вертикальных боковых стенок зазора и несплавления металла шва с основным металлом, и гарантируют высокий уровень механических свойств сварных соединений.



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

И. А. Прибутко (Черниговский государственный технологический университет) защитила 11 июня 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Разработка методов оценки и снижения остаточных напряжений в датчиках давления».

Диссертация посвящена поиску путей снижения уровня внутренних напряжений в металло-стекло-кремниевых узлах датчиков неэлектрических

величин с целью повышения уровня эксплуатационных показателей. С помощью разработанной на основе метода конечных элементов методики расчета напряженно-деформированного состояния многокомпонентных узлов датчиков давления, которая позволяет моделировать напряженно-деформированное состояние в сварно-паяных конструкциях разной конфигурации на этапе изготовления и эксплуатации, проведены численные эксперименты и установлены основные закономерности распределения напряжений в сварно-паяных многокомпонентных узлах датчиков давления в зависимости от геометрических параметров соединений, физико-механических свойств и технологии изготовления узлов. На основе установленных закономерностей выявлено, что снижение уровня максимальных напряжений растяжения в кремниевой мембране и изоляторе достигается варьированием геометрии металло-стекло-кремниевых соединений.

Анализ напряженного состояния в соединениях и механические испытания стекло-кремниевых узлов полупроводниковых датчиков давления показали, что для обеспечения заданных метрологических характеристик преобразователей узел датчика необходимо проектировать таким образом, чтобы толщина чувствительного элемента и толщина и высота стеклянного изолятора были минимальными, а толщины промежуточного стеклянного элемента и металлического корпуса максимальными. Характер приложенной нагрузки и наличие геометрической неоднородности в зоне сварных соединений в виде дефектов трещиноподобного вида может оказаться опасным с точки зрения прочности сварных стекло-кремниевых соединений при работе кремниевой мембраны на отрыв.

С использованием подходов механики разрушения твердых тел с трещинами исследовано влияние дефектов, связанных с несовершенством обработки стеклянных деталей под сварку. Показано, что для обеспечения низкой вероятности распространения трещины в узле датчика давления глубина дефекта трещиноподобной формы в зоне соединения трубчатой стеклянной детали с кремниевой мембраной не должна превышать определенных размеров в соответствии с условиями хрупкого разрушения. Результаты экспериментальных исследований поляризационно-оптическим методом подтверждают общие выводы относительно характера влияния геометрии сварного стекло-кремниевое соединения узла датчика давления. Количественная оценка уровня максимальных напряжений близ зоны соединения стекла с кремниевой мембраной показала хорошую корреляцию результатов экспериментальных исследований напряжений по цветовым диаграммам с расчетными результатами: отличия в результатах составляют 12...18 %. На основе проведенных исследований напряженно-деформированного состояния сварно-паяных многокомпонентных узлов датчиковой аппаратуры предложены основные принципы рационального конструктивного оформления узлов датчиков давления.



ИЗОБРЕТЕНИЯ СТРАН МИРА*

Мягкий припой представляет собой сплав, используемый при пайке путем выравнивания горячим воздухом или пайке волной припоя и содержит 0,08...3 % висмута; 0,15...1,5 % меди; 0,1...1,5 % серебра; 0...0,1 % фосфора; 0...0,1 % германия; 0...0,02 % одного или нескольких РЗМ, а также по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, в которую входят 0,02...0,3 % никеля; 0,008...0,2 % марганца; 0,01...0,3 % кобальта и/или 0,01...0,3 % хрома, остальное — олово и неизбежные примеси. Патент Великобритании 2421030. A. Ingham, G. Campbell, B. Liwis et al. (Alpha Fry Limited).

Способ и устройство для плакирования сваркой. Для того чтобы плакировать незащищенные металлические поверхности в направлении сварки за первой горелкой на некотором удалении от нее расположена вторая сварочная горелка, причем первая сварочная горелка образует на наплавленном валке буферный слой, а вторая горелка — слой покрытия. Слой покрытия полностью перекрывает буферный слой. Благодаря этому возможно равномерное плакирование, поскольку буферный слой сглаживает неровности и углубления, а слой покрытия может быть нанесен сваркой с очень точным регулированием толщины. Устройство для осуществления способа содержит горелку, которая закреплена на маятниковом механизме и с помощью приводного механизма перемещается со скоростью сварки по заданной траектории, причем в направлении сварки вслед за первой горелкой расположена вторая горелка. Патент Германии 10326694. D. V. Strykowski (Baumgarte Boiler Service GmbH).

Способ и устройство для фрикционной сварки. При фрикционной сварке один из соединяемых элементов совершает колебательные движения под действием электромагнитного вибратора. Вибратор имеет электрическую систему отключения после определенного периода работы в заданном режиме. Патент Германии 10347345. W. Michel, S. Eckert, R. Wagner (Kln Ultraschall GmbH).

Вакуумная печь для пайки давлением и способ ее использования. Изобретение относится к промышленным вакуумным термическим печам и может быть использовано, например, для пайки крупных металлических деталей. Вакуумная печь имеет работающий под давлением корпус с цилиндрической стенкой. Размеры и расположение крышки корпуса позволяют закрыть один конец цилиндрической стенки корпуса. На крышке смонтирована система манипулирования с опорой для термически обрабатываемой в печи или соединяемой пайкой детали. Система манипулирования имеет устройство, предназначенное для вращения детали во время ее обработки в печи. Первая вакуумная система соединена с корпусом и предназначена для создания разрежения внутри корпуса, включая зону нагрева. Деталь соединяется со второй вакуумной системой, предназначенной для создания разрежения внутри детали во время ее пайки. Изобретение обеспечивает получение качественного соединения пайкой очень крупных металлических деталей. Патент России 2301727. У. Миттен, Л. Орин, У. Маквай (Ипсен Интернешнл, США).

Способ вибродуговой сварки с подачей электродной проволоки и устройство для подачи электродной проволоки. Изобретение относится к области вибродуговой сварки с по-

дачей электродной проволоки и может быть использовано в моторостроительной, судостроительной, нефтегазовой и инструментальной областях. Непрерывно подают электродную проволоку и дополнительно сообщают ей возвратно-поступательное перемещение различной амплитуды. Возвратно-поступательное перемещение торца электродной проволоки задают с помощью кривошипно-шатунного механизма со штоком устройства подачи электродной проволоки путем чередования импульсов его возвратно-поступательного движения. Шток расположен на свободном конце шатуна, выполнен с отверстием для захвата проволоки и перпендикулярен оси канала подачи проволоки. Процесс сварки осуществляют при горении дуги, периодически возбуждаемой короткими замыканиями между электродной проволокой и деталью, возникающими под действием динамической силы при максимальной амплитуде колебаний торца проволоки. Перенос каплей расплавленной проволоки под действием динамической силы осуществляют между моментами короткого замыкания при минимальной амплитуде колебаний торца проволоки. Приведены и другие отличительные признаки. Патент России 2301728. В. В. Булычев, В. А. Дубровский, С. А. Голубина.

Устройство для сварки под флюсом толстолистовых мостовых конструкций. Изобретение относится к сварке под флюсом толстолистовых конструкций, применяемых в мостостроении. Устройство содержит источник питания и корпус с закрепленными на нем ведущими и направляющим колесами, держателем для бухты электродной проволоки, электродвигателем с редукторами для колес, бункером для флюса, сварочным мундштуком, удлинителем сварочного мундштука, фиксирующей керамической втулкой и штангой для направляющего колеса со скользящим соединением и стопорным винтом. Мундштук содержит ведущий и прижимной ролик. Источник питания содержит токоподводящие провода для сварочной дуги и токопроводящие провода для электродвигателя. Опорные точки направляющего и ведущих колес расположены в единой плоскости сварки. Удлинитель мундштука выполнен в виде плавно искривленной втулки и расположен между держателем для бухты электродной проволоки и сварочным мундштуком. Штанга выполнена с возможностью установки устройства в наклонное положение посредством скользящего соединения и стопорного винта. Это позволит увеличить производительность при сохранении требуемого качества. Патент России 2301135. В. Г. Гребенчук, И. В. Гребенчук, Д. М. Парышев и др. (ЗАО «Курганстальмост»).

Способ электронно-лучевой сварки оболочек тепловыделяющих элементов. Изобретение относится к атомной энергетике и может быть использовано для сварки оболочек с заглушками при герметизации тепловыделяющих элементов. Калибруют конец оболочки под сварку. Собирают оболочку с заглушкой и осуществляют сварку по заданной программе в ограничивающем тепловложение устройстве сварочной установки. Сварку ведут с обеспечением структурных изменений в оболочке и зоне ее калибровки. Одновременно с выполнением сварного шва оболочку в зоне калибровки прижимают к поверхности посадочного листа заглушки при помощи ограничивающего тепловложение устройства. Торцы указанного устройства располагают от стыка на расстоянии 0,8...2,5 ширины сварного шва. Повышается конструкционная прочность сварного соединения. Патент России 2301137. А. А. Кислицкий (ОАО «Новосибирский завод химконцентратов»).

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в реферативном журнале «Изобретения стран мира» № 6 за 2007 г.



Способ диффузионной сварки труб из разнородных материалов. Изобретение относится к области диффузионной сварки, а именно к сварке труб из разнородных материалов, обладающих различной пластичностью при температуре сварки. На свариваемых трубах нарезают резьбу, позволяющую их свободно свинчивать для образования резьбового соединения. У трубы из материала, обладающего большей пластичностью при температуре сварки, срезают вершину резьбовой нитки. Свинчивают трубы по резьбе, нагревают резьбовое соединение в вакууме до температуры диффузионной сварки, сдавливают резьбовые поверхности между собой в радиальном направлении до образования плотного контакта по всей площади резьбового соединения и выдерживают при температуре диффузионной сварки. Эксплуатационные характеристики сварного соединения повышаются за счет уменьшения толщины эвтектической прослойки. Патент России 2301732. А. Н. Семенов, С. Н. Новожилов (ФГУП НИКИ энергетики им. Н. А. Доллежала).

Устройство для сборки и сварки труб. Изобретение относится к области производства труб, а именно к устройствам для сборки и сварки труб большой длины. Устройство содержит сварочные тележки, выполненные с возможностью перемещения по рельсам на катках, роликовые опоры для трубной заготовки, смонтированные на тележках, сварочный узел и тягу, смонтированную ниже уровня рельсов. Роликовые опоры выполнены приводными и поворотными. Тележки, одна из которых выполнена приводной, а другая — неприводной, связаны между собой упомянутой тягой. Для перемещения по рельсам каждая из тележек снабжена четырьмя парами катков, попарно связанными между собой. Приводная тележка с одной стороны снабжена установленными с двух сторон от рельса у каждой пары катков направляющими боковыми роликами, ось вращения которых перпендикулярна оси вращения катков. На неприводной тележке с одной стороны катки выполнены с боковыми ребордами, взаимодействующими с рельсом. Это позволит повысить производительность устройства и расширить его технологические возможности. Патент России 2301138. В. П. Коняев, Е. Н. Фоминых, Р. Н. Катырева и др. (ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения»).

Способы и машины для ускоренной резки стали. Часть разрезаемой стальной заготовки нагревают до температуры плавления, устанавливают резак под острым углом к ванне расплава и направляют сжатый под большим давлением кислород на расплавленный металл. Сжатый кислород еще больше нагревает заготовку и выдувает расплавленный металл, образуя канавку. После этого газовый резак, в который под большим давлением подают горючий газ и кислород, перемещают вдоль канавки. Машина для резки заготовок содержит механизм, который автоматически перемещает резак. По меньшей мере одна кромка реза имеет зерновую структуру, которая не перпендикулярна направлению перемещения резака. Патент США 7063814. М. Р. Pasulka (Pasulka Mattnew P.).

Машина дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа. Машина содержит источник питания, оснащенный контроллером, который создает первый и второй режимы сварки и управляет подачей сварочной проволоки. Первый режим использует ток, имеющий первую форму импульса, в то время как второй режим выполняется на токе, имеющем вторую форму импульса. Машина, кроме того, содержит цепь, которая переключает работу машины в первом или втором режимах. Переключающая цепь имеет счетчик, который подсчитывает количество импульсов в первом и втором режимах сварки, и блок, который переключает работу машины во второй режим, когда количество импульсов

тока первого режима достигает заданного значения. Патент США 7067767. С. Hsu (Lincoln Global, Inc.).

Способ металлообработки/сварки с применением криогенного вещества. Частицы расплавленного металла сварочного электрода или разрезаемой заготовки направляют в зону контакта с жидким азотом или твердым диоксидом углерода. При этом частицы расплавленного металла резко охлаждаются, переходя в твердое состояние, и не прилипают к поверхности свариваемой или разрезаемой заготовки. В альтернативном варианте участки поверхности заготовки, находящиеся рядом с зоной сварки или резки, подвергают криогенному охлаждению, в результате чего разлетающиеся частицы расплавленного металла не прилипают к охлаждаемым участкам поверхности. Патент США 7067759. J. T. Gabzdyl (The Boc Group Plc.).

Способ соединения металлических и керамических деталей. Для соединения металлических и керамических деталей используют металлическую деталь, образующую покрытие из оксида алюминия, и керамическую деталь. Высокотемпературный припой помещают между металлической деталью, образующей оксид алюминия, и керамической деталью. Полученный узел нагревают в окислительной атмосфере, предпочтительно на воздухе при температуре 500...1300 °С. Металлические детали, образующие оксид алюминия, выбирают из высокотемпературных алюминийсодержащих нержавеющей сталей, возможно покрытых оксидом алюминия. В качестве припоя выбирают смесь оксида металла с благородным металлом, предпочтительно Ag-CuO, Ag-V₂O₅, Nb₂O₅, предпочтительно 30,65...100 мол. % Ag в CuO. Патент США 7055733. K. S. Weil, J. S. Hardy, J. Y. Kim (Batelle Memorial Institute).

Порошковая проволока для дуговой горизонтальной сварки угловым швом в среде защитного газа. Проволока, состоящая из стальной оболочки, заполненной порошком флюса, содержит 0,01...0,04 % C; 0,5...1,6 % Si; 1,5...3,0 % Mn; до 0,2 % Mg; до 0,4 % Al; 1...4 % TiO₂; 0,1...0,5 % ZrO₂; 0,1...0,5 % MgO. Суммарное содержание Mg и Al 0,1 % и более. Отношение (10Mg + 3Al)/Mn находится в пределах 0,2...1,0. Отношение (ZrO₂ + MgO)/TiO₂ составляет 0,08...0,20. Проволока позволяет сваривать стальные листы, покрытые грунтовкой. Патент Японии 3788691. S. Nagaoka, T. Hashimoto, M. Ota (Kobe Steel Ltd.).

Машина дуговой сварки. Машина содержит блок управления, который определяет состояние свариваемой заготовки или состояние сварочной проволоки, а также датчик, который детектирует контакт торца проволоки с поверхностью заготовки. Система управления машиной предотвращает деформирование конца сварочной проволоки при контакте с поверхностью свариваемой заготовки. Патент Японии 3786122. K. Aimi, Y. Mukai, H. Oyama et al. (Matsushita Electric Ind Co Ltd.).

Способ и машина для сварки трением вращающимся инструментом с радиационным подогревом зоны сварки. Машина для сварки плит содержит вращающийся инструмент, состоящий из кольцевого хвостовика и полого стержня меньшего диаметра. Хвостовик и стержень образуют поверхность, которая поглощает электромагнитное излучение, генерируемое источником. В качестве такого источника может применяться световой источник или генератор высокой частоты. Электромагнитное излучение нагревает стержень, тепло которого передается металлу свариваемых плит. Конструкция машины позволяет повысить скорость сварки. Патент Японии 3782434. R. R. Rice, Y. Vetrovec (Boieng Co).



SHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2008.
— № 2 (нем. яз.)

Два новых робота фирмы KUKA, с. 74–75.

Bach F.-W. et al. Разработка изготовленных гальваническим способом покрытий, проволок и пленок, устойчивых против высоких температур, с. 78–83.

Bobzin K. et al. Обеспечение качества благодаря диагностике процесса Online, с. 84–87.

Dilthey U. et al. Повышение стойкости против горячих трещин при сварке под флюсом холодной проволокой сплавов на основе никеля, с. 88–96.

Работа службы информации «Обзор литературы по сварке и родственным технологиям», с. 97–100.

Jerzembeck J. Техника безопасности в сварке, актуальные вопросы исследований и практики, с. 101–104.

Zwatz R. Проект EN ISO 9 606-1:2007-05 потерпел крушение из-за европейских возражений. В 2008 г. планируется второе рассмотрение, с. 104–107.



По
зарубежным
журналам*

Vollertsen F. IV комиссия МИС «Лучевые способы», с. 108–109.

Queren-Lieth W., Kestin G. Повышение квалификации и обмен опытом сварочного персонала в аэрокосмической области и в военной технике, с. 109–115.

TWI CONNECT (Англия) 2008. — Issue 152 January/February (англ. яз.)

Новый метод сварки трением с перемешиванием с использованием отверстия, с. 1.

Внедрение установки для холодного распыления в Йоркширском технологическом центре, с. 2.

ALTEX — автоматизированная лазерная сварка текстиля, с. 3.

Расчет сварных соединений, с. 4–5.

Современный метод соединения проволоки, с. 6.

Передовая производственная технология, с. 8.

WELDING and CUTTING (Германия) 2008. — № 1 (англ. яз.)

Новая технология контроля обеспечивает беспрецедентный уровень мониторинга сварных швов, с. 8–10.

O'Connell T. Роботизированные сварочные установки — новый инструмент для решения старых проблем, с. 10–11.

Более высокий уровень качества, производительности и экономичности сварных соединений, с. 12–16.

Лазерная сварка с использованием порошка в качестве присадочного материала, с. 20–21.

Rusch H.-J. Контактная сварка в цехах по производству автомобильных кузовов, с. 22–26.

Staubach M. et al. Сварка разнородных соединений из стали–алюминия с помощью процессов дуговой сварки металлургическим электродом в среде защитного газа с пониженным потреблением энергии и с присадочными материалами на основе алюминия и цинка, с. 30–38.

Maddox St. Усталость поперечных односторонних стыковых сварных швов, с. 44–52.

Thurner St., Kusch M. Применение технологии пайки плазма-МИГ для соединения оцинкованных стальных материалов, с. 54–59.

ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия) 2007. — Roc. 56, № 10 (словац. яз.)

Juhas P. Определение и оценка прочности конструкционных сталей, с. 275–282.

Trstanova T. Сварка дуплексных ферритно-аустенитных сталей и изготовление гидрогенизационного реактора, с. 283–291.

ZVARANIE — SVAROVANI (Словакия) 2007. — Roc. 56, № 11–12 (словац. яз.)

Pecha J. et al. Свойства сварных соединений типа T/P23, с. 307–314.

Stejskalova S. et al. Причины преждевременного истечения срока службы переходных сварных соединений в тру-

бах пароперегревателей, изготовленных из низколегированных CrMoV и аустенитных CrNiMo сталей, с. 315–321.

Holy A. et al. Ухудшение эксплуатационных свойств излучающих труб вследствие их эксплуатации при высоких температурах, с. 322–330.

* 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).



КОНГРЕСС ТЕРМИСТОВ И МЕТАЛЛОВЕДОВ

21–25 апреля 2008 г. в Харькове состоялся очередной IX Международный научно-технический конгресс термистов и металлосведов. Конгресс включал 9-ю Международную научно-техническую конференцию «Технологии термической и химико-термической обработки металлов и сплавов» (ОТТОМ-9), 7-й Международный научно-практический симпозиум «Печное и закалочное оборудование нового поколения для термической и химико-термической обработки металлоизделий», 9-й Международный научно-технический симпозиум «Наноструктурные функциональные покрытия для повышения качества поверхностей изделий машиностроения», 6-й Международный научно-практический семинар «Перспективные материалы в машиностроении», 7-ю Школу молодых ученых и специалистов по технологиям термической и химико-термической обработки металлоизделий. Его организаторами выступили: Национальная академия наук Украины, Министерство образования и науки Украины, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины (ННЦ-ХФТИ), Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, Национальная металлургическая академия Украины — Днепрпетровский национальный университет (НМАУ-ДНУ), Приднепровская академия строительства и архитектуры (ПАСА), Ассоциация металлосведов и термистов Украины, Украинское вакуумное общество.

Председателем оргкомитета конгресса являлся генеральный директор ННЦ-ХФТИ, академик НАН Украины, д-р техн. наук И. М. Неклюдов. Сопредседателями являлись ректор ПАСА, проф., д-р техн. наук В. И. Большаков и канд. физ.-мат. наук В. М. Шулаев, а заместителем председателя и научным секретарем соответственно были зав. кафедрой НМАУ-ДНУ, д-р техн. наук, проф. Л. Н. Дейнеко и канд. техн. наук А. П. Редкокаша. Традиционно конгресс проходил на базе отдыха ННЦ-ХФТИ «Элат» на живописном берегу Печенежского водохранилища.

В работе конгресса приняло участие свыше 140 специалистов из десяти стран, работающих в отраслях металлосведения, материаловосведения, термической обработки, нанотехнологий, сварки, металлофизики, механики разрушения, а также производства новых функциональных и конструкционных материалов, представителей ведущих НИИ, КБ, университетов, академий, машиностроительных, металлургических и энергетических предприятий. По сравнению с прошлогодним конгрессом количество его участников увеличилось, что подтверждает растущую заинтересованность к конгрессу. Например, из таких известных организаций и учебных заведе-

ний, как ИЭС им. Е. О. Патона, Уфимского государственного авиационного технического университета, Технического университета Баркакадемии (г. Фрейберг, Германия), Московского автомобильно-дорожного института, Белорусского государственного технологического университета (г. Минск, Беларусь), ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» (г. С.-Петербург, РФ) и др.

Конгресс открыл и выступил со вступительной речью Председатель оргкомитета, академик НАНУ И. М. Неклюдов. Он поздравил участников с началом работы конгресса и пожелал всем успешной деятельности, плодотворного обмена научным и практическим опытом, а также нового перспективного сотрудничества. Затем И. М. Неклюдов остановился на двух глобальных проблемах, которые стали главными на конгрессе. Первая заключалась в необходимости разработки и внедрении новых ресурсосберегающих технологий и является наиболее актуальной для стран СНГ. Вторая обусловлена необходимостью повышения качественных характеристик металлопродукции, которая актуальна для всех стран. И. М. Неклюдов подчеркнул, что использование физико-химических эффектов, связанных с наноразмерным состоянием, открывает принципиально новые технологические возможности, поэтому исследование и разработка наноматериалов является первоочередной задачей. Таким образом, тематическая направленность данного конгресса находилась в русле основных мировых тенденций и отражала современный уровень развития отраслевой науки и техники.

Выступление сопредседателя оргкомитета В. М. Шулаева было посвящено разработке ресурсосберегающих технологий, предусматривающих использование термического оборудования нового поколения.

Доклады проводились по заранее сформированной тематике, включавшей следующие основные направления: технологию термической и термомеханической обработки; химико-термическую обработку; металлосведение для машиностроения; наноструктурные функциональные покрытия; наноматериалы — новые фавориты индустрии; печное и закалочное оборудование нового поколения. Всего было представлено 140 докладов.

Докладывались и обсуждались результаты фундаментальных, прикладных исследований, а также материалы практических разработок. Примерно четвертая часть докладов была посвящена рассмотрению физико-химических процессов, обусловленных сварочным нагревом изготавливаемых соединений,

а также использованию наноматериалов в сварочном производстве.

Отличительной особенностью данного конгресса от предыдущего явилось участие в его работе большего количества молодых ученых и аспирантов.

На конгрессе состоялся ряд презентаций. Например, предлагалась технология термической обработки проката для холодной высадки (ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, РФ), а также камерные и шахтные электропечи сопротивления, относящиеся к оборудованию нового поколения, Торговая марка ОТТОМ (ННЦ «ХФТИ», г. Харьков).

В процессе работы конгресса между его участниками устанавливались деловые контакты, способствующие консолидации дальнейших исследований и разработке нового оборудования. Молодые ученые, инженеры и аспиранты приобрели новые знания и опыт.

На итоговом заседании конгресса были выработаны перспективные направления его дальнейшей работы. Материалы конгресса опубликованы в двухтомном сборнике научных трудов. С материалами конгресса можно ознакомиться на сайте www.ottom.com.ua.

В. В. Дмитрик, д-р техн. наук

УДК 621.791.009(100)

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ — 2008»

С 19 по 22 мая на территории ФГУП «ЦНИИМ» (Санкт-Петербург, РФ) прошла 1-я Санкт-Петербургская международная научно-практическая конференция «Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки — 2008». В конференции приняли участие ученые и специалисты из Санкт-Петербурга, Казани, Ижевска, Москвы, Красноярска, Новосибирска, Челябинска, Калуги (РФ), Франкфурта, Ганновера (ФРГ), Минска (Республика Беларусь), Киева (Украина), Софии (Болгария). Среди них 16 докторов технических наук, а также работники крупнейших производственных предприятий. Общее количество участников конференции составило более 100 человек.

Конференция была организована ФГУП «ЦНИИМ» при содействии Правительства Санкт-Петербурга, Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Санкт-Петербургского общества научно-технических знаний, ЗАО «ОРМА» и других предприятий и организаций Санкт-Петербурга.

Участникам конференции была представлена возможность ознакомиться с производственными мощностями ЗАО «ОРМА», которое выполняет широкий комплекс работ в области газотурбостроения и теплообменных аппаратов и имеет современное оборудование для металлообра-

ботки, термообработки и сварки, а также установку для электронно-лучевой сварки.

Генеральный директор ФГУП «ЦНИИМ» П. Г. Петров выступил с приветственным словом и пожелал успешной работы участникам конференции. Открыл конференцию заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор В. В. Башенко. Начальник управления инновационного развития и инфраструктуры Федерального агентства по науке и инновациям А. В. Суворинов проинформировал о процессе реализации государственной научно-технической и инновационной политики правительства РФ.





Во время посещения ЗАО «ОРМА»

Всего на конференции было заслушано 28 докладов, в которых были рассмотрены состояние и перспективы развития электронно-лучевой сварки в России и за рубежом, представлены современные технологии и оборудование. В результате активного

обмена мнениями и дискуссий был разработан проект программы развития электронно-лучевой сварки в РФ, в котором отражены вопросы создания современных энергокомплексов для электронно-лучевой сварки, проведения фундаментальных научных исследований, подготовки специалистов по электронно-лучевой сварке, стандартизации и создания научно-технических центров электронно-лучевой сварки в федеральных округах.

К началу конференции был издан сборник докладов «Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки — 2008».

Все участники конференции выразили удовлетворение результатами конференции и пришли к выводу о необходимости создания на базе ФГУП «ЦНИИМ» координационного совета по электронно-лучевой сварке, а также периодического проведения подобных конференций.

А. А. Кайдалов, д-р техн. наук

УДК 621.791.009(100)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ»

Достижение высокого качества и эксплуатационной надежности машин, а также их более низкой стоимости, что является условием обеспечения высокого и устойчивого уровня рыночной конкурентоспособности, возможно лишь на основе реализации новых наукоемких технологий и научно-технических направлений.

Одним из таких комплексных направлений решения задачи является инженерия поверхности. Она приобретает все большее значение как эффективное средство достижения экономии материалов и энергии, позволяя одновременно улучшать технико-экономические характеристики машин и создавать принципиально новые изделия.

26–29 мая в восьмой раз в пгт Гаспра, Большая Ялта, состоялась 8-я Международная научно-техническая конференция «Инженерия поверхности и реновация изделий», организованная Ассоциацией технологов-машиностроителей Украины (ген. директор — д-р техн. наук, проф. С. А. Клименко). В конференции участвовали ученые НИИ и вузов, специалисты промышленных предприятий Украины, России, Беларуси, Латвии, Сербии, Пакистана.

На открытии конференции с приветственным словом выступил директор Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, академик НАН Украины Н. В. Новиков. В своем выступлении он подчеркнул особое значение инже-

нерии поверхности в создании современной техники и отметил важную роль Ассоциации технологов-машиностроителей Украины в информационном объединении специалистов и ученых-технологов различных стран.

На пленарном заседании были рассмотрены вопросы экологии повышения долговечности изделий (канд. техн. наук Б. В. Намаконов, г. Горловка), механической обработки наплавленных и напыленных покрытий, инженерии поверхности применительно к деталям с покрытиями (акад. НАН Украины Н. В. Новиков, проф. С. А. Клименко, г. Киев), создания гибридных технологий (проф. Э. К. Посвятенко, г. Киев) и нанотехнологий в инженерии поверхности (проф. Ю. В. Панфилов, г. Москва).

В докладах, представленных на конференцию, были обобщены результаты широкого круга исследований, охватывающих важнейшие составляющие понятия «инженерия поверхности», показаны современные достижения в создании и совершенствовании технологий управления эксплуатационными свойствами деталей машин и режущими инструментами. Проблемы создания функциональных покрытий и поверхностей, технологического управления качеством поверхности деталей машин рассмотрены в сообщениях профессоров В. И. Аверченкова (г. Брянск), В. М. Береснева (г. Харьков), В. Г. Люлько (г. Ростов-на-Дону), Ж. А. Мрочка



(г. Минск), Г. А. Прибыткова (г. Томск), М. Б. Ригманта (г. Екатеринбург), Л. А. Тимофеевой (г. Харьков), А. В. Усова (г. Одесса), Ю. А. Харламова (г. Топи), М. Л. Хейфеца (г. Полоцк), кандидатов наук В. В. Артемчука (г. Днепропетровск), И. А. Вакуленко (г. Днепропетровск), Э. С. Геворкяна (г. Харьков), С. А. Ильиных (г. Екатеринбург), Р. И. Нигметзянова (г. Москва), А. А. Сытника (г. Светловодск), Д. С. Фатюхина (г. Москва) и др., представителей промышленных предприятий ряда городов Украины и России.

Результаты оригинальных исследований в направлении формирования материалов с заданными свойствами рассмотрены в докладах коллектива ученых из Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН под руководством проф. В. В. Рошупкина.

Традиционно в рамках конференции проводился семинар «Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горно-металлургической, машиностроительной промышленности и на транспорте», на котором ученые и специалисты промышленных предприятий на конкретных практических примерах рассказали о своих проблемах и достижениях. Большой интерес вызвали выступления, в которых рассматривался практический опыт ООО «НПП «Реммаш» (г. Днепропетровск), ООО «ТМ. Велтек» (г. Киев), ОАО «Симферопольский моторный завод» по созданию оборудования и материалов для сварки и наплавки, ООО «Орнитоф» (г. Запорожье) по разработке и применению новых методов напыления, ОАО «Высокогорский ГОК» (г. Н. Тагил) по внедрению упрочняющих технологий. Новую разработку — алмазно-твердосплавные

гранулы для наплавки износостойких покрытий — представил академик НАН Украины Н. В. Новиков. Сотрудники ИЭС им. Е. О. Патона В. И. Зеленин и П. М. Кавуненко познакомили участников семинара с новейшими разработками института в области сварки трением с перемешиванием и плазменно-дуговой металлизации.

Информационными спонсорами конференции выступили такие российские журналы, как «Упрочняющие технологии и покрытия», «Трение и смазка в машинах и механизмах» (издательство «Машиностроение», г. Москва), украинский журнал «Инструментальный світ». Члены редакционного совета журнала «Упрочняющие технологии и покрытия» проф. Ю. В. Панфилов и проф. С. А. Клименко провели презентацию журналов издательства «Машиностроение».

Тезисы заслушанных на конференции докладов вошли в изданный к началу работы сборник, кроме того, участники конференции получили предложение опубликовать материалы докладов в виде статей на страницах журналов-спонсоров.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины приступила к подготовке очередной 9-й Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», которая состоится в Ялте в конце мая 2009 г., и приглашает специалистов, интересующихся проблемами инженерии поверхности, ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, принять в ней участие.

В. И. Зеленин, канд. техн. наук,
С. А. Клименко, д-р техн. наук

УДК 621.791.009(100)

СВАРОЧНЫЙ МАЙ В РОССИИ

13-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «СВАРКА 2008»

в г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

С 21 по 24 мая в выставочном комплексе «Ленэкспо» прошла 13-я Международная выставка по сварке и родственным процессам «Сварка 2008», которая имеет уже почти 40-летний опыт и по праву считается одной из самых важных выставок на постсоветском пространстве. Ее популярность предопределена тем, что Санкт-Петербург является городом с огромным научно-промышленным потенциалом, крупнейшим центром судостроения и энергомашиностроения, а также признанным культурным центром.

Выставка организована «Ленэкспо» при содействии Министерства промышленности и энергетики РФ, Правительства Санкт-Петербурга, Альянса





сварщиков С.-Петербурга и Северо-Западного региона РФ, Национального комитета по сварке РАН, Институтов сварки России и Италии, Союза машиностроителей России, Российского научно-технического сварочного общества (РНТСО), Академии электротехнических наук и прошла в прекрасном суперсовременном павильоне площадью 9000 м².

В выставке приняли участие около 150 специализированных фирм, компаний, институтов, малых и крупных предприятий, торгующих организаций из



деяти стран ближнего и дальнего зарубежья (Австрии, Беларуси, Венгрии, Германии, Голландии, Италии, России, Украины и Чехии). Наиболее представительными на выставке были блок стендов из С.-Петербурга и Северо-Западного региона России (всего 58 стендов), Москвы и Московской области (37), различных регионов России (26). Среди них такие известные производители сварочного оборудования в России, как «Кавик», «Искра», ПКТБА, НПП «ФЕБ», «Уралтермосвар», «АЛМА-С», «ГРПЗ», НПП «Плазма», НИТИ «Прогресс», ИТЦ «Прометей», НПО «Сварка», ЗАО «Спецэлектромаш», ТЦ «Техносвар», ЗАО «Электрик-Микс», ЗАО «Кикерино-Электрик». Сварочные материалы были представлены в экспозициях Лосиноостровского электродного завода, ОАО «Межгосметиз-Мценск», ЗАО «Металлургия специальных сплавов», «Электродный завод» (г. С.-Петербург).

Украина на выставке была представлена Каховским заводом электросварочного оборудования (КЗЭСО), промышленно-торговым объединением

«СЭЛМА-ИТС», ИЭС им. Е. О. Патона, Ильницким заводом сварочного оборудования совместно с заводом «Артем-Контакт» (г. Киев), одесскими предприятиями «ЗОНТ» и «Техмаш», Краматорским предприятием «ДОНМЕТ», Винницкой компанией «Плазматек», Харьковским объединением «Коммунар», Кременчугской НПФ «Техвагонмаш».

Из мировых брендов, принявших участие в выставке, следует отметить «Абикор Бинцель» (московское представительство) «Кобелко Велдинг», «Мессер Каттинг энд Велдинг», «Полисуд С.А.С.» (мос-



ковское представительство), «ФАМ-Роботикс» (представительство в г. С.-Петербурге), ЭСАБ.

На выставке были представлены также экспозиции ряда ведущих научных центров РФ таких, как Институт сварки России (г. С.-Петербург), «ЦНИИ КМ «Прометей», «ЦНИИ технологии судостроения», НИТИ «Прогресс» (г. Ижевск).

Тематика выставки «Сварка 2008» традиционно включала демонстрацию достижений в области новых технологий, оборудования и материалов, полу-



чивших применение при сварке, резке, наплавке, пайке, термообработке и нанесении покрытий; разработки и производства систем вентиляции, кондиционирования воздуха, средств защиты сварщика и окружающей среды; создания специализированных видов оборудования и технологий. В условиях, когда, с одной стороны, наблюдается подъем российской экономики и промышленного производства и связанного с ним объема применения новейшей сва-



точной техники, материалов и технологий, а с другой — высокая износостойкость (на 70...90 %) парка сварочного оборудования во всех отраслях промышленности резко возрастает потребность в регулярном оперативном получении максимально полной информации о современных достижениях в области сварки и родственных процессов. Это предопределило высокую посещаемость выставки в течение всех четырех дней работы. Следует заметить, что значительную часть посетителей составляли руководители и главные специалисты предприятий из многих регионов России, Украины, Беларуси.

Выставка отразила тенденцию в расширении технологических возможностей роботов, применяемых в сварочном производстве. Так, на стенде фирмы «ФАМ-Роботикс» (Япония) было представлено разнообразие четырехосевых Scara-роботов (возможность круглосуточной работы конвейерной линии), декартовых роботов (увеличенный рабочий ход — до 2500 мм и высокая скорость — до 2000 мм/с), шестиосевых роботов, а также картезианских роботов компании «Shibaura Mechatronics Corporation» (практичная альтернатива многоосевым машинам). Значительное упрощение и удешевление последних достигнуто путем модульного принципа построения робота. Они могут быть оснащены как сварочным, так и режущим инструментом.

В области дуговой сварки перспективное направление продемонстрировала «Лаборатория электронных технологий» (г. Санкт-Петербург). Она является разработчиком и изготовителем профессиональных сварочных инверторных источников нового поколения на основе цифрового синтеза сварочного процесса и модульного построения их силовой части. Аппараты предназначены для стандартных процессов сварки (ММА, ТИГ, МИГ, МАГ) в диапазоне сварочных токов от 50 до 2000 А.

В области вспомогательных устройств и приспособлений следует отметить разработку фирмы «СЭЛМА» (г. Семферополь) новой конструкции кромкоскальвающей машины применительно к соединениям труб большого диаметра.

Среди новинок выставки — применение новых технологий обработки поверхности сварочных проволок взамен омеднения, улучшающих их подачу

в полуавтоматах и горение дуги. Такие возможности демонстрировали «Межгосметиз-Мценск» и ИТЦ «Прометей» (г. Чехов).

В последние годы в российских выставках активно участвуют компании, занимающиеся созданием автоматизированных транспортно-технологических комплексов, включающих как стандартное, так и специально разработанное специализированное оборудование для производства различных видов продукции, например, пищевого, химического или машиностроительного профиля. Так, на «Ленэкспо» такие возможности демонстрировали ООО «Квадрат СГ» (г. С.-Петербург), ООО «Контур» (г. Москва), ЗАО ПКТБА (г. Пенза) и др.

У стенда ИЭС им. Е.О.Патона царило особое оживление. Многие посетители интересовались современными разработками института в области дуговой, электронно-лучевой и контактной сварки, возможностями гибридных процессов сварки и сварки трением с перемешиванием, достижениями в области наплавки, а также сварки живых тканей. Было проведено ряд конкретных переговоров с российскими потенциальными заказчиками, которые высказывали пожелания сотрудничать с институтом на контрактной основе.

В период работы выставки в течение двух дней прошла Международная научно-техническая конференция «Передовые технологии, материалы и оборудование в сварке и родственных процессах».

Открыл конференцию Президент РНТСО д-р техн. наук О. И. Стеклов. Он кратко осветил состояние и перспективы развития сварочного производства в России, роль и место РНТСО в области технического регулирования. Докладчик, в частности, отметил, что отечественный сварочный рынок характеризуется высокой степенью владения абсолютно всеми известными в мировой практике технологиями получения неразъемных соединений, ежегодным выпуском 30000 ед. сварочного оборудования и 290000 т сварочных материалов. Сварочное оборудование в России выпускают 360, а сварочные материалы — 179 предприятий. Традиционно сварочное производство располагает высококвалифицированными специалистами, а подготовку



кадров осуществляют 129 кафедр высших учебных заведений и около 60 колледжей.

В докладе д-ра техн. наук З. А. Сидлина «Сварочные материалы — достижения и проблемы» акцент был сделан на ряде вопросов, имеющих хронический характер и требующих разрешения для повышения конкурентной способности российских материалов. К ним относятся: повышение стабильности качества сварочных материалов, улучшение ситуации в сырьевых и перерабатывающих отраслях, совершенствования систем повышения квалификации ИТР и рабочих основных специальностей, недопущение проявлений фальсификации недобросовестными изготовителями и продавцами, недостаток инвестиций в НИР.

В ряде докладов А. Zorzetto («Sol Welding», Италия), П. И. Зайффарта, Р. Гэдэ («Ingenieurtechnik und Maschinenbau GmbH, Росток»), В. А. Строганова («ARGUS», Россия), А. В. Владимирова, В. А. Хабужева (ООО «Лаборатория электронных технологий», Россия) были освещены современные разработки в области дуговой сварки. ЦНИИ КМ «Прометей» представил несколько докладов, в которых рассмотрены новые сварочные материалы для изготовления и ремонта газонефтепроводов из стали повышенной прочности (А. В. Баранов, П. В. Мельников, С. И. Шекин и др.), влияние внутренних дефектов в швах на работоспособность сварных соединений из титановых сплавов (А. В. Баранов, В. И. Михайлов, С. С. Ушков и др.). Были заслушаны также доклады специалистов Института сварки России, «ЦНИИ ТС», ЗАО «Совплим», ЗАО НПФ «ИТС», ИТЦ «Прометей» и др.

Всего на конференции было заслушано свыше 25 докладов. Аудитория слушателей насчитывала от 40 до 80 чел.

Подводя итог, следует отметить, что выставка в целом удалась. Она стала реальным инструментом развития и совершенствования промышленного производства, позволила обменяться обширной информацией, укрепила научное и деловое сотрудничество, позволила установить новые контакты, дала импульс творческим поискам.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

«СВАРКА, РЕЗКА, НАПЛАВКА»

С 27 по 30 мая в Москве в выставочном комплексе на Красной Пресне была проведена Международная выставка «Сварка, резка, наплавка», организованная уже второй год подряд немецкой компанией «Messe Essen» с участием «Мессе Дюссельдорф Москва» при сотрудничестве Немецкого сварочного общества (DVS) и Национального агентства контроля и сварки (НАКС, Россия).



В выставке приняли участие около 70 экспонентов из 11 стран (Великобритания, Германия, Китай, Италия, Испания, Россия, Словения, Турция, Финляндия, Франция). Наибольший блок экспонентов (28) представила Германия. Среди них такие известные фирмы, как «CLOOS Schweisstechnik» (автоматизированное и механизированное оборудование, промышленные роботы, машины для термической и электроэрозионной резки), «KUKA Sys-



tems (робототехника), «LORCH Schweisstechnik» (ведущий изготовитель сварочной техники для промышленного применения и автоматизации), «Kjelberg Finsterwalde Plasma» (машины для плазменной резки) и др. Экспозиции российских предприятий и организаций (всего 18) включали стенды «ГРПЗ» (источники питания дуговой сварки), «Лосиноостровского электродного завода» (покрытые электроды), НАКС (системы аттестации сварочного производства), «Совплим» (фильтровентиляционная тех-





ника), ТЦ «Тена», ООО «Шторм-ИТС» (торгующие организации) и др.

Характерными особенностями прошедшей в Москве выставки являются:

- расширение технологических возможностей оборудования для МАГ сварки и робототехники (использование лазера в качестве инструмента в роботах);

- использование для технологических целей оптоволоконных лазеров, изготовленных в НТО «ИРЭ-Полус» (г. Фрязино);

- расширение применения универсальных обрабатывающих центров, позволяющих проводить сверление отверстий, нарезание резьбы и последующую резку детали необходимой формы плазменной горелкой;

- широкое представительство производителей источников питания для дуговой сварки («Selco», «Fimer», «Lincoln Electric», «Kemppi», «ГРПЗ» и др.).

Украина на выставке была представлена стендами ИЭС им. Е. О. Патона и ООО «Торговый дом Ильницкий завод МСО и завод Артем-Контакт» (вращатели и колонны сварочные, столы сварщика, установки и станки для наплавки, плазменной резки и сварки, горелки для дуговой сварки, сварочные полуавтоматы).

Экспозиция ИЭС им. Е. О. Патона отличалась хорошим оформлением стенда, отображающим приоритетные разработки института. Наибольший интерес и стремление к сотрудничеству у посетителей вызвали следующие темы:

- ремонт и сварка лопаток авиационных двигателей из титановых и жаропрочных сплавов;

- сварки ленточных пил;

- новые технологии и материалы для нанесения покрытий в энергетическом машиностроении;

- технологии и оборудование для ЭЛС алюминевых и титановых сплавов;

- технологии диффузионной сварки разнородных материалов, в частности, бронзы и нержавеющей сталей; новые припои, не содержащие серебра;

- наплавка высоконагруженных деталей, работающих при давлениях до 1000 атм.

Во время проведения выставки состоялась однодневная международная конференция «Сварка — взгляд в будущее 2», организованная НАКС (Россия) и DVS (Германия). На ней было заслушано ряд докладов, имеющих концептуальный характер, в частности: «Современные исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области сварки и прочности конструкций» (академики Б. Е. Патон и Л. М. Лобанов), «Лучевые технологии для сварки легких конструкций» (чл.-кор. В. А. Лопота), «Новые цифровые технологии в сварке изделий ответственного назначения» (академик Н. П. Алешин), «Тенденции развития сварочных технологий» (д-р К. Миддельдорф), «Трубопроводы будущего» (д-р А. Гертнер), «Потенциал рынка сварочных технологий в России» (С. Чесне-Оссинг) и др.

Одновременно с выставкой «Сварка, резка, наплавка» проводились выставки «Металлообработка 2008», «Металлургия-Литмаш», «Трубы Россия 2008» и «Алюминий — Цветмет 2008». Это в зна-





чительной мере предопределило довольно высокую посещаемость выставок. Следует особо подчеркнуть превосходную организацию выставки, ее довольно высокий международный рейтинг. Российская Федерация относится к странам с интенсивно развивающейся экономикой. Аналитики предсказывают динамичное развитие страны в ближайшие годы прежде всего в таких сферах, как энергетика, автомобилестроение, авиационная промышленность, производство промышленного химического оборудова-

ния, машиностроения. Несмотря на то что по-прежнему Россия импортирует многие товары из-за границы, в России появляются новые производственные мощности и она остается в ближайшие годы привлекательным и интересным рынком для иностранных инвесторов.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук,
Н. Г. Третьяк, канд. техн. наук

В. Г. ПЕТУШКОВУ — 70



Исполнилось 70 лет со дня рождения известного ученого в области использования энергии взрыва для обработки материалов и конструкций, главного научного сотрудника ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, профессора, доктора технических наук Владимира Георгиевича Петушкова.

В. Г. Петушков родился 24 августа 1938 г. в Краматорске. После окончания в 1961 г. Киевского политехнического института работал на инженерных должностях в проектно-институте и на заводе радиоэлектронных приборов. С 1965 г. обучался в аспирантуре, а затем работал в Институте проблем прочности АН УССР, где им выполнен ряд исследований поведения механических свойств конструкционных материалов при высокоскоростном нагружении. Они послужили основой его кандидатской диссертации, посвященной исследованию механических свойств ряда металлических материалов при экстремально высоких скоростях деформации (до 10^5 с^{-1}).

В ИЭС им. Е. О. Патона В. Г. Петушков работает с ноября 1970 г. Здесь им выполнены систематические исследования воздействия взрывных нагрузок на сварные соединения металлов, он участвует в создании технологий обработки сварных металлоконструкций взрывом.

Разработанная в институте при непосредственном участии В. Г. Петушкова технология обработки взрывом оказалась намного эффективнее и дешевле традиционной термообработки в стационарных и

подвижных печах и позволила сэкономить время и средства при строительстве крупных промышленных объектов. Эта разработка обогнала время, и в странах Запада только сейчас поднимается интерес к тому, что давно было сделано в ИЭС. В 1983 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Создание научных основ технологии обработки взрывом сварных соединений металлоконструкций».

С 1978 по 2003 г. В. Г. Петушков руководил в ИЭС отделом сварки и резки металлов взрывом. Под его руководством в отделе развивались и совершенствовались различные виды обработок сварных металлоконструкций, позволяющих избежать их коррозионных, усталостных и хрупких разрушений, устранить изменения размеров в процессе эксплуатации, устранять дефекты изготовления. Успешно развивались исследования в области сварки и штамповки взрывом, упрочнения металлов, компактирования порошковых материалов.

За цикл работ по сварке взрывом и широкомаштабное промышленное применение этой технологии ему была присуждена Премия Совета Министров (1981), за работы в области обработки взрывом сварных соединений металлоконструкций — Государственная премия СССР (1985).

В настоящее время В. Г. Петушков в должности главного научного сотрудника ИЭС продолжает исследования процессов обработки металлов взрывом, решая новые задачи повышения надежности металлоконструкций и ремонтного восстановления тяжелонагруженных изделий.

В. Г. Петушков — автор более 220 научных работ и 140 патентов и изобретений. Его ученики, среди которых доктор и 15 кандидатов наук, успешно работают в Украине и странах СНГ.



С. Б. ЯКОБАШВИЛИ — 75



Известному грузинскому ученому в области сварки и родственных технологий, действительному члену Инженерной академии Грузии и академику Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы Созару Бидзиновичу Якобашвили — 75.

С. Б. Якобашвили в 1959–1963 гг. учился в Киеве, в аспирантуре ИЭС им. Е. О. Патона АН Украины по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». В 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию, получил ученую степень кандидата технических наук и был оставлен в этом же институте в должности старшего научного сотрудника.

В 1969 г. по конкурсу был переведен в Институт металлургии АН Грузии. В 1972 г. был назначен генеральным директором Тбилисского объединения электросварочного оборудования им. Е. О. Патона. В 1975 г. в ИЭС им. Е. О. Патона защитил докторскую диссертацию в области теории и технологии сварки и спецэлектрометаллургии.

В 1976 г. был переведен в Грузинский политехнический институт, где работал на должностях доцента, профессора, начальника отдела научно-исследовательских работ, заведующего кафедрой металлургии и технологии сварочных процессов и сварочной лабораторией. Параллельно в разное время работал директором Республиканского научно-инженерного центра Грузинского государственного комитета по науке и технике, генеральным директором совместного предприятия Болгарии и Грузии «Рионвелека», а с 1992 г. — директором объединения «Сварка» Министерства высшего образования Грузии.

Научная и практическая деятельность профессора С. Б. Якобашвили посвящена исследованию сварочных технологий, процессов, установок и новых материалов, внедрению полученных результатов на предприятиях различных отраслей. Им разработаны новые оригинальные методы определения поверхностного и межфазового натяжений расплавленного металла и шлака.

Совместно с сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона С. Б. Якобашвили разработаны различные свароч-

но-наплавочные материалы в виде порошковой проволоки, электродов и флюсов, на что получено более 65 авторских свидетельств и патентов.

Под руководством С. Б. Якобашвили, совместно с коллегами ИЭС им. Е. О. Патона разработаны и созданы циклоконверторные малогабаритные сварочные источники питания нового поколения, которые характеризуются высокими сварочно-технологическими показателями. Под его руководством создан полупродукт для производства сварочных флюсов, который изготовлялся путем утилизации отходов производства Зестафонского завода ферросплавов. Этим материалом успешно можно было заменять дефицитную марганцевую руду.

Разработки С. Б. Якобашвили были отмечены двумя первыми премиями ГКНТ и Министерства высшего образования Грузии. Он является также лауреатом Премии Совета Министров СССР.

С. Б. Якобашвили опубликовано более 260 научных трудов, в том числе две монографии, 5 учебников и 20 учебных пособий для вузов (один из которых издан в Болгарии). Под его руководством подготовлены и защищены 3 докторских и 9 кандидатских диссертаций.

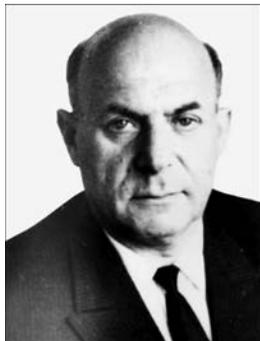
В 1989 г. по инициативе С. Б. Якобашвили была учреждена Ассоциация сварщиков Грузии, президентом которой он является по сей день. В 2002 г. по совместной инициативе с ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины был создан грузино-украинский международный научно-технический центр по сварке и родственным технологиям «Интервелд» им. Е. О. Патона. Одновременно С. Б. Якобашвили является председателем Государственной аттестационно-экспертной комиссии Грузии по сварке, членом совета металлургического факультета Грузинского технического университета и ученого совета по присуждению ученых степеней Института металлургии и материаловедения им. Ф. Н. Тавадзе АН Грузии, членом бюро и Представителем Грузии в Межгосударственном научном Совете стран СНГ по сварке и родственным технологиям, почетным членом Союза металлургов Балканских стран, одним из основателей и членом Международной ассоциации «Сварка». Он входил в состав Международного редакционного совета журнала «Автоматическая сварка».

Сердечно поздравляем юбиляров и от всей души желаем им крепкого здоровья, жизненной энергии, дальнейших творческих свершений, благополучия.

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



К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А. Е. АСНИСА



12 августа 2008 г. исполняется 100 лет со дня рождения видного ученого в области сварки и прочности, заслуженного деятеля науки и техники Украинской ССР, лауреата Государственных премий УССР, лауреата премии Совета Министров СССР, доктора технических наук, профессора Аркадия Ефимовича Асниса.

Свой замечательный трудовой путь А. Е. Аснис начал в 1934 году на Киевском паровозовагоноремонтном заводе после успешного окончания Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта. В 1938 г. в Академии наук УССР начинаются работы по созданию первых сварных железнодорожных вагонов, и по просьбе академика АН УССР Евгения Оскаровича Патона Наркомат путей сообщения перевел инженера А. Е. Асниса в институт для участия в решении этой научно-технической задачи. С этого времени А. Е. Аснис связал всю свою жизнь с Институтом электросварки им. Е. О. Патона. В тяжелые военные годы вместе с коллективом института он трудился на уральском заводе, непосредственно выполняя задания по созданию и производству боевой техники. После возвращения коллектива института в Киев канд. техн. наук А. Е. Аснис организовал лабораторию механических испытаний, где выполнял исследования по вопросам прочности сварных соединений. Ученая степень доктора технических наук была присуждена ему в 1963 г. после защиты диссертации по динамической прочности сварных конструкций из массовых малоуглеродистых и низколегированных сталей. В 1966 г. по поручению директора института академика Бориса Евгеньевича Патона А. Е. Аснис организовал научный отдел физико-механических исследований свариваемости конструкционных сталей, бессменным руководителем которого был до конца своих дней (1987 г.). В 1967 г., когда вышли в свет важнейшие публикации доктора техн. наук Асниса и уже сформировалась его научная школа, ему было присвоено научное звание профессора.

Главное направление научной деятельности А. Е. Асниса — проблемы прочности и материаловедческие вопросы обеспечения качества сварных конструкций и конструкционных материалов массового назначения — малоуглеродистых и низколегированных сталей, литых углеродистых сталей и чугунов, разработка и рациональное применение новых электродных материалов для ручной и механизирован-

ной сварки, перспективные способы и технологические процессы сварки в машиностроении и на транспорте, в котлостроении, металлургической, автомобильной и других отраслях промышленности для условий производства и ремонта тяжело нагруженных конструкций, деталей машин и механизмов, магистральных трубопроводов и резервуаров.

А. Е. Аснис оставил глубокий след в науке о сварке металлов и сплавов. Ему принадлежат оригинальные методы и методики испытаний сварных соединений и оценки их кратковременной и длительной прочности в условиях статического и динамического нагружения, научные основы создания и выбора хорошо свариваемых экономнолегированных и нечувствительных к старению сталей повышенной прочности, конструктивно-технологические меры снижения уровня напряженного состояния одновременно с уменьшением металлоемкости сварных конструкций. Им были разработаны технологические процессы ацетиленокислородной резки толстых листов для изготовления сварных танковых бронекорпусов и резки стали газами-заменителями ацетилена. В отделе А. Е. Асниса разработан способ повышения работоспособности сварных конструкций за счет устранения концентраторов напряжений путем аргонодуговой обработки сварных соединений вдоль границ швов, выполнены работы по созданию электродных проволок для механизированной сварки открытой дугой сталей на воздухе и под водой и тонкостенных чугунных изделий без предварительного подогрева.

Монографии А. Е. Асниса «Динамическая прочность сварных соединений из малоуглеродистых и низколегированных сталей» (1962) и «Повышение прочности сварных конструкций» (1985) и сегодня являются настольными книгами ученых, конструкторов и технологов производства. А. Е. Аснис — автор более 300 научных трудов и свыше 60 изобретений. Признанием научной деятельности профессора А. Е. Асниса, актуальности тематики, широты поиска и глубины исследований стало присвоение ему в 1981 г. звания заслуженного деятеля науки и техники УССР.

Ученик и соратник Е. О. Патона А. Е. Аснис своей деятельностью поддерживал традиции коллектива института по скорейшему внедрению разработок в производство. Государство и научная общественность по достоинству оценили эти устремления и усилия. Его труд дважды отмечен присвоением звания лауреата Государственной премии УССР за разработку и широкое внедрение в народное хозяйство полуспокойных сталей вместо спокойных (1972) и за достижения в области подводной сварки и резки сталей и сплавов (1982). В 1980 г.



за разработку и строительство резервуаров большой емкости (50 тыс. куб. м) из рулонированных конструкций А. Е. Аснису присуждена Премия Совета Министров СССР. Он был награжден орденом Трудового Красного Знамени и медалями.

Как настоящий ученый-организатор А. Е. Аснис уделял большое внимание воспитанию научных кадров. Под его руководством подготовлено более 20 кандидатов и докторов наук. Большие усилия приложены им в части создания и развития новых научных направлений. В отделе А. Е. Асниса был организован ряд лабораторий: прочности и механических испытаний сварных соединений, ползучести, подводной сварки, электрошлаковой сварки, дуго-

вой сварки конструкционных чугунов, аттестации и сертификации в сварочном производстве.

Все, кто хорошо знал А. Е. Асниса и тесно сотрудничал с ним, его ученики и последователи бережно хранят в памяти образ этого исключительно трудолюбивого и широко эрудированного человека, с благодарностью помнят замечательные черты характера Аркадия Ефимовича — порядочность и интеллигентность, благородство и скромность, доброжелательность и отзывчивость.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия журнала

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



ГЕФЕСТ™

тел./факс: (044) 200-88-33

ЭЛЕКТРОДЫ

e-mail: gefestsv@gmail.com
г. Киев, ул. Боженко, 11

Производство высококачественных электродов для:

- ☛ Сварки высоколегированных сталей
- ☛ Сварки теплоустойчивых сталей
- ☛ Наплавки слоев со специальными свойствами
- ☛ Сварки чугуна и меди
- ☛ Изготовление на заказ необходимых Вам марок

www.gefest-sv.com.ua
**Все марки электродов
СЕРТИФИЦИРОВАНЫ**

ГЕФЕСТ™

ОАО "ЗОНТ"

ПРОИЗВОДСТВО:
МАШИН ФИГУРНОЙ ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ "АСШ-70М";
МАШИН ДЛЯ МИКРОПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ "МЕТЕОР";
МАШИН ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ "КОМЕТА М";
МАШИН ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ "МАРИНА";
МАШИН ПЛАЗМЕННОЙ И ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ С ЧПУ ДЛЯ ФИГУРНОЙ РЕЗКИ ТРУБ;
ПЕРЕНОСНЫХ ГАЗОРЕЖУЩИХ МАШИН "РАДУГА";
НАСОСОВ, ТЕПЛОБМЕННИКОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ.

ПОСТАВКА
ИСТОЧНИКОВ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ.
КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И
МОДЕРНИЗАЦИЯ
МАШИН ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА.

**В
Т
О
Г
Е
Н
М
А
Ш**



ОАО "ЗОНТ" (ТОРГОВАЯ МАРКА «АВТОГЕНМАШ»)
65104, УКРАИНА, Г. ОДЕССА, ПР-Т. МАРШАЛА ЖУКОВА 103.

Т. + 38 (048) 717-00-50, E-MAIL: OAOZONT@ZONT.COM.UA
715-69-40, WWW.ZONT.COM.UA
Ф. +38 (048) 715-69-50 WWW.AUTOGENMASH.COM

ОАО «ЗАПОРОЖСКОЕ СТЕКЛОФЛЮС»

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 стеклоизделий» — один из крупнейших в Европе производителей сварочных флюсов.

На предприятии внедрена система управления качеством с получением Сертификатов «DVS ZERT e.V.» на соответствие требованиям стандарта DIN EN ISO 9001:2000, а также НТЦ «СЕПРОЗ» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001:2001.

Продукция завода сертифицирована в УкрСЕПРО, Системе Российского Морского регистра судоходства, Госстандартом России, TÜV Nord.

Флюсы сварочные
♦ ГОСТ 9087-81 ♦ ТУ У 05416923.049-99
♦ ГОСТ Р 52222-2004 ♦

♦ АН-348А ♦ АН-348АМ ♦ АН-348АП ♦ АН-348АЦ ♦
♦ АН-47 ♦ АН-47Д ♦ АН-47АП ♦ ОСЦ-45
♦ АНЦ-1А ♦ АН-60 ♦

15 лет на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

- Электрогазосварочное оборудование
- Горелки к полуавтоматам
- Электрододержатели
- Пусконаладочные работы
- Ремонт сварочного оборудования, в том числе сложного
- Технологическое обеспечение сварочных процессов
- Автоматизированные сварочные линии и комплексы
- Проволока алюминиевая марки Al Mg 5 \varnothing 1,2 мм, Al Si 5 \varnothing 1,2 мм




тел. (061) 233 1058, 34 3623,
(061) 213 2269, 220 0079
Сервисный центр: (061) 270 2939

ABICOR
BINZEL

Fronius

SEUMA

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

ABB - сердце робототехники



Робототехнические комплексы для дуговой сварки

Робототехнические комплексы для контактной сварки



Роботизация всего производственного цикла

Роботизированные заводы "без людей"

ABB 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



ООО «ЦЕНТР ПРОМЫШЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ»

Предоставляет качественно и в полном объеме на территории Украины следующие услуги:

- ➔ контроль качества сварных соединений РГК, УЗН, ВНК, ЦД, МПД, герметичность, стилоскопирование, замер твердости, механические испытания и лабораторные исследования;
- ➔ термообработка сварных соединений радиационным и индукционным методом;
- ➔ геодезическое обеспечение монтажно-строительных работ;
- ➔ аттестация персонала по контролю качества сварных соединений на АЭС.

«Центр» имеет все разрешительные документы и лицензии, необходимые для предоставления данных услуг на объектах НАЭК — Энергоатом и Госнадзорхрантруда.



Тел./факс: (38 044) 499 65 72; тел.: (38 044) 499 65 71
Моб. тел.: (8 050) 334 82 46; (8 050) 334 82 24

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. Курсантская, 1
г. Днепродзержинск
49051, Украина

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



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
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@arcsel.dn.ua; www.arcsel.dn.ua



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



**ТОРГОВИЙ ДІМ
ЗВАРЮВАННЯ**

03680, г. Киев, Украина, пр-т Глушкова, 1, пав. №21,
тел./факс: (+380 44) 596-93-70, 596-93-76, 596-93-75, 596-92-20,
e-mail: house@welding.kiev.ua, eduardch@ukr.net



ГП «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины»

Производство материалов для дуговой сварки, наплавки и резки:

Электроды — АНО-4, АНО-4И, АНО-6, АНО-6У, АНО-12, АНО-21, АНО-21М, АНО-21У, АНО-27, АНО-36, АНО-37, МР-3, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, ВН-48, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, ТМА-1У, ТМА-3У, ЦУ-5, ТМУ-21У, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭА-395/9, ЭА-400/10У, ЦЧ-4, Комсомолец-100, Т-590, АНР-2

Порошковые проволоки — ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН69, ПП-АН70М, ПП-АНВ2У, ПП-НnX25П4Н3Т, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

Флюсы плавные — по ГОСТ 9087-81, а также АН-М13, АН-25, АН-72

Флюсы керамические — АНК-40, АНК-47А, АНК-57, АНК-565

Возможно изготовление других марок материалов

04112, Украина **Тел.: (044) 456-64-95**
г. Киев-112 **456-63-69**
ул. О. Телиги, 2 **Факс: (044) 456-64-95**
456-63-08



машины для газокислородной и плазменной резки
Точная и качественная резка деталей и заготовок из листового металла



Газокислородная резка:	Плазменная резка:
→ в диапазоне толщин 5 ... 600 мм	→ в диапазоне токов 15 ... 1000 А
→ многорезаковая резка	→ в диапазоне толщин 0,5 ... 130 мм
→ со скосом кромок под сварку	→ двухгазовая
→ резка слэбов и заготовок	→ высокой плотности
	→ водоинжекционная
	→ надводная и подводная

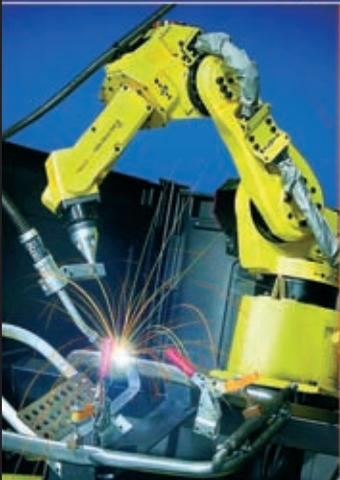
От сложных комплексов «под ключ» до недорогих комплексов для предпринимателей

НПП «УСХМАШ», ул. Промышленная, 14, г. Одесса, 65031
Тел./факс: +38 (048) 778-17-38; 778-17-45; 778-08-90; 728-06-08
E-mail: marketing@techmach.com.ua; tm@%net.ua



Automatic machines and robots for arc welding

Автоматические установки и роботы для дуговой сварки



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА

Украина, 03056, Киев, ул. Полевая, 24
Тел.: +38 044 456-40-20
Факс: +38 044 456-83-53
<http://www.navko-teh.kiev.ua> E-mail: info@navko-teh.kiev.ua



Завод автогенного оборудования

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



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

Подписано к печати 15.07.2008. Формат 60×84/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 9,04. Усл. кр.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24 + 4 цв. вклейки.

© Автоматическая сварка, 2008

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