



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

Ю. С. Борисов, В. Ф. Грабин,
А. Т. Зельниченко,
А. Я. Ищенко, И. В. Кривцун,
С. И. Кучук-Яценко,
Ю. Н. Ланкин,
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:
А. И. Сулима, И. С. Баташева,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков,
Л. Н. Герасименко

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

Патон Б. Е., Ищенко А. Я., Устинов А. И. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники 5
Цыбулькин Г. А. Стабилизация скорости плавления электрода при роботизированной дуговой сварке 13
Кункин Д. Д. Система управления процессом сварки ТИГ сталей малой толщины 17
Хохлова Ю. А., Чайка А. А., Федорчук В. Е. Механизм влияния скандия на структуру и механические свойства ЗТВ соединений алюминиевого сплава В96, полученных дуговой сваркой 20

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Хаскин В. Ю. Процессы упрочнения и нанесения покрытий с использованием лазерного излучения (Обзор) 24
Ковальчук В. С. Определение циклической долговечности материалов и сварных соединений при поличастотном нагружении 33
Кривчилов С. Ю. Повышение триботехнических характеристик наплавленных чугуновых коленчатых валов автомобилей 40

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Письменный А. С., Швеи В. И., Кучук-Яценко В. С., Кислицын В. М. К вопросу пайки металлов порошковыми припоями различной дисперсности 43
Диссертации на соискание ученой степени 45
Изобретения стран мира 47
По зарубежным журналам 50

ХРОНИКА

Технический семинар специалистов по сварке в г. Симферополе 52
Конференция «Пайка-2008» в Тольятти 54
Вручение академику Б. Е. Патону диплома почетного доктора Словацкого технического университета 55
Наши поздравления (О. М. Иванцову, В. Н. Шлепакову, Н. В. Скорине) 56
Памяти С. Б. Якобашвили 59

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей за 2008 г. 60
Указатель авторов 64
Программы профессиональной подготовки на 2009 г. 66

Avtomaticheskaya Svarka

(Automatic Welding)

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

№ 12 (668)
December 2008
Published since 1948

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

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

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

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

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

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

Editors:

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

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

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

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

CONTENTS

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

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

<i>Paton B. E., Ishchenko A. Ya., Ustinov A. I.</i> Nanotechnologies of permanent joining the advanced light metallic materials for aerospace engineering	5
<i>Tsybulkin G. A.</i> Stabilization of electrode melting rate in robotic arc welding	13
<i>Kunkin D. D.</i> System of control of process of TIG welding of small-thickness steels	17
<i>Khokhlova Yu. A., Chaika A. A., Fedorchuk V. E.</i> Mechanism of scandium effect on structure and mechanical properties of HAZ of aluminium alloy V96 joints produced by arc welding	20

INDUSTRIAL

<i>Khaskin V. Yu.</i> Processes of strengthening and coating deposition using laser radiation (Review)	24
<i>Kovalchuk V. S.</i> Determination of cyclic life of materials and welded joints at poly-frequency loading	33
<i>Krivchikov S. Yu.</i> Improvement of tribotechnical characteristics of hard-faced cast iron crankshafts of automobiles	40

BRIEF INFORMATION

<i>Pismennyi A. S., Shvets V. I., Kuchuk-Yatsenko V. S., Kislitsyn V. M.</i> Towards the problem of metal brazing with powdered brazing alloys of various dispersity	43
Theses for scientific degree	45
Inventions of all over the world	47
Review of foreign journals	50

NEWS

Technical seminar of specialists on welding in Simferopol	52
Conference «Brazing-2008» in Toliatti	54
Awarding the diploma of Honorary Doctor of Slovakian Technical University to academician Paton B. E.	55
Our congratulations (to O. M. Ivantsov, V. N. Shlepakov, N. V. Skorina)	56
In memory of S. B. Yakobashvili	59

INFORMATION

Index of articles for 2008	60
Index of authors	64
Programs of professional training for 2009	66

СВАРОЧНЫЙ ПОЛУАВТОМАТ SMIT CASE X-TREME 12VS

Фирма «Miller» (Германия) для работы в экстремальных условиях (в строительстве, тяжелом машиностроении, кораблестроении) предлагает полуавтомат для МИГ сварки сплошной и самозащитной порошковой проволокой с использованием источника питания с функцией CV (постоянное напряжение).



Полуавтомат имеет оригинальный дизайн и исключительные технические характеристики:

- полипропиленовый корпус со встроенными направляющими и возможностью открытия крышки для замены сварочной проволоки сплошной диаметром 0,6...2,0 и самозащитной порошковой 0,8...2,0 мм в вертикальном положении;

- компактная и выдвижная основная печатная плата, рассчитанная на работу в самых суровых условиях, обеспечивает исключительную надежность. Она полностью изолирована от пусковой цепи, поэтому нажатие курка на сварочном пистолете не влияет на работу устройства подачи сварочной проволоки;

- благодаря технологии Sun-Vision показания приборов хорошо видны даже под прямыми лучами солнца;

- детали полуавтомата, находящиеся в процессе сварки под напряжением, изготовлены из

высокопроводного и жаропрочного сплава, позволяющего выполнять сварку током 425 А при 60 % рабочем цикле;

- для удобства эксплуатации управление фиксацией курка, подачи сварочной проволоки (1,3...19,8 м/мин) и газа выведено на переднюю панель;

- различный диапазон рабочих напряжений (14...48 В) позволяет исключить прерывание дуги и использовать сварочную проволоку различного диаметра;

- клапан с двойной фильтрацией CO₂ предотвращает ухудшение подачи газа;

- отличный пуск и стабильная дуга при работе с любым типом и размером сварочной проволоки с источником питания как с функцией СС, так и с функцией CV.

Входные напряжения составляют 110 В, масса — 15,9 т.

КРУПНЕЙШИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ ЗСО «УРАЛТЕРМОС- ВАР» ГОТОВИТ К СЕРИЙНОМУ ВЫПУСКУ

**Агрегат сварочный АДБ-251
УРАЛ**, отличающийся:



- малыми габаритами;
- бензиновым двигателем Honda GX-670 (24 л. с., 2 цилиндра);

- сварочным током 250 А при ПН-100 %;

- чопперным регулированием сварочного тока;

- форсированием тока короткого замыкания;

- безопасным напряжением холостого хода;

- плавным дистанционным регулированием тока от 25 до 250 А;

- вспомогательным электропитанием 3 кВ, 220 В, 50 Гц.

Агрегат сварочный АДДУ-2х4001 с универсальными характеристиками, отличающийся:



- 2 независимыми постами по 400 А (ПН-60 %) для ручной дуговой (ММА) или механизированной (МИГ/МАГ) сварки;

- «горячим стартом», «защитой от прилипания», форсированием тока короткого замыкания;

- безопасным напряжением холостого хода;

- плавным дистанционным регулированием тока;

- предпусковым подогревателем;

- вспомогательным генератором 8 кВт, 220 В, 50 Гц;

- степенью защиты от воздействия окружающей среды IP23.

Агрегат сварочный АДД-2х2501В (06Б) Урал с чопперным регулированием, отличающийся:

- 2 независимыми постами по 250 А (ПН-60 %) для ручной дуговой (ММА) сварки;

- чопперным регулированием сварочного тока;

- форсированием тока короткого замыкания;

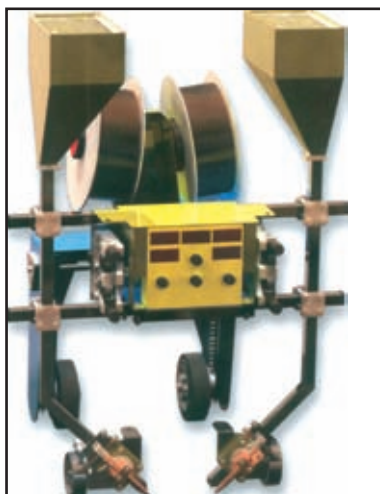
- безопасным напряжением холостого хода;

- плавным дистанционным регулированием тока каждого поста от 25 до 250 А;

- вспомогательным генератором 4 кВт, 220 В, 50 Гц;

- двигателем Д-243;
- предпусковым подогревателем;
- степенью защиты от воздействия окружающей среды IP23.

Тракторы сварочные АДФ-1000 Урал и АДФ-2х1000 Урал (двухдуговой), отличающиеся:



- микропроцессорным управлением;
- независимым приводом подачи проволоки и перемещения трактора;
- плавным регулированием скоростей и напряжения на дуге;
- хранением настроенных режимов в памяти блока управления.

Поддающий механизм Урал-4 для механизированной сварки, отличающийся:



- компактным размером;
- малой массой;
- микропроцессорным управлением.

ОРБИТАЛЬНАЯ СВАРОЧНАЯ ТЕХНИКА

Немецкая фирма ORBITATIS благодаря своей инновационной технике, ориентиро-



Орбитальный сварочный аппарат ORBIMAT 165C BASIC

ванной политике и философии создания заняла лидирующее положение на рынке Германии в секторе систем ВИГ орбитальной сварки. Автопрограммирование делает возможным простое установление параметров сварки при вводе диаметра трубы, толщины стенки, используемого материала и сва-



Сварочные щипцы

точного газа. Сварочный аппарат автоматически выбирает подходящую программу. После выяснения параметров они могут совершенствоваться пользователем еще сколько угодно раз и индивидуально для каждого.

Во время работы сварочный процесс может разделяться на множество секторов и сварочные параметры могут быть оптимизированы на соответствующую сварочную позицию. Обслуживание и программирование происходит на большом мониторе.

Все сварочные аппараты ORBITATIS могут комбинироваться с каждой сварочной головкой и каждым сварочными щипцами из программы ORBITATIS.

Стабильный транспортный чемодан с колесиками доступен как оснастка.

Все сварочные аппараты

предусматривают, кроме ввода параметров в них, также вторичность учета дополнительных сведений к каждой сварочной программе, такие, как ввод текста для программной идентификации, имен сварщиков, сварочного газа и т. д. Кроме того, системы ORBI-



Сварочная головка

MATIC содержат обширное разнообразие в сварочной документации данных. Распечатывать данные сварочных протоколов можно с помощью интегрированного маленького принтера, а также стандартного принтера.

Доступен также опциональный софт/аппаратный пакет, с которым можно переносить данные на внешний персональный компьютер, а затем конвертировать в WORD или EXCEL файлы. Для повышения продуктивности используется для всех сварочных аппаратов ORBITATIS двойной присоединительный бок ORBITWIN, с помощью которого можно присоединить одновременно 2 разные сварочные головки или щипцы. Простым нажатием стартовой кнопки автоматически будет вызвана до того сгенерированная для подключения сварочного инструмента сварочная программа, а затем начнется сварка материала. Не находящаяся в сварочном процессе сварочная головка полностью изолирована от процесса и может оснащаться уже следующими сварочными частями.



ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ НЕРАЗЪЕМНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛЕГКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Академик НАН Украины **Б. Е. ПАТОН**, чл.-кор. НАН Украины **А. Я. ИЩЕНКО**,
А. И. УСТИНОВ, д-р физ.-мат. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены возможности получения соединений в твердой фазе новых конструкционных квазикристаллических и интерметаллидных сплавов, алюмокомпозитов и наноматериалов способами диффузионной сварки и сварки трением с перемешиванием с использованием наноструктурных присадок. Показано, что эти способы сварки позволяют получать неразъемные соединения трудносвариваемых материалов, применяемых при изготовлении изделий аэрокосмической техники, деталей газотурбинных двигателей, электротехнических и теплообменных установок, при ремонтных и восстановительных работах.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, алюмокомпозиты, квазикристаллические сплавы, интерметаллидные материалы, свариваемость, неразъемное соединение, соединение в твердой фазе, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, диффузионная сварка, сварка трением с перемешиванием, наноструктура, механические свойства, сварные конструкции, аэрокосмическая техника

В начале XXI века возникла необходимость коренного повышения научно-технического уровня экономики во всем мире. Для решения этой задачи требуется проведение обширных научных исследований, а также массовое внедрение новых прогрессивных технологий в промышленное производство. Согласно прогнозам многих авторитетных организаций, приоритетными являются работы в области создания наноматериалов и нанотехнологий. Именно они в числе прочих будут способствовать существенному повышению эффективности производства в таких сферах, как машиностроение, энергетика, строительство, сельское хозяйство, медицина и др.

К настоящему времени для производства конструкций аэрокосмической техники уже разработаны новые легкие алюминиевые сплавы и композиционные материалы с исключительными свойствами, обусловленными квазикристаллической или нанодисперсной структурой полуфабрикатов [1, 2]. Следует отметить, что при обычных способах сварки осуществляется нагрев металлических материалов до температуры, которая обеспечивает их расплавление или активацию диффузионных процессов в зоне соединения. В случае использования наноструктурных композиционных материалов, сплавов на основе интерметаллидных соединений и других высоколегированных сплавов нагрев до высокой температуры приводит к необратимым структурным превращениям [3] и деградации первоначальных физико-ме-

ханических свойств материала [4]. В связи с этим актуальной является проблема снижения температуры и сокращения продолжительности процесса формирования швов с целью сохранения исходной структуры и уровня свойств материала в зоне соединения. Среди различных современных способов сварки заслуживают более широкого применения процессы соединения в твердой фазе, т. е. без расплавления металла. К ним относятся прежде всего диффузионная сварка и сварка трением с перемешиванием [5].

Идея решения такой задачи в целом базируется на том, что температуру процесса соединения в твердой фазе можно снизить, если в качестве сварочных присадок применить быстрокристаллизующиеся аморфизированные гомогенные ленты [6] или композиционные тонкопленочные материалы с нанослойной структурой [1]. В таких материалах вследствие неравновесного состояния тонкой структуры имеет место существенное снижение температуры, при которой интенсивно протекают диффузионные процессы. Формированию доброкачественных соединений способствует использование многослойных наноструктурных пленок, которые состоят из металлов, вступающих в экзотермическую реакцию синтеза интерметаллидных соединений.

Рассмотрим ряд конкретных примеров использования нанослойных присадок и результаты работ, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона в этой области применительно к легким материалам аэрокосмического назначения.

Для соединения в твердой фазе жаростойких материалов, включая интерметаллидные сплавы, в качестве сварочных присадок разработаны и используются тонкие наноструктурные фольги из многослойных композиций различных металлических элементов Ti/Al, Ni/Al, Cu/Al и др. В основе их производства лежит процесс послойной

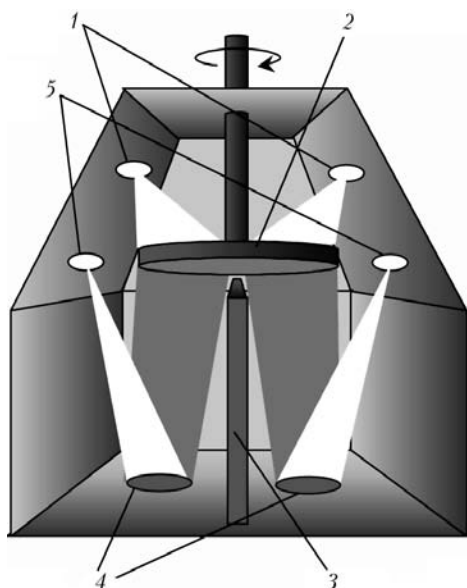


Рис. 1. Схема процесса электронно-лучевого осаждения конденсатов с многослойной структурой: 1 — электронно-лучевые источники (пушки) для нагрева; 2 — подложка; 3 — разделительный непроницаемый экран; 4 — тигли для испарения; 5 — электронно-лучевые пушки для испарения

консолидации элементов из паровой фазы с использованием электронно-лучевой вакуумной технологии (рис. 1). Технология осаждения дает возможность регулировать процесс образования слоистых структур в широком диапазоне толщин отдельных слоев — от нескольких нанометров до десятка микрометров (рис. 2, а).

При нагреве наноструктурные фольги склонны к реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) интерметаллидных соединений, которая протекает очень быстро и характеризуется экзотермическим эффектом. Необходимым условием для соединения материалов без расплавления за счет активации диффузионных процессов в твердом состоянии является устойчивое протекание реакции СВС. Как показал опыт, для этого необходимо применять многослойные фольги толщиной более 30 мкм (рис. 2, б).

Диффузионное соединение микродисперсного высокопрочного алюмокомпозита системы $AMg5+27\% Al_2O_3$ с применением прослоек из наноструктурных многослойных фольг оказалось более эффективным по сравнению с дуговой сваркой [4]. В металлической матрице этого материала содержится большое количество упрочняющей фазы в виде нерастворимых частиц оксида алюминия, и поэтому он является труднообрабатываемым и трудносвариваемым. На рис. 3, а представлена структура композита в исходном состоянии, отличающаяся комплексом ценных свойств: высокими удельным модулем упругости, прочностью при комнатной и повышенных температурах, износостойкостью, низким коэффициентом линейного расширения. Этот материал широко

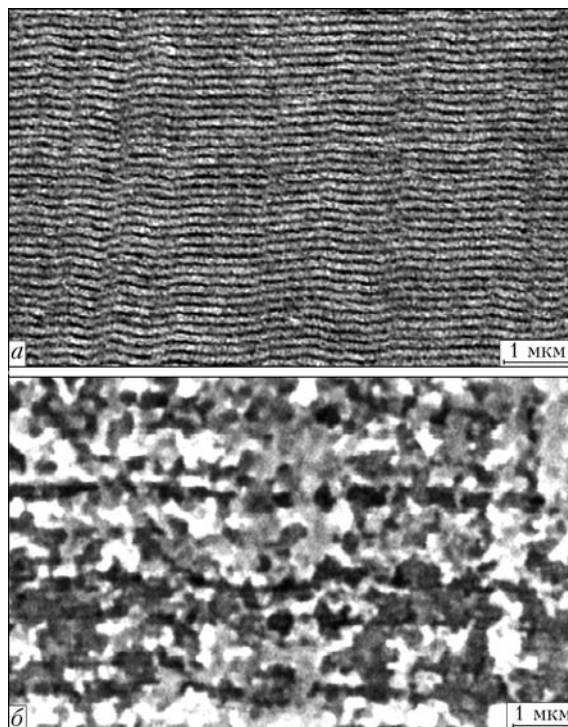


Рис. 2. Микроструктура многослойного наноструктурного конденсата Ni/Al, полученного электронно-лучевым паровым способом в вакууме, в исходном состоянии (а) и после реакции СВС при температуре 500 °С (б)

применяют в изделиях для авиакосмической техники и транспортного машиностроения.

Выполнение сварки плавлением рассматриваемого алюмокомпозита затруднена ввиду повышенной вязкости металла сварочной ванны и склонности к агломерации армирующих частиц Al_2O_3 . Образующиеся в шве конгломераты упрочняющих частиц приводят к снижению прочности и коррозионной стойкости полученных соединений [7]. При диффузионной сварке в условиях более низких температур сегрегация частиц упрочнителя и химические реакции между составляющими композитного материала практически отсутствуют. В связи с этим предпочтительнее твердофазный способ соединения микродисперсного композита на основе алюминия, упрочненного керамическими частицами Al_2O_3 [8]. Прочность швов при обычной диффузионной сварке с использованием однослойной пластичной алюминиевой фольги не превышает 50...60 % прочности основного материала (рис. 3, б).

Для активизации процесса диффузионной сварки и повышения прочности швов использованы промежуточные прослойки (присадки) из многослойных наноструктурных фольг двух типов — Ti/Al и Cu/Al (рис. 4), первая из них имела толщину от 60 до 150 мкм при толщине составляющих нанослоев никеля и алюминия от 50 до 500 нм и соответствовала стехиометрическому составу интерметаллидного соединения Ni_3Al , а вторая примерно

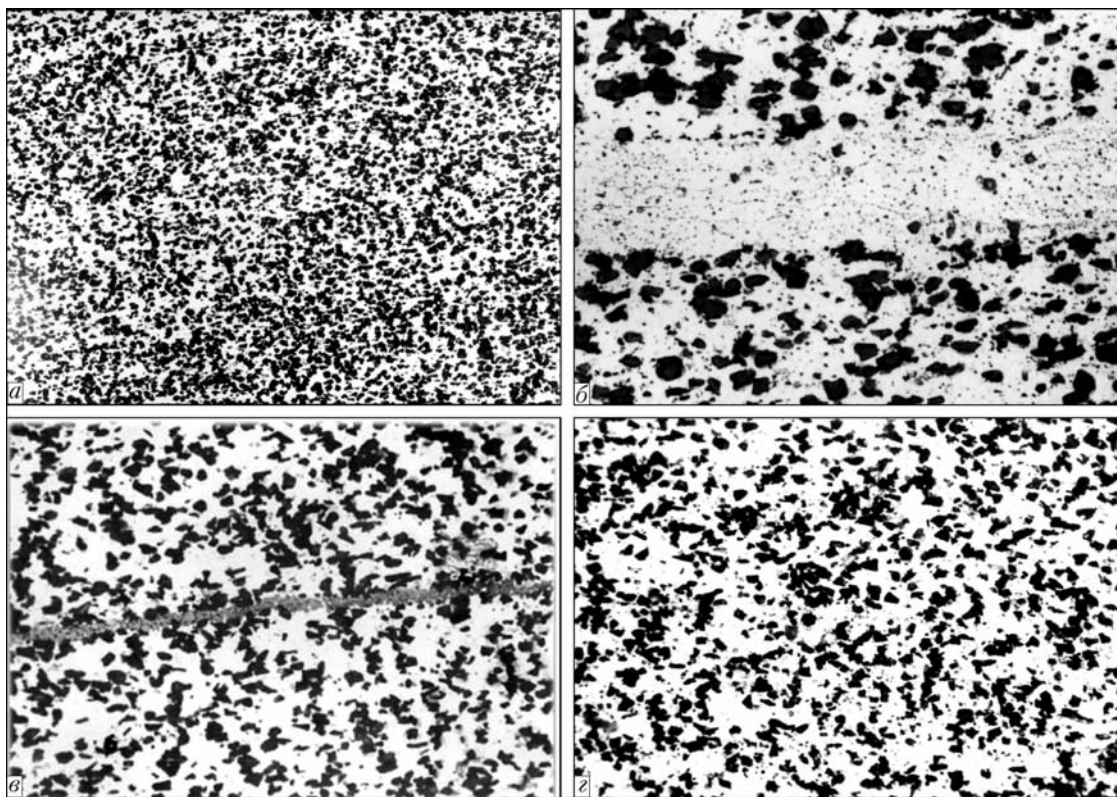


Рис. 3. Микроструктура основного металла — композита AMr5+27 % Al_2O_3 (а) и неразъемных его соединений, полученных диффузионной сваркой с использованием однослойной алюминиевой прослойки (б), а также многослойной наноструктурной фольги, соответствующей интерметаллидному составу Ni_3Al (в) или эвтектической композиции $\text{Al} + 33\% \text{Cu}$ (з): а, $\times 200$; б–з, $\times 400$

такой же толщины соответствовала составу эвтектики $\text{Al}+33\% \text{Cu}$ [9].

Установлено, что замена прослойки обычного алюминия (базовый вариант) на фольгу из нанослойных конденсатов позволяет снизить температуру сварки композита на $80\ldots 100^\circ\text{C}$, обеспечить качественное формирование неразъемного соединения при меньшем сварочном давлении, которое не вызывает заметной макропластической деформации в свариваемых материалах. При использовании фольги композиции Cu/Al отмечается также полное растворение присадки в зоне соединения (см. рис. 3, в, з). При этом прочность металла швов повышается до уровня основного металла (рис. 5). Коэффициент прочности соединения составляет $0,87\ldots 0,90$.

Диффузионная сварка интерметаллидного сплава на основе алюминида титана $\gamma\text{-TiAl}$ с использованием прослоек из многослойных фольг наноструктурных Ti/Al , Ni/Al , Ti/Ni является практически реальным и эффективным способом соединения перспективных жаропрочных материалов [10–12]. В качестве примера рассмотрим интерметаллидный сплав $\text{Ti}-48\text{Al}-2\text{Nb}-2\text{Mn}$ (ат. %), работающий при $700\ldots 1100^\circ\text{C}$, т. е. значительно выше температуры, при которой работают современные титановые суперсплавы ($T \leq 600^\circ\text{C}$) [13]. Это позволяет применять указанный сплав для газотурбинных двигателей, обшивки лета-

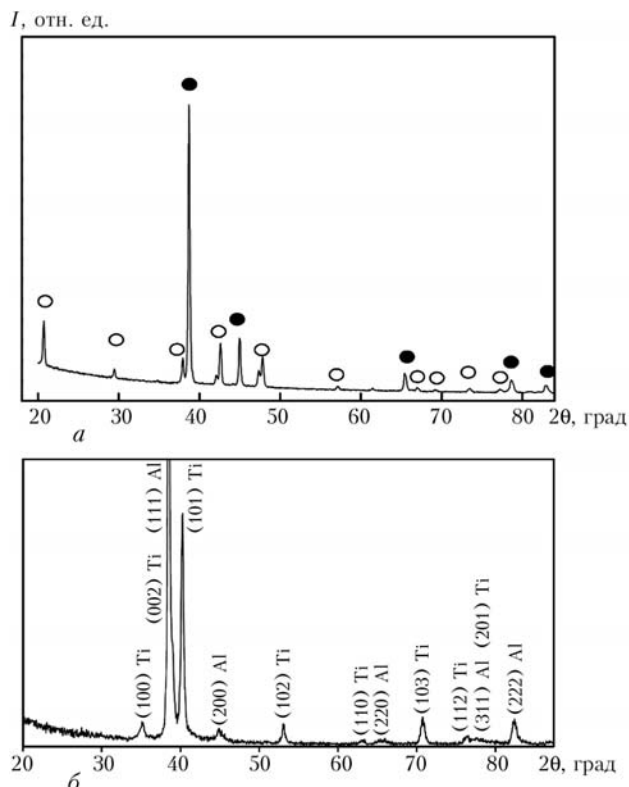


Рис. 4. Спектры рентгеновской дифракции фольг интерметаллида $\gamma\text{-TiAl}$ (а) и нанодисперсной эвтектической композиции $\text{Al}+33\% \text{Cu}$ (б): ● — Al ; ○ — Al_2Cu ; I — интенсивность излучения; θ — угол дифракции

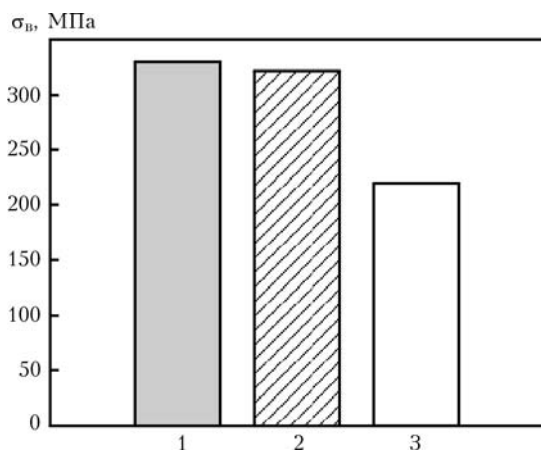


Рис. 5. Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$ основного металла (1) и соединений алюмокомпозиата $\text{AMg5}+27\% \text{Al}_2\text{O}_3$, полученных диффузионной сваркой с использованием нанослойной фольги системы Al-Cu (2) и однослойной алюминиевой ленты (3)

тельных аппаратов, деталей силового набора изделий авиакосмической техники и др. Сплавы на основе $\gamma\text{-TiAl}$ легкие (плотность $3,8...4,0 \text{ г/см}^3$) и стойкие к окислению при температуре до $900...1000^\circ\text{C}$. Их модуль упругости при комнатной температуре составляет $160...175 \text{ ГПа}$, при $900...1000^\circ\text{C}$ снижется до 150 ГПа . Промышленное использование указанного материала сдерживается его низкой пластичностью при обычной температуре ($\delta = 0,1...0,5\%$). Обрабатываемость полуфабрикатов затруднена по причине высокого сопротивления материала деформированию.

В исходном состоянии в сплаве Ti-48Al-2Nb-2Mn (ат. %) формируется полностью ламельная структура, которая представлена практически равноосными зёрнами размером $60...120 \text{ мкм}$ с пластинами (ламелями) γ - и α -фазы, имеющими в пределах каждого зёрна различную ориентацию. На фоне ламельной структуры образуются равномерно распределенные в объеме матрицы дисперсные включения с повышенным содержанием

ниобия. Микротвердость сплава составляет $3000...4000 \text{ МПа}$.

Неразъемные соединения узлов из этого материала получены диффузионной сваркой в вакууме с использованием многослойных фольг Ti/Al , Ti/Ni , Ni/Al общей толщиной от 10 до 20 мкм путем послойного осаждения из паровой фазы отдельных наноразмерных слоев соответствующих компонентов с помощью электронно-лучевой технологии. Сварку выполняли на установке У-394, предназначенной для диффузионной сварки и оборудованной кольцевым электронно-лучевым нагревателем заготовок. Равнопрочные соединения с благоприятной структурой получены с использованием нанослойной фольги Ti/Al общей толщиной 20 мкм на следующем режиме сварки: температура сварки $T_{\text{св}} = 1200^\circ\text{C}$; время сварки $\tau = 20 \text{ мин}$; давление $P = 45 \text{ МПа}$.

При металлографическом анализе структуры выявлен сплошной однородный шов шириной $15...18 \text{ мкм}$ (рис. 6, а), металл которого по химическому составу соответствует основной интерметаллидной фазе $\gamma\text{-TiAl}$ (рис. 7). Рядом со швом на расстоянии $5...10 \text{ мкм}$ выявлена зона с мелкозернистой структурой, формирование которой обусловлено процессом рекристаллизации. Значения микротвердости в зоне соединения $3500...4200 \text{ МПа}$ близки аналогичному показателю основного металла ($3000...4000 \text{ МПа}$) в исходном состоянии, что свидетельствует о равнопрочности металла шва с основным материалом (рис. 6, б).

В случаях использования в качестве прослоек фольг систем Ni/Al и Ti/Ni в зоне соединения формируются структурные составляющие, микротвердость которых в $2...3$ раза больше, чем у основного материала — сплава Ti-48Al-2Nb-2Mn (ат. %). Повышение микротвердости (рис. 8) может способствовать снижению пластичности соединения.

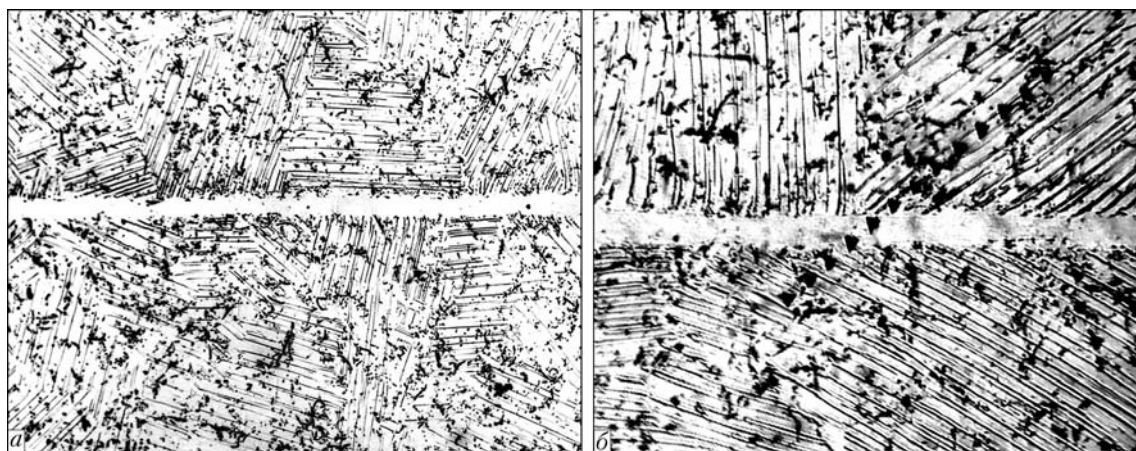


Рис. 6. Микроструктура зоны соединения сплава на основе интерметаллида $\gamma\text{-TiAl}$ (Ti-48Al-2Nb-2Mn), полученного диффузионной сваркой (температура 1200°C) с использованием нанослойной фольги, соответствующей по химическому составу интерметаллидному соединению $\gamma\text{-TiAl}$: а, $\times 200$; б, $\times 300$; $\blacktriangledown$ — отпечатки алмазного индентера

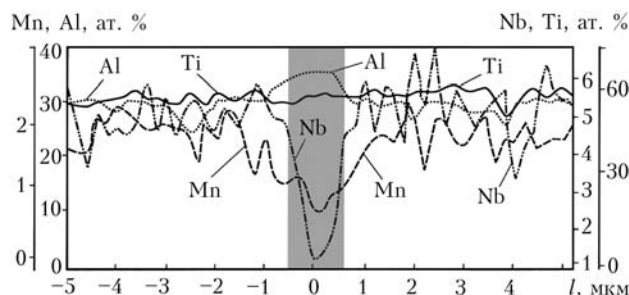


Рис. 7. Характер распределения марганца, алюминия, ниобия и титана в зоне соединения сплава на основе интерметаллида γ -TiAl (Ti-48Al-2Nb-2Mn), полученной диффузионной сваркой при 1200 °C с использованием нанослойной фольги, соответствующей по химическому составу интерметаллидному соединению γ -TiAl: l — расстояние от оси шва

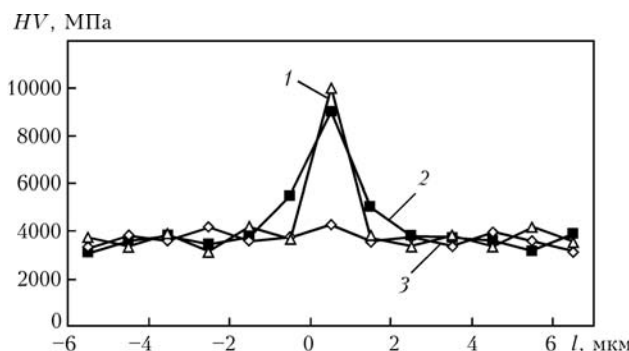


Рис. 8. Характер распределения микротвердости HV в зоне шва при диффузионной сварке интерметаллидного сплава Ti-48Al-2Nb-2Mn с применением прослоек из нанослойных фольг различных систем: 1 — Ni-Al; 2 — Ti-Ni; 3 — Ti-Al

Изложенное выше подтверждает, что с помощью диффузионной сварки в вакууме с использованием нанослойных фольг Ti/Al можно получить качественные однородные равнопрочные с основным материалом соединения интерметаллидного сплава Ti-48Al-2Nb-2Mn.

Сварка трением с перемешиванием без присадки квазикристаллического жаропрочного сплава системы Al-Fe-Cr-Ti является примером получения оригинального сплава с квазикристаллическим упрочнением и нового способа сварки трением с послойным перемешиванием металла шва (рис. 9, а). Благодаря интенсивной пластической деформации в условиях трехмерного сжатия при сварке трением с перемешиванием улучшается структура металла шва и его механические свойства.

Жаропрочный алюминиевый сплав на основе системы Al-Fe-Cr-Ti представляет собой экструдированные полуфабрикаты с наноструктурной матрицей, образовавшейся при быстрой кристаллизации исходного материала в виде мельчайших гранул (фактически порошков) с частицами размером менее 100 мкм. Упрочнение сплава обусловлено наличием в его составе наноразмерных квазикристаллических частиц интерметаллидов [14]. Интерметаллидные фазы, входящие в состав указанного сплава, содержат переходные тугоплав-

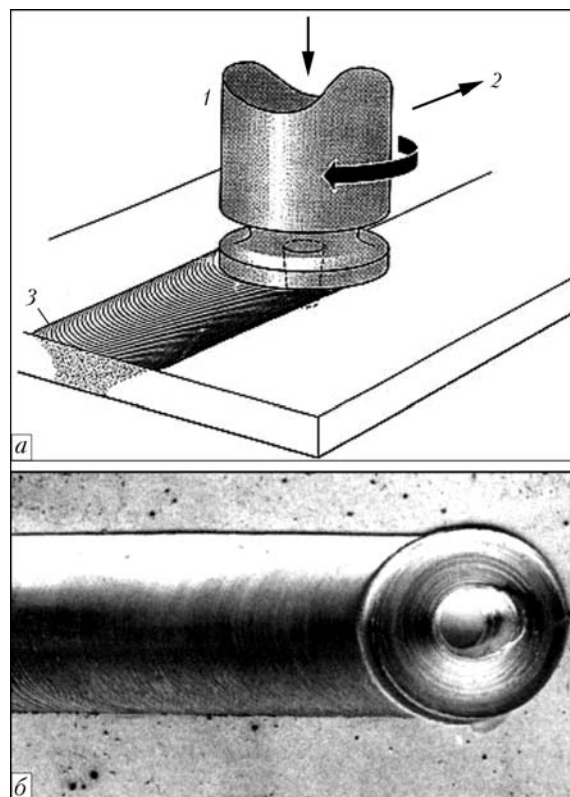


Рис. 9. Схема процесса сварки трением с перемешиванием нанодисперсного алюмокомпозита Al+7 % Al_2O_3 (а) и внешний вид шва (б): 1 — вращаемый рабочий инструмент; 2 — направление перемещения инструмента при сварке; 3 — шов

кие элементы, которые упрочняют твердый раствор (алюминиевую матрицу) и уменьшают в нем скорость диффузии (рис. 10, 11). Экструдированные полуфабрикаты характеризуются следующими механическими свойствами: $\sigma_{0.2} = 485$ МПа; $\sigma_b = 542$ МПа; $\delta = 7$ % (при комнатной температуре); $\sigma_{0.2} = 283$ МПа, $\sigma_b = 297$ МПа и $\delta = 3,5$ % (при 300 °C). Сплав представляет собой новый класс материалов, предназначенный для использования в технике в случаях, когда необходимы уменьшение массы конструкции, работающей при повышенной (до 300..400 °C) температуре и достаточно высокой удельной прочности. Эти требования актуальны для многих видов транспортных конструкций, например, в авиации и двигателестроении.

Результаты исследований процесса сварки трением с перемешиванием и свойств полученных соединений позволили установить, что в металле швов формируется более дисперсная и однородная структура зерен с размером матрицы ($d \leq 300$ нм) и частиц квазикристаллов ($d \leq 100$ нм), чем в основном металле, временное сопротивление разрушению соединений составляет 370 МПа.

Методом сканирующей электронной микроскопии установлен специфический характер структуры основного металла и швов, которая формируется в условиях интенсивной пластической деформации (рис. 12, а, б).

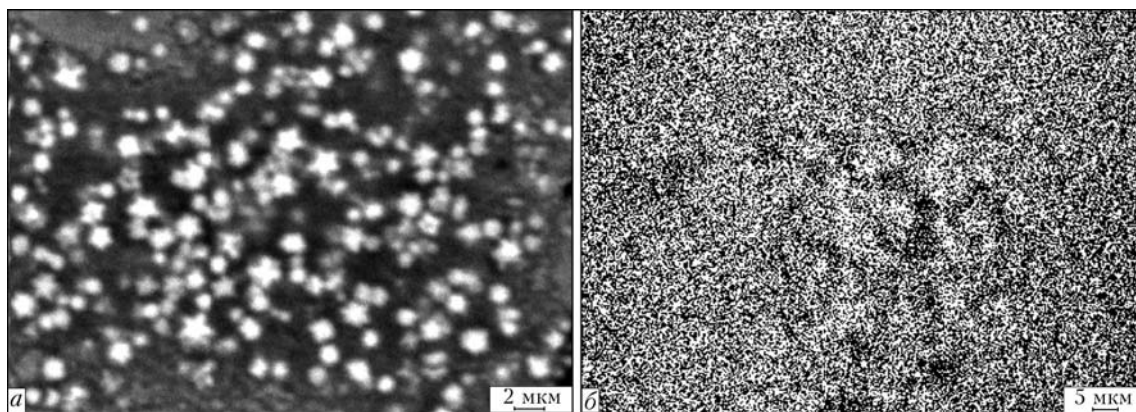


Рис. 10. Квазикристаллические частицы интерметаллидной фазы, выделившиеся в быстрозакристаллизованных мелких гранулах сплава Al-3Fe-3Cr: *а, б* — изображения, полученные соответственно методом сканирующей электронной микроскопии в обратно рассеянных электронах (*а*) и характеристическом рентгеновском излучении (*б*)

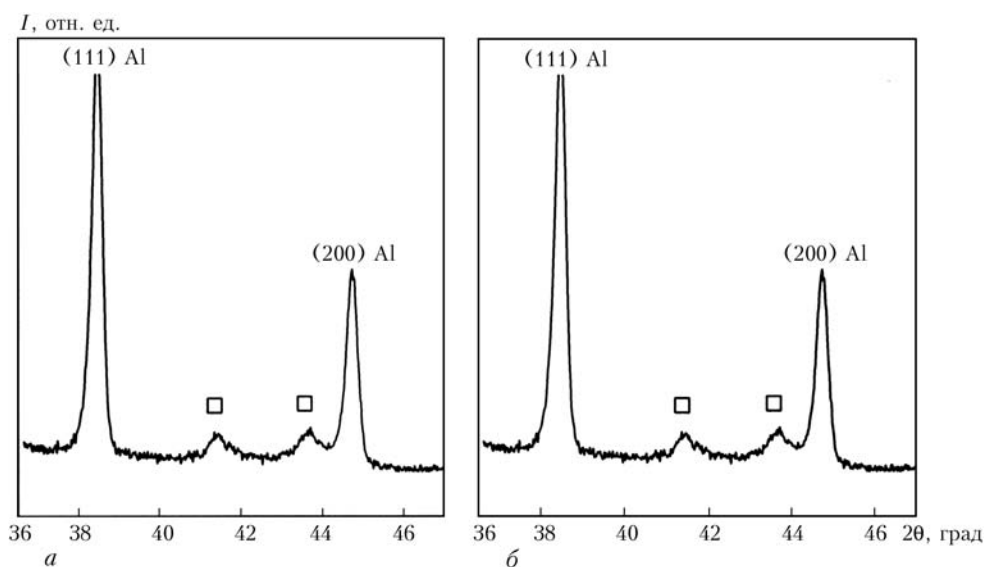


Рис. 11. Рентгеновская дифракция мелких гранул сплавов Al-3Fe-3Cr (*а*) и Al-2,5Fe-2,5Cr-0,5Ti-0,5Zr (ат. %) (*б*): $\square$ — квазикристаллическая фаза

Сварка трением с перемешиванием без при- садок нанодисперсного алюмокомпозита Al+Al₂O₃ является еще одним примером внедре- ния в производство новых разработок. Электрон- но-лучевая парофазная технология дает возмож- ность изготовить компактные заготовки наност- руктурного материала в виде листов [7, 15], а также других форм, типичных для объемных кон- струкций (цилиндрических, конических, полус- фер). При этом сварка трением с многослойным перемешиванием обеспечивает их соединение в условиях, при которых в значительной мере сох- раняются свойства основного металла.

Экспериментальная проверка этой идеи была начата со сварки трением с перемешиванием об- разцов тонколистового алюмокомпозита, армиро- ванного нерастворимыми частицами оксида Al₂O₃. Такой материал работает при более вы- сокой температуре, чем обычные алюминиевые сплавы.

Структура композита характеризуется столб- чатыми кристаллами, направленными нормально

по отношению к поверхности плоских образцов (рис. 12, *в, г*). Оксидные включения имеют раз- меры 10...50 нм, распределены равномерно, рас- стояние между частицами составляет 60...100 нм. Твердость композита *HRB* 99...100 МПа, а его прочность — $\sigma_b = 340$ МПа.

Пластины нанодисперсного композита Al+7 % Al₂O₃ соединяли сваркой трением с пе- ремешиванием со скоростью 14 м/ч, скорость вра- щения рабочего инструмента составляла 1420 об/мин. Внешний вид полученного шва при- веден на рис. 9, *б*. Металлографическими иссле- дованиями установлено, что в процессе сварки в зоне соединения происходит превращение стол- бчатых кристаллов алюминия в равноосные зерна, их размер при этом уменьшается в 3...5 раз (рис. 12, *в, г*). Твердость основного металла составляет 680...700 МПа, а металла шва — 780...900 МПа. Сварка трением с перемешиванием обеспечивает равнопрочные с основным материалом соедине- ния благодаря улучшению однородности и дис- персного состояния структурных составляющих.

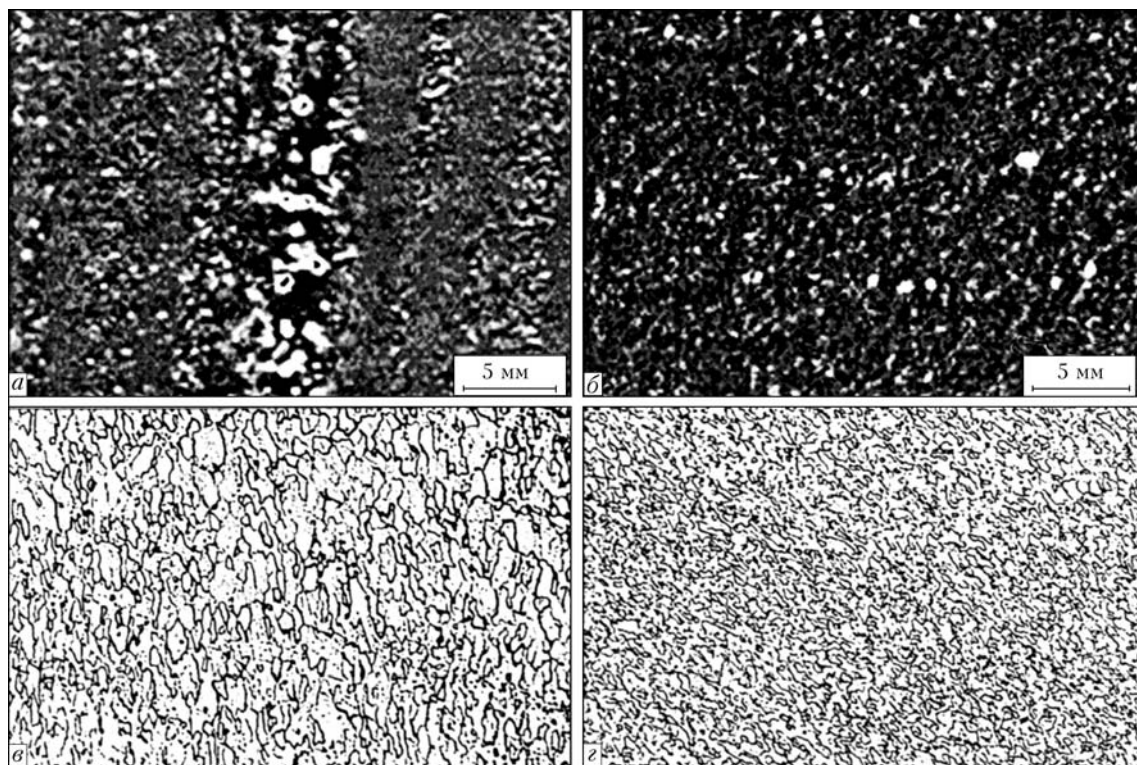


Рис. 12. Микроструктура основного металла (а, б) и металла швов (б, з), выполненных сваркой трением с перемешиванием: а, б — экструдированная полоса из квазикристаллического сплава системы Al–Cr–Fe; б, з — нанодисперсный алюмокомпозит Al+7 % Al₂O₃ (×400)

Таким образом, рассмотрены примеры неразъемного соединения трудносвариваемых обычных и нанодисперсных материалов с использованием наноструктурных присадок в виде лент, фольг и пленок, изготовленных способом послойной консолидации металлов из паровой фазы с применением электронно-лучевой технологии. Для их практического применения при сварке различных металлических материалов созданы тонкие фольги из активированных многослойных наноструктурных композиций Ti/Al, Ni/Al, Ni/Ti и других из металлов, склонных к реакции СВС интерметаллидных соединений.

Новые технологии соединения различных видов наноструктурных материалов реализуются с помощью диффузионной сварки или сварки трением с перемешиванием. Благодаря использованию новых присадок и технологий сварки появилась возможность успешно соединять новые конструкционные материалы с особыми свойствами, такими, как у интерметаллида систем Ni–Al и Ti–Al, высокопрочные квазикристаллические алюминиевые сплавы, нанодисперсные или нанослойные легкие композиционные материалы. Диффузионная сварка позволяет соединять преимущественно компактные малогабаритные изделия и узлы для авиационных и ракетных двигателей, а также применяется при изготовлении оборудования для атомной энергетики, электротехники, электроники. Сварку трением с перемешиванием используют при изготовлении изделий, име-

ющих большие размеры и разнообразную форму, например, плоские полотнища и оболочки, панели и объемные каркасы, емкости для жидкого топлива, корпуса различных машин. При этом выполняют стыковые, угловые или нахлесточные швы (прямые и криволинейные, протяженные, прерывистые, точечные) [5].

Авторы приносят искреннюю благодарность за активное участие в проведении данного исследования члену-корреспонденту НАН Украины Ю. В. Мильману, кандидатам техн. наук А. И. Сирко и Л. А. Олиховской, доктору техн. наук Г. К. Харченко, кандидатам техн. наук Ю. В. Фальченко и А. Г. Покляцкому, инженерам В. Е. Федорчуку, А. Н. Муравейник, Ю. А. Хохловой, А. А. Чайке.

1. Мовчан Б. А. Электронно-лучевая технология испарения и осаждения из паровой фазы неорганических материалов с аморфной, нано- и микроразмерной структурой // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. — 2004. — № 4. — С. 1103–1126.
2. Inoue A., Kimura H. High-strength aluminum alloys containing nanoquasicrystalline particles // Mater. Sci. and Eng. A. — 2000. — 286, № 1. — P. 1–10.
3. Устинов Ф. И., Олиховская Л. А., Полищук С. С. Метастабильные наноструктурные состояния в покрытиях системы Ni–Al, полученных осаждением из паровой фазы // Металлофиз. и новейшие технологии. — 2006. — № 6. — С. 32–37.
4. Исследование структуры сварных соединений дисперсно-упрочненного алюминиевого сплава / В. Р. Рябов, А. Н. Муравейник, А. А. Бондарев и др. // Технология легких сплавов. — 1999. — № 1/2. — С. 139–144.



5. Ищенко А. Я., Подъяльников С. В., Покляцкий А. Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (Обзор) // Автомат. сварка. — 2007. — № 11. — С. 32–38.
6. Milman Yu. V. Mechanical behavior of nanostructured aluminum alloys containing quasicrystalline phase // Mater. Sci. Forum. — 2005. — **482**. — P. 77–82.
7. Свариваемость нанодисперсного материала системы Al–Al₂O₃, полученного конденсацией из паровой фазы / А. Я. Ищенко, Н. Г. Третьяк, А. В. Лозовская, М. Р. Яворская // Автомат. сварка. — 1993. — № 5. — С. 16–19.
8. Твердофазное соединение в вакууме дисперсно-упрочненных композиционных материалов / А. Я. Ищенко, Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко и др. // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. — 2006. — **4**, № 3. — С. 747–756.
9. Диффузионная сварка микродисперсного композита AMg5+27 % Al₂O₃ с применением нанослойной фольги NiAl / А. Я. Ищенко, Ю. В. Фальченко, А. И. Устинов и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 7. — С. 5–9.
10. Поварова К. Б., Банных О. А. Принципы создания конструкционных сплавов на основе интерметаллидов // Материаловедение. — 1999. — Ч. 1. — № 2. — С. 27–33; Ч. 2. — 1999. — № 3. — С. 29–37.
11. Сварка давлением интерметаллидного сплава γ-TiAl / А. Н. Юштин, В. Н. Замков, В. К. Сабокар, П. Н. Чвертко // Автомат. сварка. — 2001. — № 1. — С. 16–19.
12. Solid-state diffusion bonding of gamma-TiAl alloys using Ti/Al thin films as interlayers / L. I. Duarte, A. S. Ramus, M. F. Vieira et al. // Intermetallics. — 2006. — № 14. — P. 1151–1156.
13. Diffusion welding of gamma-TiAl based alloys through nanolayered foil of Ti/Al system / A. I. Ustinov, Yu. V. Falchenko, A. Ya. Ishchenko et al. // Ibid. — 2008. — № 16. — P. 1043–1045.
14. High strength aluminum alloys reinforced by nanosize quasicrystalline particles for elevated temperature application / Yu. V. Milman, A. I. Sirko, M. O. Iefimov et al. // High Temperature Materials and Processes. — 2006. — **25**, № 12. — P. 19–29.
15. Покляцкий А. Г., Ищенко А. Я., Яворская М. Р. Прочность соединений тонколистовых алюминиевых сплавов, полученных сваркой трением с перемешиванием // Автомат. сварка. — 2007. — № 9. — С. 50–53.

The paper deals with solid-phase joinability of advanced structural quasi-crystalline and intermetallic alloys, alumocomposites and nanomaterials by diffusion bonding and friction stir welding in the presence of nanostructured fillers. It is shown that these processes allow producing permanent joints of difficult-to-weld materials applied in fabrication of aerospace products, gas turbine engine parts, electrical engineering and heat exchanger units, in repair and restoration operations.

Поступила в редакцию 05.09.2008

ГОРНАЯ ТЕХНИКА НКМЗ ВОСТРЕБОВАНА В РОССИИ

Новокраматорский машиностроительный завод (г.Краматорск, Донецкой обл.) реализовал крупный контракт по разработке, производству и поставке в Россию очередной партии современной горной техники.

В адрес одного из крупных на постсоветском пространстве — Стойленского горно-обогатительного комбината (г.Старый Оскол, Белгородской обл.) — отгружена последняя из четырех заказанных рудоразмольных мельниц нового поколения.

Мельницы модели МШЦУ 550056500А производительны, надежны в эксплуатации и экономичны. Этому способствовала реализация в них прогрессивных технических решений по обеспечению большей жесткости и несущей способности, увеличению объема помольной камеры и т. д. Машины оснащены современными средствами механизации монтажа и ремонтных работ, что делает их удобными в работе, значительно увеличивает межремонтные циклы.



СТАБИЛИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

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

Рассмотрен один из подходов к снижению внешних возмущений на скорость плавления электрода при роботизированной дуговой сварке. Изложена процедура синтеза структуры компенсирующего контура на основе принципа инвариантности. Приведены результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: дуговая сварка, роботизация, стабилизация режимов, компенсация возмущений, структурный синтез

Как известно, основными дестабилизирующими факторами при автоматической дуговой сварке плавящимся электродом являются непредсказуемые изменения: а) напряжения на выходных клеммах источника сварочного тока; б) скорости подачи электродной проволоки; в) расстояния между торцом токоподводящего мундштука и свободной поверхностью сварочной ванны. Вопросам уменьшения влияния этих факторов на качество сварных соединений посвящено много работ, в которых предложен ряд интересных подходов [1–8], общая идея которых сводится к стабилизации тем или иным способом параметров режима дуговой сварки. В работе [7] введены перекрестные связи между напряжением источника сварочного тока и скоростью подачи электродной проволоки, частично стабилизирующие указанные параметры. Для более существенного снижения влияния дестабилизирующих факторов в работе [8] предложено использовать принцип поглощения, в основе которого лежит компенсация внешних возмущений за счет введения в структурную схему сварочного контура специально синтезированных компенсационных связей.

Между тем, при роботизированной дуговой сварке появляется принципиальная возможность компенсации вредного влияния дестабилизирующих факторов без структурных изменений в самом сварочном контуре. В частности, возникающие флуктуации напряжения на выходных клеммах источника сварочного тока в некоторых случаях можно скомпенсировать путем корректирующего управления расстоянием между торцом горелки, расположенной в захватном устройстве промышленного робота, и свободной поверхностью сварочной ванны в функции указанного напряжения.

В настоящей статье рассматривается задача синтеза структуры компенсирующего контура и

алгоритма корректирующего управления положением сварочной горелки с помощью манипуляционного робота на основе текущей информации об изменении напряжения источника сварочного тока.

Представим математическую модель сварочного контура в виде структурной схемы (рис. 1), где введены следующие обозначения: v_e — скорость подачи плавящегося электрода относительно сопла горелки; v_m — скорость плавления электрода; $\Delta v = v_e - v_m$; H — расстояние между торцом токоподводящего мундштука и свободной поверхностью сварочной ванны; h — вылет электрода; l — длина дугового промежутка; $E \equiv du_d/dl$ — напряженность электрического поля в столбе дуги; u_a — напряжение на дуге; u_0 — сумма приэлектродных падений напряжений; u_s — напряжение на выходных клеммах источника сварочного тока; $\Delta u = u_s - u_a - u_0$; $M \equiv dv_m/di$ — крутизна характеристики плавления электрода при номинальных значениях сварочного тока $i_{ном}$ и вылета электрода $h_{ном}$; $R_* = R + S_a - S_s$, где R — суммарное сопротивление подводящих проводов, вылета электрода и скользящего контакта в мундштуке горелки; $S_a \equiv du_a/di$; $S_s \equiv du_s/di$ — крутизна вольт-амперных характеристик дуги и источника сварочного тока при номинальном значении тока $i_{ном}$; L — индуктивность сварочного контура; $D = d/dt$ — оператор дифференцирования.

В соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 1, запишем уравнение скорости плавленого электрода в операторной форме

$$v_m = W \left(v_e - DH + \frac{1}{E} Du_s \right), \quad (1)$$

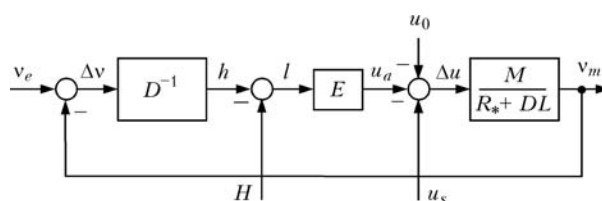


Рис. 1. Структурная схема сварочного контура



где

$$W = W(D) = \frac{1}{T_e T_s D^2 + T_s D + 1}; \quad T_e = \frac{L}{R_*}; \quad T_s = \frac{R_*}{EM}.$$

Из выражения (1) и рис. 1 видно, что внешние возмущения, действующие на скорость v_e , расстояние H и напряжение u_s , могут привести к отклонению скорости плавления электрода v_m от ее номинального значения, что естественным образом может сказаться на качестве свариваемого соединения. При роботизированной дуговой сварке флуктуации скорости подачи электродной проволоки v_e , как правило, незначительны. Непредсказуемые же изменения напряжения u_s на выходных клеммах источника сварочного тока чаще всего связаны с нестационарностью нагрузки в промышленной электрической сети. Поэтому рассмотрим случай, когда $v_e = \text{const}$, а возмущение номинального режима дуговой сварки вызвано кратковременным изменением напряжения u_s .

Проанализировав выражение (1), нетрудно заметить, что для обеспечения независимости скорости плавления электрода v_m от флуктуаций u_s достаточно выполнить условие

$$\frac{1}{E} Du_s - DH = 0, \quad (2)$$

которое, согласно теории автоматического управления [9–12], можно назвать условием инвариантности по отношению к возмущениям. Основной задачей теории инвариантности является, как известно, отыскание таких структурных решений, при которых отрицательное влияние внешних возмущений произвольного вида в минимальной степени сказывалось бы на протекании управляемого процесса. Наиболее благоприятная ситуация при решении этой задачи возникает тогда, когда внешние воздействия поддаются непосредственному измерению, хотя законы их изменения во времени заранее могут быть неизвестны. В нашем случае любые отклонения $\xi(t) = u_s(t) - u_{s \text{ ном}}$, где $u_{s \text{ ном}}$ —

номинальное значение напряжения источника сварочного тока, могут быть легко измерены, поэтому для выполнения условия (2) достаточно обеспечить автоматическое управление расстоянием H в соответствии с алгоритмом

$$H(t) = H_{\text{ном}} + \Delta H(t), \quad (3)$$

где

$$\Delta H(t) = \frac{1}{E} \xi(t). \quad (4)$$

Ясно, что алгоритм (3), (4) в таком виде физически нереализуем, поскольку исполнительные механизмы, которые должны обеспечить пространственное перемещение сварочной горелки, имеют определенную инерционность. Поэтому с помощью математической модели инерционного звена модифицируем выражение (4) следующим образом:

$$\Delta H(t) = \frac{1}{E(TD + 1)} \xi(t), \quad (5)$$

где T — постоянная времени исполнительных механизмов.

Структура компенсирующего контура, построенная на основе алгоритма (3), (5), представлена на рис. 2. Из этого рисунка видно, что необходимое требование к структуре контура, формулируемое как принцип двухканальности [10], выполнено: возмущение $\xi(t)$ передается по двум каналам и суммарное воздействие на выходе этих каналов $\sigma = \Delta u - \Delta u_* = \xi TD / (TD + 1)$, где $\Delta u_* = \Delta u$ при $\xi = 0$, будет при малом T значительно меньше $\xi(t)$. Следовательно, скорость плавления электрода v_m становится в некоторой степени инвариантной по отношению к возмущающему воздействию $\xi(t)$.

Характерная особенность данного способа компенсации возмущений заключается в том, что компенсирующее устройство (КУ) (рис. 2), являющееся по существу внешним устройством по отношению к сварочному контуру, не вносит в отличие от других известных способов никаких изменений в его структуру. Сигнал $\xi(t)$, снимаемый с датчика напряжения u_s , после предварительной обработки поступает непосредственно в устройство управления манипуляционным роботом, который в соответствии с алгоритмом (5) перемещает сварочную горелку на расчетное расстояние $\Delta H(t)$, уменьшая тем самым влияние возмущения $\xi(t)$ на скорость плавления электрода $v_m(t)$.

С целью экспериментальной проверки эффективности предлагаемого подхода к стабилизации скорости плавления электрода v_m проводилось компьютерное моделирование динамики процессов, протекающих в контуре при дуговой сварке.

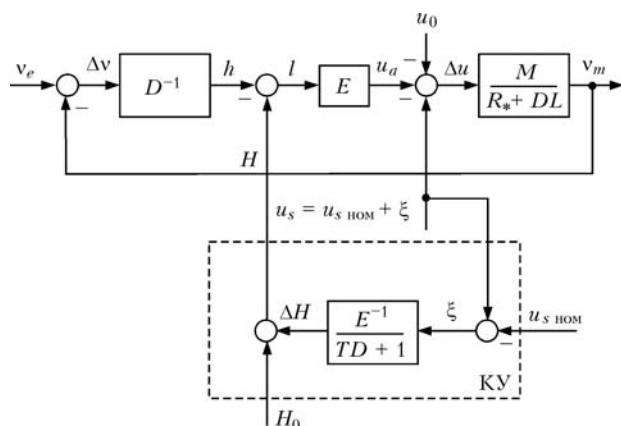


Рис. 2. Структурная схема компенсирующего контура

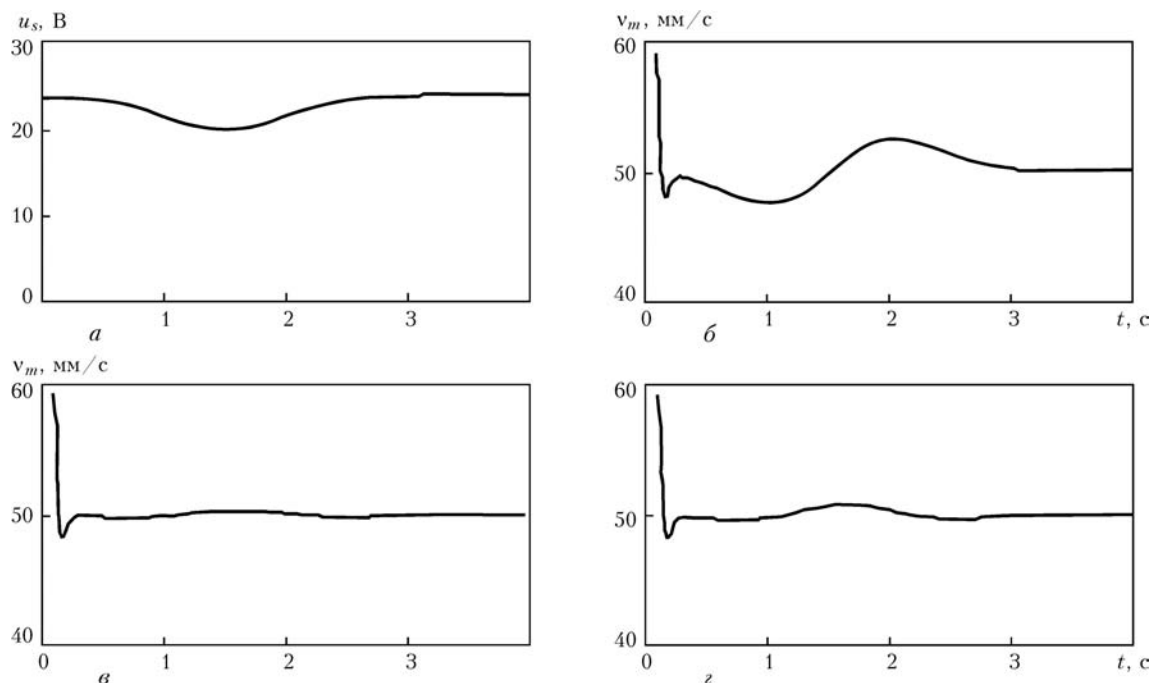


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования (пояснения в тексте)

Числовые значения параметров контура и режима дуговой сварки взяты следующие: $L = 7 \cdot 10^{-4}$ Гн; $R = 0,015$ Ом; $S_a = 0,005$ В/А; $S_s = -0,02$ В/А; $u_s = 24$ В; $u_0 = 12$ В; $v_e = 50$ мм/с; $H = 17$ мм; $E = 2$ В/мм; $M = 0,38$ мм/(А·с).

В качестве внешнего возмущения рассматривалось изменение напряжения u_s на выходных клеммах источника сварочного тока, закон изменения которого задавался зависимостью

$$u_s(t) = 24 - \xi(t), \quad (6)$$

где

$$\xi(t) = 4 \exp[-n(t - 1,5)^2]. \quad (7)$$

(Графики функции (6) при $n = 2 \text{ с}^{-2}$ и $n = 5 \text{ с}^{-2}$ показаны на рис. 3, а и рис. 4, а соответственно.)

Результаты моделирования процесса (1) при возмущениях вида (7) представлены на рис. 3 и рис. 4, где изображены графики изменения $v_m(t)$ в сварочном контуре без КУ (рис. 3, б и рис. 4, б) и с КУ (рис. 3, в, г и рис. 4, в, г). Рассматривая эти графики, можно увидеть, что при отсутствии

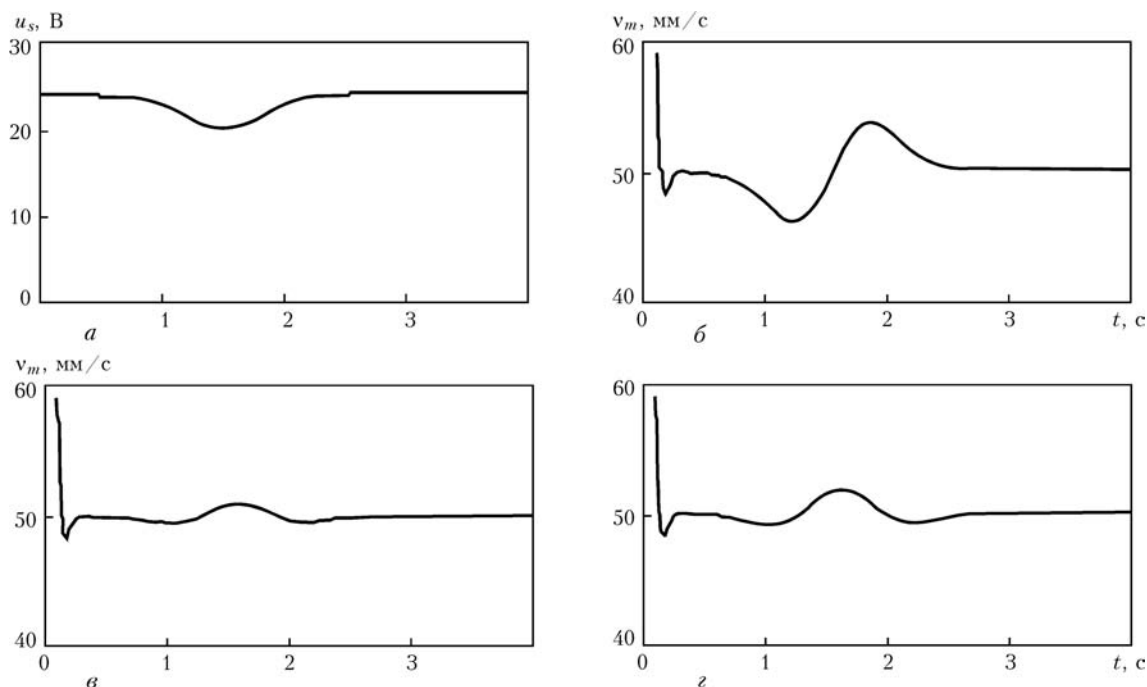


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования (пояснения в тексте)



КУ (см. рис. 1) возмущение (7) приводит к существенному изменению скорости плавления электрода $v_m(t)$ (рис. 3, б и рис. 4, б). При подключении КУ (см. рис. 2) влияние возмущения (7) на скорость плавления $v_m(t)$ значительно ослабевает (рис. 3, в, г и рис. 4, в, г).

Как и следовало ожидать, степень компенсации возмущения $\xi(t)$ в данной схеме зависит от инерционности исполнительных устройств, перемещающих горелку. На рис. 3, г приведен график $v_m(t)$, полученный при $T = 0,05$ с, а на рис. 4, г — при $T = 0,1$ с. Из этих графиков видно, что с уменьшением инерционности исполнительных устройств степень компенсации возмущений возрастает.

Сравнив графики на рис. 3, в, г и рис. 4, в, г, нетрудно заметить, что более «медленные» возмущения влияют на скорость плавления v_m в меньшей степени, чем более «быстрые». Очевидно, что возмущения, скорость изменения которых меньше скорости затухания переходных процессов, в сварочном контуре компенсируются наиболее эффективно.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования показали, что введение в систему роботизированного управления процессом дуговой сварки с плавящимся электродом дополнительной связи между источником сварочного тока и устройством управления движением горелки может оказаться достаточно эффективным сред-

ством компенсации медленнодействующих флуктуаций напряжения этого источника.

1. Патон Б. Е. Некоторые задачи в области автоматического регулирования сварочных процессов // Автомат. сварка. — 1958. — № 4. — С. 3–9.
2. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 359 с.
3. Дюржеров Н. Г., Пенюши В. А., Сагиров Х. Н. О стабильности процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом // Свароч. пр-во. — 1966. — № 7. — С. 13–14.
4. Гладков Э. А. Автоматизация сварочных процессов. — М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1976. — 176 с.
5. Лебедев А. В. Эффективность стабилизации среднего значения тока при полуавтоматической сварке // Автомат. сварка. — 1978. — № 10. — С. 37–41.
6. Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. — Киев: Вища шк., 1986. — 296 с.
7. Стабилизация процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом / Б. Е. Патон, П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, Ю. О. Шимановский // Автомат. сварка. — 2003. — № 8. — С. 3–6.
8. Цыбулькин Г. А. Компенсация воздействия внешних возмущений на режим дуговой сварки плавящимся электродом // Автомат. сварка. — 2007. — № 4. — С. 7–10.
9. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. — М.: Наука, 1987. — 711 с.
10. Цыбулькин Г. А. Инвариантность и устойчивость одного класса комбинированных программных систем с переменным масштабом времени программ // Теория инвариантности и ее применение. — Киев: Наук. думка, 1979. — Ч. 2. — С. 128–137.
11. Кухтенко А. И. Проблема инвариантности в автоматике. — Киев: Гостехиздат УССР, 1963. — 376 с.
12. Цыпкин Я. З. Синтез структуры стабилизирующих и инвариантных регуляторов // Докл. РАН. — 1996. — 347, № 5. — С. 607–609.

The paper deals with one of the approaches to reducing the external impacts on electrode melting rate in robotic arc welding. The procedure of synthesizing the structure of a compensating contour on the basis of invariance principle is set forth. Results of computer simulation are given.

Поступила в редакцию 18.01.2008

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.



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СВАРКИ ТИГ СТАЛЕЙ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ

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

Приведен вариант реализации режима сварки пульсирующей дугой на малоамперном источнике сварочного тока с регулированием широтно-импульсной модуляцией и экспериментальной системой управления с применением микропроцессорной техники.

Ключевые слова: сварка ТИГ, пульсирующая дуга, микропроцессор, регулирование широтно-импульсной модуляцией, тонколистовой металл

Сварка ТИГ сталей толщиной до 0,5 мм широко применяется в приборостроении (сборка корпусов и экранов), в меньшем объеме — в автомобилестроении при проведении ремонтно-восстановительных работ. Возможны и другие узкоспециализированные сферы ее применения, где использование стандартных сварочных инверторов является нецелесообразным.

В настоящей работе решалась задача построения системы управления для сварки тонколистового металла с наименьшими материальными и временными затратами. Для уменьшения тепловложения в металл и вероятности прожогов используют сварку постоянным током с низко- и среднечастотной модуляцией (сварку пульсирующей дугой). Регулировка длительности тока в импульсе и паузе, а также частоты повторения импульсов осуществляется с помощью микроконтроллера ATmega8515 (фирмы «Atmel»). При сварке модулированным током путем изменения, как минимум, четырех регулируемых параметров (длительность импульса, частота его повторения, амплитуда тока в импульсе и уровня базового тока) можно установить оптимальный режим сварки. На экспериментальном образце удобно применять единый программируемый модуль обработки команд сварщика и управления регулируемыми параметрами с индикацией установленных значений, что позволяет адаптировать систему управления в соответствии с различными требованиями и задачами [1, 2].

В качестве объекта управления использовали малоамперный источник сварочного тока, разработанный подразделением ИЭС им. Е. О. Патона — Государственным научно-инженерным центром сварки и контроля в области атомной энергетики Украины. Этот источник тока является составной частью тренажера для сварщика (рис. 1) и представляет собой широтно-импульсный пре-

образователь понижающего типа с системой управления.

Стабилизация сварочного тока по сигналам обратной связи, получаемым от датчика тока I , осуществляется по закону широтно-импульсной модуляции, реализуемой микросхемой TL 494 1. Для согласования выходного сигнала микросхемы 1 и силового транзистора используют микросхему-драйвер IR 2110 2. Сигнал обратной связи по току от датчика сравнивается с уровнем опорного напряжения, в результате получают сигнал ошибки, который сопоставляют с пилообразным сигналом. В результате формируются импульсы управления силовым транзистором с частотой, которая определяется параметрами внешней времязадающей цепи генератора пилообразного напряжения (ГПН), в нашем случае она равна 20 кГц. Длительность открытого состояния транзистора прямо пропорциональна разнице между сигналом ошибки и опорным напряжением. Благодаря запасенной энергии дросселя $L1$ импульсы тока преобразуются в непрерывный ток, среднее значение которого поддерживается на постоянном уровне с определенной точностью.

Режим сварки пульсирующей дугой реализовали следующим образом. Микроконтроллер обеспечивает генерирование сигнала, временная диаграмма которого представлена на рис. 2. В программе предусмотрена регулировка оператором длительности цикла импульса и паузы непосредственно в ходе работы устройства с дискретностью 50 мкс. Сварщик с помощью клавиш «больше»/«меньше» (или цифровых потенциометров) устанавливает значение коэффициентов, соответствующее длительности $T_{\text{и}}$ и паузы $T_{\text{п}}$ (от 0 до 255), которое умножается на 50 мкс. Частоту следования выходных импульсов можно определить по формуле

$$f_{\text{вых}} = 1 / (T_{\text{и}} T + T_{\text{п}} T + dt) \text{ [Гц]},$$

где dt — длительность «мертвого времени» (продолжительность выключенного состояния управ-

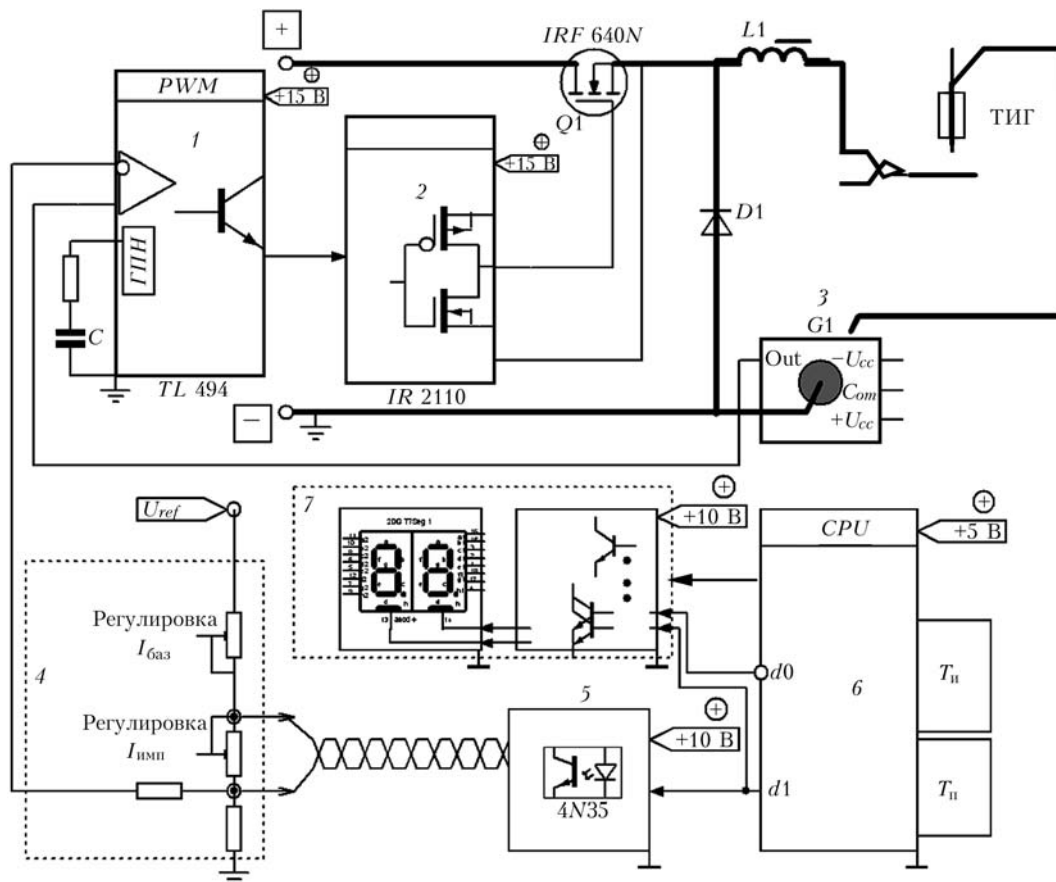


Рис. 1. Структурная схема устройства для сварки пульсирующей дугой

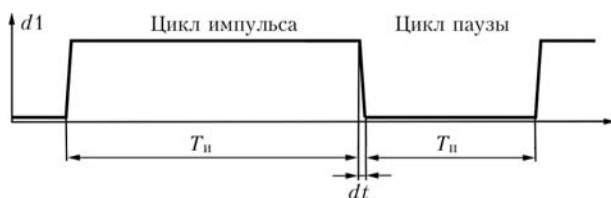


Рис. 2. Управляющий сигнал микроконтроллера

ляющего транзистора перед каждым новым циклом), равная 10 мкс; T — программная единица времени, равная 50 мкс.

Импульсный сигнал заданной частоты поступает от микроконтроллера 6 на оптронный ключ 5. Ключ шунтирует резистор attenuатора 4 опорного напряжения, сравниваемый уровень опорного напряжения резко возрастает, в результате чего длительность открытого состояния силового транзистора увеличивается и значение сварочного тока приближается к максимальному. Соотношение между максимальным и минимальным значением тока может изменяться оператором. Частота скачкообразного изменения опорного сигнала определяется частотой генерирования импульсов микроконтроллером и выбирается оператором как комбинация длительности импульса и паузы. Ее выбранные значения отображаются на семисегментном индикаторе блока динамической индикации 7.

Максимальная частота выходного сигнала, являющаяся частотой модуляции, составляет $f_{\text{вых}} = 1 \cdot 10^6 / (1 \cdot 50 + 1 \cdot 50 + 10) = 9,1 \text{ кГц}$. Следует отметить, что такое значение $f_{\text{вых}}$ сварочного тока способствует повышению устойчивости горения дуги, но не влияет на ее энергетические показатели вследствие инерционности тепловых процессов. Минимальное значение частоты выходного сигнала составляет 39,2 Гц.

В ходе проведения экспериментов была достигнута приемлемая устойчивость горения дуги без прожогов при следующих параметрах процесса: сталь — оцинкованный лист СТ0 толщиной 0,55 мм; длительность импульса и паузы 4,9 мс ($T_{\text{п}} = T_{\text{и}} = 98$), что соответствует частоте следования импульсов $f_{\text{вых}} = 100 \text{ Гц}$ при скважности 50 %. Диапазон скачкообразного изменения опорного напряжения составляет 50 % базового значения. Таким образом, для максимального (10 А) тока размах его пульсаций равен приблизительно 5 А. При этом значения напряжения на дуговом промежутке изменяются от 16 до 20 В. Осциллограмма модулированного сварочного тока представлена на рис. 3.

Исходя из результатов проведенной работы можно сделать следующие выводы.

Описанный способ построения системы управления для сварки тонколистового металла пульсирующей дугой является экономичным и в то

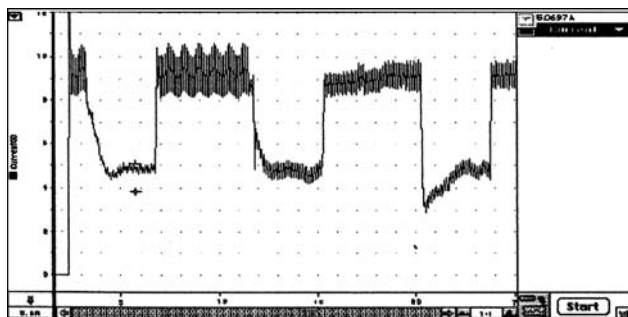


Рис. 3. Модулированный ток для сварки пульсирующей дугой (масштаб 2 А — 5 мс)

же время достаточно гибким решением для различных сфер применения. Недостатком такого способа достижения пульсаций сварочного тока является периодическое изменение коэффициента усиления усилителя сигнала ошибки, в результате чего точность стабилизации тока в импульсе хуже, чем в паузе. Регулировка уровня тока импульса и паузы не происходит независимо, она осуществляется одновременно, что заставляет оператора выполнять настройку необходимых значений тока продолжительное время. К преимуществам можно отнести удобство цифрового независимого регу-

лирования длительности импульса паузы. В случае потребности в значительном изменении частотного диапазона сварочного тока (в сторону понижения частоты) нет необходимости в замене дискретных элементов системы управления. Диапазон регулирования длительности импульса и паузы изменяется в зависимости от программной единицы времени.

В будущем из массива данных, полученных при проведении экспериментов по сварке металлов различной толщины, целесообразно выделить оптимальные диапазоны регулирования основных параметров сварочного тока для достижения установленного минимального влияния температуры, глубины проплавления и устойчивости процесса сварки. Приведенная схема управления с некоторыми доработками может быть использована для аналогичного источника сварочного тока мощностью 4 кВт.

1. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы. — М.: Издат. дом «Додека-XXI», 2004. — 288 с.
2. Трапезт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров. — Киев: МК-Пресс, 2007. — 208 с.

The paper presents a variant of pulsed-arc welding using a low-amperage welding current source with PWM-regulation and an experimental control system with application of microprocessor devices.

Поступила в редакцию 02.07.2008

НКМЗ ОТПРАВЛЯЕТ КОМБАЙНЫ ДЛЯ ШАХТЕРОВ РОССИИ

Новокраматорский машиностроительный завод (г.Краматорск, Донецкой обл.) приступил к отгрузке двух проходческих комбайнов П110-01 крупнейшей в России шахте «Распадская» (Кузбасский угольный бассейн).

Комбайны специального исполнения созданы для прохождения выработок с минимальной присечкой пород кровли. Это снижает зольность добытого угля, расход резцов, увеличивает производительность и темпы проходки.

Еще три комбайна П110-01, предназначенные для шахт Кузбасса, будут отгружены потребителям летом.



МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ СКАНДИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗТВ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В96, ПОЛУЧЕННЫХ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ

Ю. А. ХОХЛОВА, А. А. ЧАЙКА, В. Е. ФЕДОРЧУК, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

При дуговой сварке высоколегированного алюминиевого сплава В96 вследствие нагрева основного металла по границам зерен в зоне термического влияния (ЗТВ) оплавляются легкоплавкие (эвтектические) фазы. Они являются причиной образования горячих микротрещин в ЗТВ, а после охлаждения снижают уровень механических свойств соединений. Легирование сплава скандием тормозит процессы рекристаллизации, способствуя формированию дисперсной структуры эвтектических выделений по границам зерен и, как следствие, повышению механических свойств соединений.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, дуговая сварка, горячеломкость, структурные превращения, эвтектика, скандий, прочность, микромеханические испытания, индентер Берковича, микротвердость, модуль Юнга, коэффициент пластичности

При дуговой сварке высоколегированного сплава В96 в процессе нагрева основного металла легкоплавкие составляющие оплавляются и образуют в зоне сплавления после охлаждения хрупкие прослойки, которые и являются причиной зарождения кристаллизационных трещин [1] (рис. 1, 2). Сплавы этого типа относятся к категории наиболее высокопрочных алюминиевых сплавов. Они предназначены для производства легких прессованных и кованных изделий в машиностроении и являются опытными конструкционными материалами [2]. Для предотвращения появления кристаллизационных трещин обычно проводят легирование сплава В96 скандием, весьма дорогостоящим легирующим элементом. Известно, что добавки скандия оказывают положительное влияние на механические свойства алюминиевых сплавов за счет модифицирования литой структуры, повышения температуры рекристаллизации, а также эффекта дисперсионного и структурного упрочнения.

В настоящее время изучено влияние скандия на многие перспективные алюминиевые сплавы [3], разработан целый ряд алюминиевых сплавов со скандием, но в меньшей степени исследовано его влияние на процессы, происходящие в зоне термического влияния (ЗТВ) и металле шва.

Цель настоящей работы — изучить механизм влияния скандия на улучшение структуры и повышение микромеханических свойств эвтектики, образующейся при дуговой сварке в ЗТВ на границе сплавления.

Методика проведения комплекса механических исследований предполагает создание образцов-имитаторов из сплавов, химический и структурный состав которых соответствует эвтектике хрупких прослоек в зоне сплавления сварных швов. Материалом для исследований служили сварные соединения сплава типа В96 двух модификаций, полученные при дуговом способе сварки. Химический состав исходных сплавов В96 и В96+Sc приведен в таблице и сечении изотермического тетраэдра 460° системы Al–Mg–Cu–Zn (8 мас. % Zn) со следующими фазами (рис. 3) [4, 5]: α — твердый раствор магния, цинка, меди в алюминии; θ — CuAl_2 ; S — Al_2CuMg ; T — AlCuMgZn образует фазы $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ и Al_6CuMg_4 ;

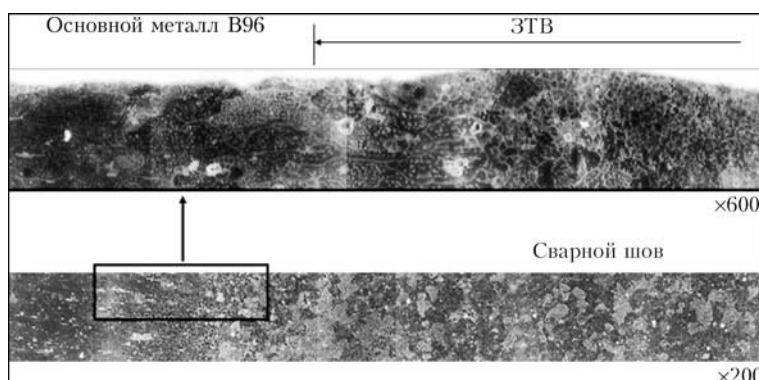


Рис. 1. Микроструктура вблизи ЗТВ соединения сплава В96, полученного дуговой сваркой



М — AlCuMgZn (образует фазы MgZn₂ системы Mg–Zn и AlCuMg системы Al–Cu–Mg; Z — AlCuMgZn (образует фазы Mg₂Zn₁₁ системы Mg–Zn и Al₁₀Cu₇Mg₃ системы Al–Cu–Mg).

Скандий отличается малой (0,35 %) растворимостью в твердом алюминии и при его концентрации, немного большей предельной, уже появляются первичные интерметаллиды. Они образуются при обычных условиях литья и имеют вид грубых, неравномерно распределенных включений [6].

Процесс плавления и кристаллизации обоих сплавов включает два этапа. Сначала плавится легкоплавкая эвтектика при температуре 480 °С. Этот кратковременный процесс быстро завершается и начиная с 580 °С происходит плавление твердого раствора. При охлаждении сначала кристаллизуется твердый раствор, а затем эвтектика [7]. Общий интервал кристаллизации составляет приблизительно 170 °С, объем эвтектики незначительный (менее 2 %). Полученные данные об образовании эвтектики в широком интервале температур 480...580 °С свидетельствуют о вероятности появления эвтектических выделений и охрупчивания металла ЗТВ на значительном расстоянии от границы сплавления, а широкий интервал кристаллизации сплава и малое содержание эвтектики на завершающем этапе затвердевания — о повышенной склонности к образованию горячих трещин в металле шва.

При сварке сплава В96 в металле шва формируется мелкая структура с непрерывными эвтектическими выделениями по границам и ячейкам дендритов. В случае введения в сплав скандия размеры зерен уменьшаются, образуется субдендритная структура и меняется характер распределения эвтектики. Размер зерна в металле шва, содержащем 0,3 % Sc, уменьшается с 0,100...0,050 до 0,030...0,001 мм. Эвтектические выделения расположены только по границам субдендритных зерен (см. рис. 1). В металле швов, выполненных на сплаве В96 + Sc, образуются отдельные интерметаллиды правильной геометрической формы, имеющие размер 3...7 мкм.

При исследовании структуры участка ЗТВ при температуре ликвидус–солидус выявлены различные эвтектические образования в обоих исследуемых сплавах. На их форму и размеры влияет исходная структура основного металла. Так, при непрерывных строчечных выделениях избыточных фаз в основном металле выделения эвтектики тонкие и протяженные, а при наличии отдельных включений они образуют локальные объемы эвтектики. Последние сосредоточены по месту рас-

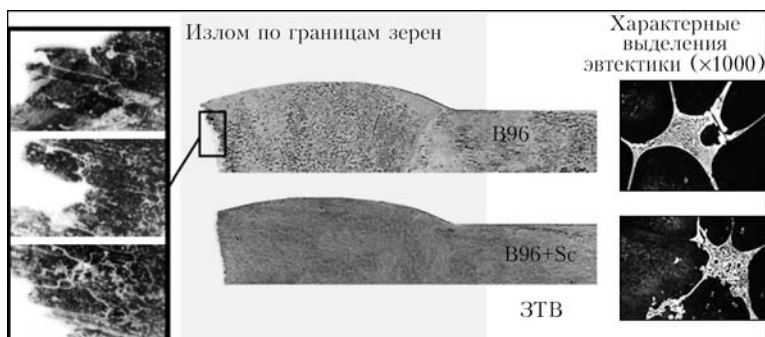


Рис. 2. Микроструктура излома по границам зерен в местах скопления хрупких прослоек из легкоплавких составляющих (×800) и вблизи ЗТВ (×1200) соединений сплавов В96 и В96+Sc, полученных дуговой сваркой

Химический состав (мас. %) исходных сплавов В96 и В96+Sc*

Сплав	Zn	Mg	Cu	Sc	Mn	Zr
В96	8,4...8,8	2,5...2,7	2,4...2,6	—	0,20...0,26	0,15...0,18
В96+Sc	8,6...8,9	2,6...2,8	2,1...2,4	0,27...0,31	0,19...0,25	0,15...0,18

* Остальное алюминий.

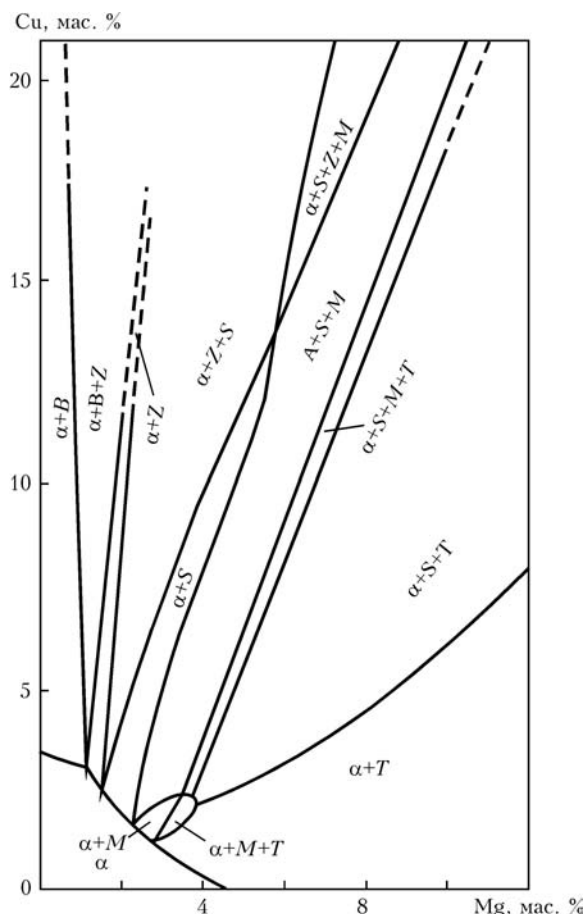


Рис. 3. Сечение изотермического тетраэдра 460° системы Al–Mg–Cu–Zn (8 мас. % Zn)

положения избыточных фаз. По мере приближения к границе сплавления с повышением температуры сначала оплавляются многоугольные стыки зерен, образуя непрерывные прослойки. При введении скандия в основной металл процесс опла-

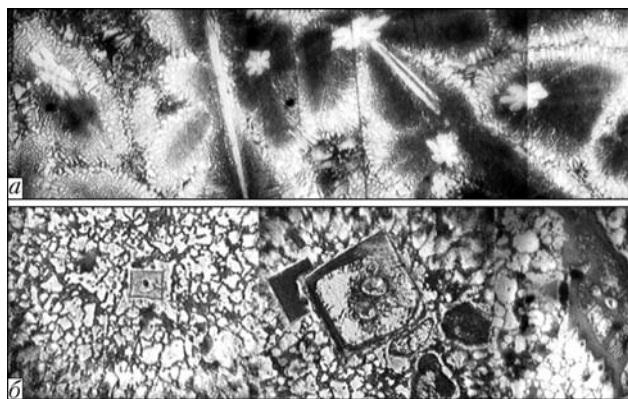


Рис. 4. Микроструктура (X600) эвтектики образцов-имитаторов сварных соединений сплавов В96 (а) и В96+Sc (б), полученных дуговой сваркой

ления происходит менее реактивно. Его характер в основном локальный (за исключением отдельных вытянутых эвтектических структурообразований), наблюдается уменьшение степени рекристаллизации. Включения алюминиево-скандиевых фаз сохраняются в ЗТВ в несколько измененной форме, они располагаются как по телу зерна, так и в скоплениях эвтектики.

Методом микрорентгеноспектрального анализа ЗТВ соединений, полученных при дуговой сварке сплавов В96 и В96+Sc без использования приса-

дочных проволок, определен химический состав эвтектических выделений по границам зерен.

Эвтектические выделения в сплаве В96 имеют состав, мас. %: 28 Zn; 15,9 Cu; 10,5...11,0 Mg (компактные эвтектические); 27,7 Zn; 16 Cu; 12...12,5 Mg (непрерывные пограничные выделения), т. е. образованные эвтектики независимо от формы имеют практически одинаковый состав. В сплаве В96+Sc эвтектические выделения характеризуются широким диапазоном изменения содержания элементов. Детальный микрорентгеноспектральный анализ в разных точках выделений позволил определить два вида эвтектик: один отличается повышенным уровнем содержания следующих элементов, мас. %: 25...27 Zn, 17,9...18,2 Cu, 11,7...12,0 Mg, а второй — их пониженным уровнем (15,5...18,2 Zn; 8...21 Cu; 4,6...5,3 Mg) и наличием 3,1...8,4 Sc.

Были изготовлены слитки, структурно и по химическому составу, имитирующие эвтектику оплавленных прослоек, образующихся вблизи границы сплавления при дуговой сварке. Для изготовления слитков соответствующего химического состава использовали сплавы, включающие следующие элементы, мас. %: 28 Zn, 16 Cu, 13 Mg, остальное алюминий и 17 Zn, 10 Cu, 5 Mg, 6 Sc, остальное алюминий. Применяли электролитическую медь и цинк, алюминий высокой чистоты

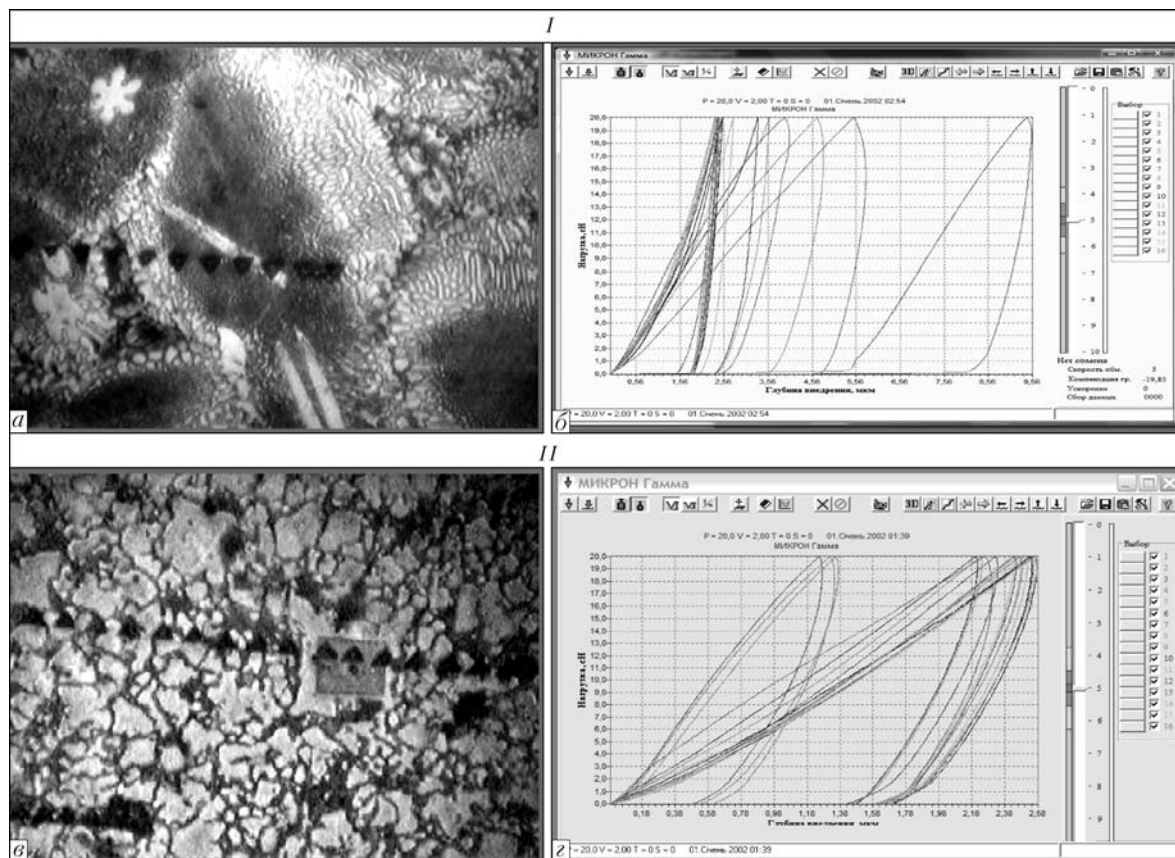


Рис. 5. Отпечатки индентера (а, в, X600) и диаграмма нагружение-разгружение (б, г), полученные для эвтектик сплавов В96 (I) и В96+Sc (II)



А995. Для введения скандия использовали лигатуру, содержащую 2 мас. % Sc, которую предварительно расплавляли в тигле, а затем постепенно охлаждали до комнатной температуры. Включения интерметаллидов оседали на дно изложницы, образуя слой слитка с содержанием скандия 16 мас. %. По данным микрорентгеноспектрального анализа, скандий по высоте слитка распределялся следующим образом, мас. %: в нижней части — 16,600, в середине — 0,511, в верхней — 0,470. Для введения в шихту скандия использовали нижний слой слитка. Плавку осуществляли в муфельной печи в графитовом тигле. Расплавленный металл отливали в специальную форму, которая давала возможность сразу получать образцы типа МИ-3 для механических испытаний, а затем исследовали их структуру и химический состав.

Металлографическое исследование показало, что структура литых образцов в основном эвтектическая. Образцы, соответствующие эвтектике сплава Al–Zn–Cu–Mg, имеют более разнородное и крупнодендритное строение (рис. 4, а). Эвтектика, содержащая скандий, более дисперсна, но в ней присутствуют отдельные крупные интерметаллиды скандия (рис. 4, б).

Механические свойства сплавов соответствующих эвтектикам Al–Zn–Mg–Cu и Al–Zn–Mg–Cu–Sc определяли на образцах указанного выше типа, которые разрушались хрупко, без образования участков пластичности. Характер разрушения изменялся от глубоко развивающегося к прямолинейному, при этом у эвтектики наблюдалось повышение значения прочности (в случае наличия скандия). Прочность образцов из сплава В96+Sc составляла 141 МПа, а из сплава В96 — 134 МПа.

Микромеханические испытания проводили с помощью компьютеризированной зондовой системы «Микрон-гамма» трехгранным индентером Берковича [8, 9]. Микротвердость эвтектики сплава В96 разной формы и травления составляла от 0,024 до 0,390 ГПа. Наибольшее значение микротвердости имела светлая эвтектика, а наимень-

шее значение определено в середине больших темных вторичных дендритных структур (рис. 5, а). Микротвердость сплава В96+Sc составляла от 0,325 до 1,324 ГПа, а темной фазы — 1,324 ГПа. Микротвердость отдельных крупных интерметаллидов скандия незначительно отличалась от микротвердости самой эвтектики со скандием (рис. 5, б), но при этом значения модуля упругости Юнга были на 40 % выше, чем у эвтектики со скандием. Значения микротвердости эвтектики сплава В96+Sc на 41 % выше, чем у сплава В96. Коэффициент пластичности эвтектик сохранился на одном уровне.

Таким образом, при сварке сплава В96 охрупчивание происходит на значительном расстоянии от границы сплавления. Добавки скандия в сплав В96 тормозят процессы рекристаллизации и уменьшают степень ликвации. Модификация сплава способствует улучшению структуры, сохранению пластичности и повышению микротвердости на 41 %, модуля упругости на 40 %, прочности на 5 %.

1. Овсянников Б. В., Дорошенко Н. М., Замятин В. М. Кристаллизационные трещины в слитках высокопрочных алюминиевых сплавов // *Технология легких сплавов*. — 2005. — № 1–4. — С. 117–121.
2. Фридляндер И. Н. Алюминиевые сплавы в летательных аппаратах в периоды 1970–1999 и 2000–2015 гг. // *Там же*. — 2002. — № 4. — С. 12–17.
3. *Алюминий-литиевые сплавы. Структура и свойства* / И. Н. Фридляндер, К. В. Чуистов, А. Л. Березина и др. — Киев: Наук. думка, 1992. — 192 с.
4. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1979. — 640 с.
5. *Диаграммы состояния систем на основе алюминия и магния: Справ.* — М.: Наука, 1977. — 228 с.
6. Волков В. А. Влияние легирующих элементов на процессы распада сплавов Al–Li и Al–Sc: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 1987. — 22 с.
7. *Некоторые особенности распада пересыщенного твердого раствора сплавов системы Al–Sc* / А. Л. Березина, В. А. Волков, Б. П. Домашникова, К. В. Чуистов // *Металлофиз.* — 1987. — 9, № 5. — С. 43–45.
8. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. — М.: Наука, 1976. — 230 с.
9. Oliver W. C., Pharr G. M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // *J. Mater. Res.* — 2004. — № 19. — P. 3–20.

In argon-arc welding of high-alloyed aluminium alloy V96 the low-melting (eutectic) phases are surface-melted along the grain boundaries in the near-weld zone as a result of base metal heating. They are the cause for formation of hot microcracks in the near-weld zone, and after cooling they lower the level of mechanical properties of the joints. Scandium additives to the alloy slow down the recrystallization processes, promoting formation of dispersed structure of the eutectic precipitates along the grain boundaries, and, consequently, improvement of the joint mechanical properties.

Поступила в редакцию 19.06.2008



ПРОЦЕССЫ УПРОЧНЕНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (Обзор)

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

Рассмотрено состояние развития процессов термического упрочнения, легирования, наплавки и нанесения покрытий, в которых основная роль отведена лазерному излучению. Представлены технологические схемы, указанных процессов, отмечены их достоинства и недостатки. На примере практического применения проанализированы перспективы дальнейшего развития этих процессов.

Ключевые слова: лазерные технологии, термообработка, легирование, наплавка, нанесение покрытий, гибридные и комбинированные процессы, достоинства и недостатки, практическое применение, перспективы развития

В области нанесения функциональных покрытий все больший интерес вызывают процессы, в которых используется лазерное излучение [1, 2]. К ним относятся как лазерные (наплавка и поверхностное модифицирование), так и гибридные или комбинированные (лазерно-плазменное нанесение покрытий, лазерная обработка с высокочастотным подогревом и др.). При их практической реализации используется излучение технологических лазеров: газового (CO₂-лазер), твердотельного (Nd:YAG-лазер), диодного (табл. 1) и волоконного [3]. С учетом хронологии появления и расширения технологических возможностей процесса с лазерным излучением можно расположить в следующей последовательности: лазерные термообработка, легирование, наплавка и напыление, гибридная сварка.

Лазерная термообработка заключается в воздействии сфокусированного лазерного излучения на обрабатываемую деталь и осуществляется как с оплавлением упрочняемой поверхности, так и

без него. В последнем случае требуется предварительное нанесение покрытий, поглощающих лазерное излучение [4, 5]. Основными преимуществами этого процесса являются локальность теплового воздействия (размер пятна нагрева обычно составляет 0,1...10,0 мм), гибкий подвод энергии к месту обработки, возможность получения слоев с высокими твердостью и износостойкостью, модифицированных на глубину от нескольких микрометров до 1,0...3,0 мм [6]. За счет происходящего при этом измельчения зерен возможно упрочнение металлов без образования твердых фаз. К недостаткам процесса относятся появление внутренних напряжений в дорожках упрочнения, что может приводить к трещинообразованию, а также вероятность порообразования при упрочнении с оплавлением за счет выделения газов при выгорании неметаллических включений в основном металле [5, 7]. Наличие газов приводит к возникновению пузырьков в жидком металле ванны расплава, а из-за короткого времени существования ванны пузырьки не успевают подняться на ее поверхность.

Одна из первых оригинальных разработок, в полной мере использующая оптические преимущества лазерного излучения для процессов термо-

Таблица 1. Параметры различных типов лазеров высокой мощности, используемых в процессах упрочнения и нанесения покрытий

Параметры лазера	CO ₂ -лазер	Nd:YAG с накачкой		Диодный
		ламповой	диодной	
Длина волны, мкм	10,6	1,06	1,06	0,8...0,94
КПД, %	5...10	1...3	10...12	30...50
Максимальная мощность, кВт	40	4	4	6
Средняя плотность мощности, Вт/см ²	1·10 ⁶ ...1·10 ⁸	1·10 ⁵ ...1·10 ⁷	1·10 ⁶ ...1·10 ⁹	1·10 ³ ...1·10 ⁵
Период между сервисными обслуживаниями, ч	2000	200	10000	10000
Передача излучения по оптическому волокну	Нет	Есть	Есть	Есть
Качество излучения, мм·мрад	12	25...45	12	100...1000



обработки, — это специальная оптика, которая с помощью сегментированного зеркала интегрирует энергию путем наложения множества отдельных элементов пучка [8]. В конце 1980-х годов разработаны и применяли сканирующие головки с микропроцессорным управлением для лазерной термообработки и наплавки. До настоящего времени для равномерного распределения энергии при обработке деталей сложной формы часто используют сканирование лазерного излучения [9], что обеспечивает значительную гибкость процессов термоупрочнения и нанесения покрытий.

Лазерное легирование предполагает создание на обрабатываемой поверхности сравнительно небольшой (примерно диаметром 0,2...0,6 мм при глубине 0,1...3,0 мм) ванны расплава, в которую вводят металлические или неметаллические (например, газообразные) легирующие элементы [4, 5, 10–12]. В результате перемещения теплового источника относительно обрабатываемой поверхности на последней образуется слой с измененными физико-химическими характеристиками. К преимуществам лазерного легирования относят [4, 5] возможность легирования металлических поверхностей на глубину до 2...3 мм с образованием как химических соединений, так и твердых растворов легирующих элементов в структуре металла; получение структур с высокой дисперсностью и минимальной зоной термического влияния (ЗТВ) благодаря минимизации теплового воздействия на подложку; значительное снижение по сравнению с плазменными методами остаточных деформаций. Недостатки данного процесса во многом аналогичны недостаткам лазерной термообработки. Отличие состоит в образовании пор, свищей и выплесков, связанных с подачей в ванну расплава легирующих материалов (в первую очередь газообразных).

Лазерная наплавка как способ нанесения покрытий берет свое начало от появившегося несколько ранее лазерного легирования [4, 5, 10–12]. При наплавке за счет подачи наплавочного материала (в основном в виде порошка, реже — проволоки) в зону действия сфокусированного в пятно диаметром 1,0...5,0 мм лазерного излучения на обрабатываемой поверхности создается покрытие определенной высоты с заданными физико-химическими характеристиками. Возможны также варианты лазерной наплавки по предварительно нанесенным на подложку слоям наплавляемого материала. Эти слои сначала получают газотермическим напылением или обмазкой, состоящей из наплавочного порошка со связующим, а затем переплавляют с помощью лазерного излучения [13]. Наплавку с предварительным напылением слоев обычно называют лазерным переплавом [14]. Полученное покрытие связано с материалом основы переходной зоной сравни-

тельно малых (от 5...10 до 50...200 мкм) размеров [4]. Прочность сцепления покрытия с основным металлом достаточно высока и приближается к прочности последнего.

Одним из важных моментов в технологии наплавки является способ подачи наплавочного материала к подложке. Изучение лазерных способов сварки и наплавки показало, что в то время как в процессах с подачей проволоки обработка осуществляется в основном практически в любом пространственном положении, преимущество порошковых материалов состоит в более эффективном поглощении лазерного излучения [15]. Наплавку в нижнем положении можно выполнять путем предварительного распределения по обрабатываемой поверхности порошка [16]. Применение порошковых материалов в иных пространственных положениях обычно требует нанесения покрытий с помощью газопламенного [17] или плазменного напыления [18] либо печной сушки пастообразной обмазки [19]. Если порошок нельзя распределить по поверхности наплавляемого изделия предварительно, то его подают специальными дозаторами в процессе наплавки. На сегодня широкое распространение получила лазерная наплавка с использованием присадочных порошковых материалов, которые подаются непосредственно в зону действия лазерного излучения посредством специальных порошковых дозаторов различных конструкций [20].

К преимуществам лазерной наплавки относят возможность нанесения наплавляемых слоев с заданными свойствами высотой 0,1...3,0 мм [4, 5]; значительное ослабление эффекта перераспределения компонентов из материала основы в наплавленный слой, что способствует повышению точности прогнозирования результатов и максимальному приближению свойств наплавленного слоя к свойствам наплавляемого материала [4, 19]; получение равноосных мелкокристаллических (высокодисперсных) структур наплавленного металла и ЗТВ малой (до 0,1...0,5 мм) протяженности [21]; минимизация припуска под финишную механическую обработку составляет приблизительно до 0,3...0,5 мм на сторону за счет малой (до 200...300 мкм) шероховатости наплавленной поверхности [22, 23].

Недостатками лазерной наплавки являются наличие поперечных холодных микротрещин в слоях наплавки и легирования, возникновение которых является следствием релаксации высоких внутренних напряжений растяжения [14]; возможность образования как внутренних, так и наружных пор, что связано с наличием неметаллических включений, остаточной влажностью наплавочного порошка, а также с загрязнением наплавляемой поверхности; сравнительная дороговизна процесса, обусловленная высокой себестоимостью ла-

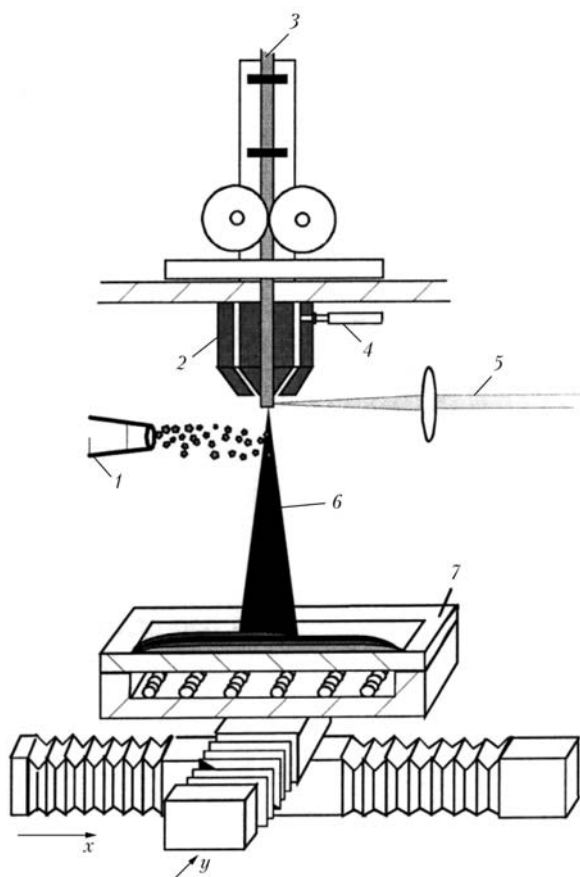


Рис. 1. Схема процесса лазерного напыления путем распыления проволоки с дополнительным введением порошковых материалов для получения композитных покрытий: 1 — подача порошка; 2 — сопло; 3 — распыляемая проволока; 4 — газ; 5 — лазерное излучение; 6 — напыляющая струя; 7 — подложка

зерного оборудования [4, 5]. Вопросы контроля, снижения и полного устранения трещинообразования при лазерной наплавке исследовали в разное время многие авторы (например, [4, 5, 14]). Сравнительно недавно украинскими учеными была предложена математическая модель этого явления, связывающая расстояние между трещинами с механическими свойствами покрытий и их толщинами [24]. Из изложенного выше следует, что к перспективным способам устранения недостатков процесса можно отнести те, которые позволяют снизить остаточные термические напряжения в наносимых слоях в сочетании с тщательной подготовкой присадочных порошков и наплавляемой поверхности. К таким способам, в частности, относится изменение термического цикла процесса наплавки за счет использования дополнительного теплового источника (например, сочетание лазерного излучения с плазменной струей).

С помощью лазерной наплавки получают износо- и коррозионностойкие микрокристаллические, аморфизированные и аморфные покрытия из достаточно широкой гаммы материалов [21]. Од-

нако в первой половине 1980-х годов лазерную наплавку в основном применяли для восстановления изношенных деталей, работающих в условиях трения-скольжения, ударных нагрузок, абразивного износа и т. д. [4, 5, 22, 23]. Сегодня лазерная восстановительная наплавка не утратила своей актуальности даже в развитых странах [25], более того, разработана технология подводной лазерной наплавки [26].

В 1980-е годы активно проводили исследования процесса лазерного термического напыления [27, 28]. Но поскольку выполненные таким способом покрытия по своим свойствам были близки к покрытиям, выполняемым плазменными способами сварки, в дальнейшем этот процесс получил меньшее распространение, чем лазерная наплавка. В качестве напыляемых в этом процессе используются как порошковые материалы, так и проволоки, которые подаются со скоростью 0,5...11,0 м/мин (рис. 1). Напыление можно выполнять со скоростью 0,5...5,0 м/мин на дистанции между головкой и образцом 50...150 мм при мощности CO_2 -лазера 1...5 кВт [27]. Подаваемый под давлением 0,1...0,5 МПа технологический газ может быть как инертным (например, аргон), так и химически активным (азот, кислород). Возможен также вариант порошкового лазерного напыления с нагревом напыляемого порошка лазерным излучением [28]. Различия между процессами газопламенного напыления, лазерной наплавкой и лазерным порошковым напылением наглядно представлены на рис. 2. При лазерной наплавке пятно нагрева лишь немногим меньше, чем при лазерном напылении, однако в последнем случае отсутствует прямое действие излучения на подложку, что повышает локальность теплового воздействия. Прочность сцепления слоев с подложкой обратно пропорциональна высоте напыляемых слоев. В работе [29], посвященной вопросу математического моделирования лазерного порошкового напыления, расчеты проведены по двум наиболее перспективным вариантам — с основной подачей излучения и порошка и с нагревом порошка излучением (рис. 2, в).

По схеме, представленной на рис. 1, при подаче проволоки без использования порошка проводили лазерное напыление титана и нитрида титана на стальную основу путем распыления титановой проволоки в смеси газов $\text{Ar} + \text{N}_2$ с целью получения жаростойких покрытий [30]. В связи с меньшей по сравнению с порошками стоимостью проволок использование последних для лазерного напыления позволяет снизить себестоимость этого процесса. Но следует отметить, что выполненные таким способом покрытия близки по своим свойствам к получаемым дуговой металллизацией [31]. Достоинства лазерного напыления подобны основным достоинствам процессов газотермическо-

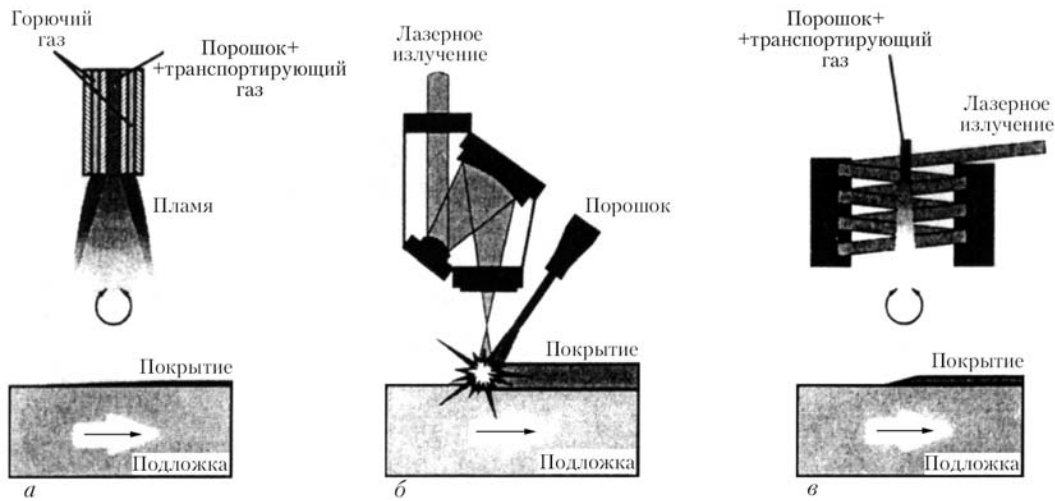


Рис. 2. Схемы технологических процессов газотермического напыления (а), лазерной наплавки (б) и лазерного порошкового напыления (в) [26]

го (например, микроплазменного) напыления [32]. К недостаткам этого процесса в первую очередь относят необходимость предварительной струйно-абразивной подготовки напыляемой поверхности и достижение значительно меньшей по сравнению с лазерной наплавкой прочности сцепления нанесенных слоев с подложкой.

Сегодня способом лазерного напыления получают тонкие покрытия с аморфной и кристаллической микроструктурой, имеющие шероховатость, практически совпадающую с шероховатостью напыляемой поверхности [33]. Такие покрытия характеризуются свойствами как металлов, так и полупроводников. Другим перспективным направлением развития этого способа является нанесение керамических покрытий, в частности, лазерное напыление оксида алюминия [34]. При этом покрытия можно наносить на подслои, например, из никелевых сплавов.

Еще одним аспектом применения лазерного напыления является прецизионный синтез трехмерных изделий. Авторы работы [35] предлагают с помощью робота получать практически любые трехмерные изделия из порошков металлов, керамик или полимеров. Процессы синтеза берут свое начало от лазерного селективного спекания [36]. Одним из наиболее перспективных современных направлений является DMD (direct metal deposition) технология, которая применяется чаще всего для изготовления штампов и пресс-форм (рис. 3). В отличие от процесса, описанного в работе [35], DMD технология может рассматриваться как трехмерная лазерная наплавка, а не напыление. В ходе процесса DMD лазерный пучок фокусируется на металлической заготовке — трехмерной пресс-форме (детали, приблизительно воспроизводящей форму объекта) или на поврежденной металлической детали, где создает зону расплавленного металла. Тонкая струя металлического порошка впрыскивается с помощью тран-

спортирующего газа в зону расплава. Цельнометаллическая деталь создается послойно в результате перемещения лазерного излучения и струи порошка под управлением компьютера по трехмерной CAD (computer aided design) модели.

Еще одним способом лазерного нанесения покрытий является вакуумное лазерное осаждение, называемое также лазерно-плазменным напылением. В случае использования модулированного лазерного излучения длительность его импульсов может составлять 60...350 нс при плотности мощности до 2...5 ГВт/см². Таким способом выполняют напыление тонких (менее микрометра) пленок. Примерами поверхностного осаждения пленок

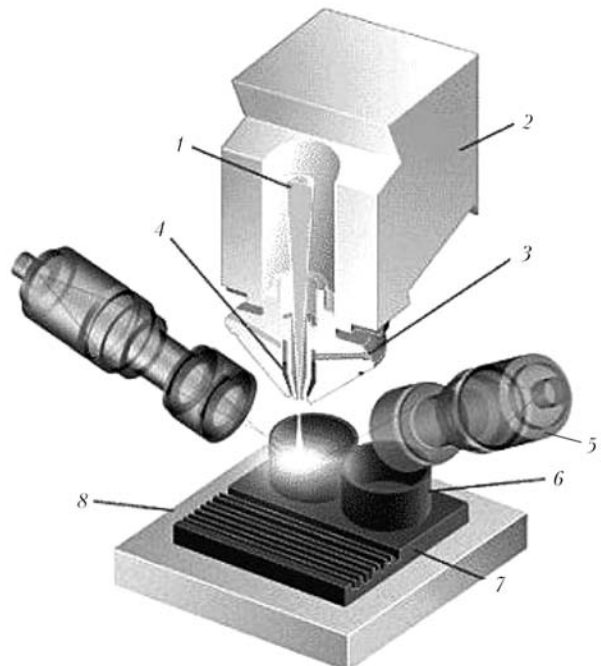


Рис. 3. Схема процесса трехмерного синтеза изделий по DMD технологии: 1 — излучение CO₂-лазера; 2 — фокусирующая оптика; 3 — подача порошка; 4 — защитный газ; 5 — сенсоры оптической системы обратной связи; 6 — создаваемый объект; 7 — заготовка или форма; 8 — платформа

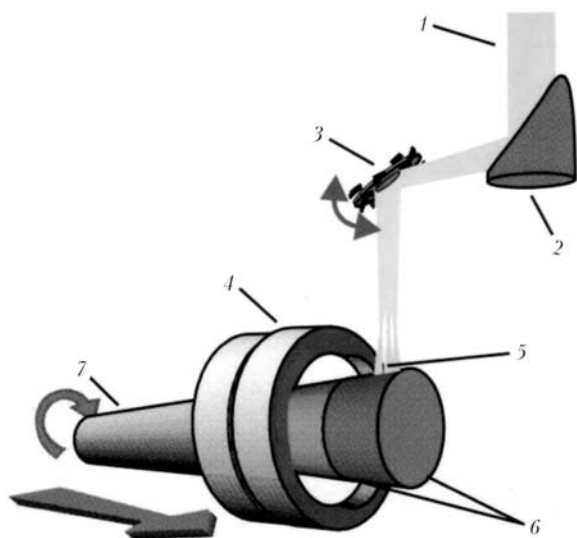


Рис. 4. Схема лазерно-индукционной термообработки и наплавки с сопутствующим ВЧ-подогревом [39]: 1 — лазерное излучение; 2, 3 — соответственно фокусирующая и сканирующая оптика; 4 — индуктор; 5 — сформированный лазерный луч; 6 — нагреваемые посредством индуктора участки образца; 7 — обрабатываемый образец

нок могут служить тонкие пленки высокотемпературных сверхпроводников, пленки из таких материалов, как GaAs, InGaAs, PbTe, Bi, ZrO_2 , $SrTiO_3$, ZnO, а также алмазоподобные [37]. Тонкие поверхностные пленки получают при использовании лазерного излучения в CVD (chemical vapor deposition) и PVD (physical vapor deposition) процессах [38]. Как правило, здесь лазерное излучение выполняет вспомогательную роль для улучшения уже существующих процессов, что отражено в названиях LACVD (Laser assisted CVD) и LECVD (Laser enhanced CVD). К преимуществам этих процессов следует отнести возможность достижения высоких физико-механических свойств покрытия, получение поверхностей, не нуждающихся в финишной обработке и имеющих шероховатость, аналогичную шероховатости подложки; к недостаткам — наличие специальных камер и вакуумной аппаратуры, сложность подготовки поверхности изделия для нанесения покрытия, нежелательное осаждение наносимого материала на поверхности оборудования внутри вакуумных камер.

В последнее время ведутся разработки таких комбинированных технологических процессов, как наплавка, нанесение покрытий и термообработка, выполняемых лазерным излучением с сопутствующим высокочастотным (ВЧ) подогревом [39]. При наличии подающего наплавочный порошок дозатора-питателя по аналогичной схеме (рис. 4) реализуется процесс лазерно-индукционной наплавки.

Одним из примеров применения лазерно-индукционной термообработки является поверхностный переплав чугуновых кулачков с целью по-

лучения износостойкого ледебуритного слоя. ВЧ составляющая позволяет устранять остаточные внутренние напряжения и микротрещины в модифицированном слое. Именно это (наряду с возможностью значительного повышения скорости обработки либо снижения лазерной мощности) и является основным достоинством лазерно-индукционных процессов. К недостаткам относится объемный разогрев обрабатываемой детали до высоких ($500 \dots 1000^\circ\text{C}$) температур, что может привести к термодисторсиям. Поэтому комбинированной лазерно-индукционной обработке целесообразно подвергать осесимметричные изделия (например, тела вращения). Еще одним недостатком можно считать значительную энергоемкость комбинированного процесса. В подобных процессах, помимо ВЧ электромагнитного поля, может также использоваться постоянное электрическое.

Разновидностью комбинированной обработки, при которой используется лазерное излучение, являются лазерно-светолучевые технологии [40]. Светолучевые технологические процессы активно развивались в 1970–1980-е годы [41]. Светолучевые обработки успешно применяют для сварки и пайки (например, автомобильных радиаторов), но больший интерес этот процесс представляет для термообработки, в том числе комбинированной лазерно-светолучевой [40]. В последнем случае светолучевой подогрев выполняет ту же роль, что и индукционный или электрический, но при этом отсутствует такой недостаток, как повышенная энергоемкость.

В последнее десятилетие на смену сугубо лазерным технологиям все чаще приходят гибридные и комбинированные. К ним относятся лазерно-плазменные процессы, в которых используется совместное действие дуговой плазмы и лазерного энергетического источника. Проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона исследования процессов взаимодействия сфокусированного излучения CO_2 -лазера с плазмой столба электрической дуги показали, что в такой системе возможно возникновение особого типа газового разряда — комбинированного лазерно-дугового [42]. Его свойства отличаются от свойств как электрической дуги, так и оптического разряда, поддерживаемого лазерным излучением. Способность комбинированного разряда генерировать высокотемпературную плазму с высокой степенью неравновесности (неизотермичности) даже при атмосферном давлении окружающего газа делает его привлекательным для применения в плазмохимических, в том числе CVD технологиях. Проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона теоретические и экспериментальные исследования показали, что указанные свойства комбинированного разряда могут быть положены в основу создания нового класса плазменных устройств — интегрированных лазерно-дуговых

плазмотронов [43, 44]. Для таких новых гибридных процессов, как лазерно-микроплазменная сварка, наплавка и напыление, гибридное лазерно-плазменное нанесение алмазных и алмазоподобных покрытий, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона, создан ряд не имеющих аналогов в мировой практике интегрированных лазерно-дуговых плазмотронов прямого и косвенного действия [44].

Обычно развитие лазерно-плазменных процессов происходит в направлении модификации поверхностей и нанесения покрытий толщиной 0,1...3,0 мм [45, 46]. Ярким примером модификации поверхностей может служить лазерно-плазменная закалка и термоупрочнение [45]. Во многом этот процесс схож с лазерным термоупрочнением [4–6]. Основным отличием является возможность замены определенной доли лазерной энергии энергией дуговой плазмы. Большой интерес представляют процессы лазерно-плазменного напыления (рис. 5). В этих процессах объединено действие лазерного нагрева поверхности с плазменным нанесением покрытий при совмещении пятна фокусирования лазерного излучения 3 с зоной формирования покрытия 5 (рис. 5) [46]. Эта технология получила название плазменное напыление, сопровождаемое лазерным нагревом (Laser assisted atmospheric plasma spraying) [47]. Применение этого процесса дает возможность получить плотный слой с повышенной прочностью сцепления. Фирмы «LERMPS-IPSe» и «IREPA-Laser» разработали и запатентовали технологию «Протал», которая за счет неполного перекрытия зоной лазерного нагрева зоны плазменного напыления обеспечивает эффект подготовки поверхности путем абляции поверхностного слоя основы, что исключает необходимость струйно-абразивной обработки [47, 48].

Вслед за японскими и французскими учеными [48] исследования процесса лазерно-плазменного напыления проводили в Германии (Институт Фраунгофера), РФ, а также в Украине. В частности, в РФ созданы плазменно-лазерная оснастка и технологии получения покрытий с помощью динамических фокусаторов [49]. Украинскими учеными [50] предложена математическая модель, описывающая движение и нагрев частиц порошка при лазерном, плазменном и гибридном напылении.

Проведены эксперименты по применению комбинированных лазерно-плазменных процессов нанесения на режущий инструмент покрытий, отличающихся повышенными тепло- и износостойкостью, а также пониженным коэффициентом трения-скольжения

при контактных эксплуатационных нагрузках [45].

В Украине приоритет в области комбинированного лазерно-плазменного нанесения покрытий принадлежит ИЭС им. Е. О. Патона, работы в этом направлении ведутся с начала 2000 г. [44]. Первоначально в исследованиях использовали непрерывное излучение CO_2 -лазера, в отличие от зарубежных разработок, в которых применяли импульсное излучение Nd:YAG-лазера [46] или непрерывное излучение Nd:YAG и диодного лазеров [51]. В настоящее время в ИЭС им. Е. О. Патона осваиваются приемы лазерно-плазменного нанесения покрытий с использованием лазеров указанного типа. Более прогрессивным в плане совместного использования энергии лазерного излучения и плазмы является способ гибридного нанесения покрытий, при котором лазерное излучение пропускается по оси плазмы [42, 43, 52]. При этом транспортирование порошкового материала осуществляют с предварительным подогревом за счет энергии лазерно-плазменного разряда [51]. В отличие от этого гибридного способа, способ, представленный на рис. 5, следует считать комбинированным. В этом случае для подогрева напыляемого порошка используют только энергию плазмы.

Кроме лазерно-плазменного напыления, в настоящее время развивается технология гибридной лазерно-плазменной наплавки. В этом процессе используют плазмотроны прямого действия и в основном порошковые наплавочные материалы [53]. Главным его преимуществом является осуществление дополнительного сжатия плазменной дуги за счет использования сфокусированного лазерного излучения (рис. 6). По мнению авторов работы [54], наиболее перспективным для этой цели является импульсное излучение Nd:YAG-лазеров в связи с возможностью его гибкого подвода по оптическому волокну в оптимизированном пространственном положении. По сравнению с лазерной наплавкой лазерно-плазменная позволяет существенно

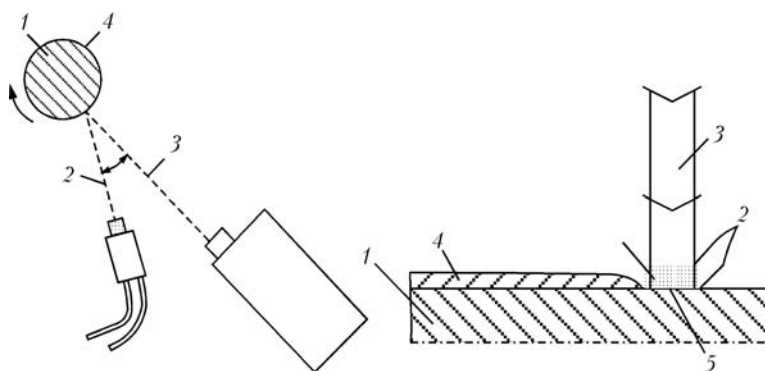


Рис. 5. Схемы процесса комбинированного лазерно-плазменного напыления покрытий [46]: 1 — образец; 2 — плазменная струя, транспортирующая порошок; 3 — лазерное излучение; 4 — нанесенный слой; 5 — зона формирования покрытия

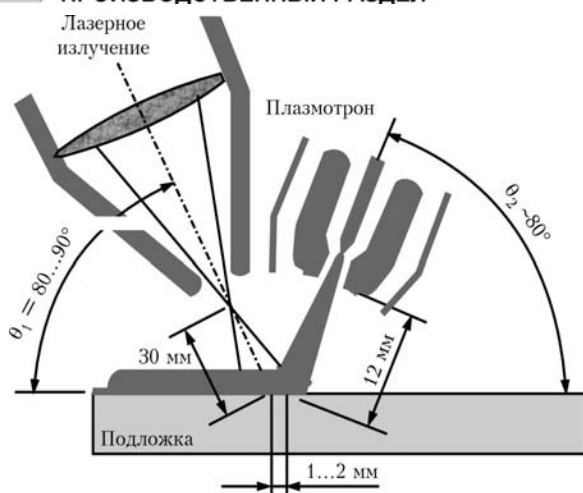


Рис. 6. Схема оптимизированного соотношения геометрических параметров процесса порошковой лазерно-плазменной наплавки, при которой используется излучение Nd:YAG-лазера (деталь — анод) [54]

снизить остаточные напряжения в наплавленных слоях, однако одним из основных ее недостатков остается значительное тепловое воздействие на наплавляемое изделие.

Анализ достоинств и недостатков плазменных, лазерных и лазерно-плазменных процессов наплавки и нанесения покрытий позволяет выявить следующее. Особенности большинства процессов плазменного напыления являются необходимость предварительной (чаще всего струйно-абразивной) подготовки поверхности, применение в ряде случаев подслоев и определенный уровень несплошности (микропористости) покрытий (табл. 2).

В случае плазменной наплавки деталь может испытывать значительный нагрев, что приводит к остаточным термодформациям. Лазерные и лазерно-плазменные процессы позволяют минимизировать нагрев детали, повысить прочность сцепления

наносимых слоев с подложкой, отказаться от нанесения подслоев и упростить подготовку обрабатываемой поверхности. Однако в лазерных процессах наплавки есть и определенные недостатки: напряженное состояние наплавленных слоев, наличие в них пор и микротрещин. Гибридные (комбинированные) лазерно-плазменные процессы за счет взаимодействия составляющих либо их совместного влияния на обрабатываемое изделие частично или полностью не имеют указанных недостатков. Так, сжатие и стабилизация плазменной дуги лазерным излучением позволяет повысить скорость процесса обработки и снизить общее тепловложение; предварительный подогрев порошка комбинированным разрядом в сочетании с изменением термического цикла лазерной обработки за счет добавки плазменной составляющей снижает остаточные напряжения, устраняет поро- и трещинообразование; очистка обрабатываемой поверхности за счет лазерной абляции и ее поверхностное оплавление упрощает операцию предварительной подготовки и т. д.

Таким образом, анализ процессов лазерного и гибридного (комбинированного) упрочнения и нанесения покрытий показал, что благодаря их применению стали возможными получение коррозионно- и износостойких покрытий с повышенными физико-механическими характеристиками, синтез трехмерных объектов, создание тонких покрытий (например, алмазных и алмазоподобных), отличающихся специальными свойствами. Перспективы дальнейшего развития лазерно-плазменных (лазерно-дуговых) процессов модифицирования поверхностей и нанесения покрытий связаны с устранением недостатков, присущих каждой из составляющих в отдельности (лазерному и дуговому тепловым источникам), а также с повышением эффективности их взаимодействия.

Таблица 2. Сопоставление характеристик процессов газотермического и лазерного нанесения покрытий

Характеристики процесса нанесения покрытий	Газотермическое напыление	Лазерное нанесение покрытий
Тепловой источник	Газовое пламя, электрическая дуга или плазма	Лазерное излучение высокой интенсивности
Связь покрытия с основой	Механическая связь низкой или умеренной прочности*	Высокопрочная металлургическая связь
Структура покрытия	Чешуйчатая; от пористой до почти плотной*	Плотные; слои без трещин и пор
Тепловая нагрузка на рабочую зону	Низкая температура нагрева*	Незначительный нагрев
Смешение с металлом основы	Отсутствует	Незначительное
Толщина покрытия	От 0,05 до нескольких миллиметров	0,5...3,0 мм
Материал покрытий	Широкая номенклатура металлов, сплавов, твердых металлов, керамик и полимеров*	Металлы и сплавы; сплавы с твердыми частицами; твердые металлы; керамика
Производительность	От низкой до высокой*	От низкой до умеренной/(высокой)*
Себестоимость	От низкой до высокой*	От умеренной до высокой

* В зависимости от типа процесса.



1. Григорьянц А. Г., Мисюрюв А. И. Возможности и перспективы применения лазерной наплавки // Технол. машиностр. — 2005. — № 10. — С. 52–56.
2. Коваленко В. С. Лазерная технология на новом этапе развития // Автомат. сварка. — 2001. — № 12. — С. 4–10.
3. Vuoristo P., Tuominen J., Nurminen J. Laser coating and thermal spraying — process basics and coating properties // Proc. of ITSC-2005, Basel, Switzerland, May 2–4, 2005. — Basel, 2005. — P. 1270–1277.
4. Лазерная техника и технология: В 7 кн. — М.: Высш. шк. — Кн. 3: Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Методы поверхностной лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А. Г. Григорьянца, 1987. — 191 с.
5. Технологические лазеры: Справ.: В 2 т. — М.: Машиностроение. — Т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация / Г. А. Абилюситов, В. С. Голубев, В. Г. Гонтарь и др.; Под ред. Г. А. Абилюситова, 1991. — 432 с.
6. Свойства доэвтектидных комплексно-легированных сталей после лазерной термообработки / В. Ю. Хаскин, С. Ю. Павловский, В. П. Гарашук и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 5. — С. 53–57.
7. Канарчук В. С., Чигринцев А. Д., Шапошников Б. В. Лазерная техника та технологія для зміцнення і відновлення деталей і апаратів. — К.: Укр. транспорт. ун-т, 1995. — 42 с.
8. Pat. 4195913 US. Optical integration with screw supports / D. Dourte, N. J. Spawr, R. L. Pierce. — Publ. 04.80.
9. Pat. 4387952 US. Single axis beam scanner / R. B. Slusher. — Publ. 14.06.83.
10. Abboud J. H., West D. R. F. Processing aspects of laser surface alloying of titanium with aluminium // Mater. Sci. and Technol. — 1991. — 7, № 4. — P. 353–356.
11. Laser surface alloying using metal salt precursors / M. Pons, A. Hugon, A. Galerie, A. Fasasi // Surface and Coat. Technol. — 1991. — 45, № 1–3. — P. 443–448.
12. Katayama S., Matsunawa A., Arata Y. Laser nitriding and hardening of titanium and other materials // Electron and laser beam weld. // Proc. Intern. conf., Tokyo, July 14–15, 1986. — Oxford, 1986. — P. 323–324.
13. Pokhmurska H. V., Dovhunyk V. M., Student M. M. Wear resistance of laser-modified arc-sprayed coatings made of FMI-2 powder wires // Mater. Sci. — 2003. — 39, № 4. — P. 533–538.
14. Похмурська Г. В. Утворення тріщин у газотермічних покриттях залежно від умов їх лазерного переплавлення // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2003. — № 1. — С. 59–62.
15. Laserstrahlschweißen mit pulverförmigem Schweißzusatz / Edelstahl-Mechanik GmbH // Praktiker. — 2007. — № 3. — S. 68–69.
16. Steen W. M., Courtney C. G. H. Hardfacing of nimonic 75 using 2 kW continuous wave CO₂ laser // Metals Technol. — 1980. — June. — P. 89–93.
17. Irons G. C. Laser fusing of flame spray coatings // Welding J. — 1978. — № 12. — P. 156–161.
18. Ayers J. D., Schaefer R. J. Consolidation of plasma-sprayed coatings by laser remelting // Laser applications in materials processing. — 1979. — 198. — P. 142–148.
19. Matthews S. J. Laser fusing of hardfacing alloy powders // Lasers in materials proc.: ASM conf. proc., Florida, USA, Nov., 1983. — Florida, 1983. — P. 138–148.
20. Автоматические порошковые питатели и технология лазерной наплавки / Zeng Xiaoyan, Zhu Beidi, Tao Zengyi et al. // Chin J. Lasers. — 1993. — 20, № 3. — P. 210–214.
21. Теоретическое исследование процессов лазерной аморфизации и получения микрокристаллических структур / И. Н. Завестовская, В. И. Игошин, А. П. Канавин и др. // Тр. ФИАН. — 1993. — 217. — С. 3–12.
22. Применения лазерной технологии в ремонтном производстве / В. Е. Архипов, Е. М. Биргер, Т. А. Смолонская и др. // Свароч. пр-во. — 1985. — № 1. — С. 7–8.
23. Лазерная наплавка фасок клапанов двигателя внутреннего сгорания / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов, В. В. Шибаев и др. // Там же. — 1984. — № 5. — С. 19–20.
24. Чекурин В. Ф., Похмурська Г. В. Математична модель розтріскування лазерно модифікованих металопорошковых покривів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2004. — № 5. — С. 18–22.
25. Гофман Я. Восстановление сменных деталей с помощью лазерных технологий // Автомат. сварка. — 2001. — № 12. — С. 37–38.
26. Underwater cladding with laser beam and plasma arc welding / R. A. White, R. Fusaro, M. G. Jones et al. // Welding J. — 1997. — № 1. — P. 57–61.
27. Fundamental study on thermal spraying by laser / M. Yoneda, A. Utsumi, K. Nakagawa et al. // Proc. of ATTAC'88, Osaka, May, 1988. — Osaka, 1988. — P. 137–142.
28. Wolf S., Volz R. Das Laserstrahlbeschichten integrierbarer Oberflächenschutz fuer ein breites Anwendungsspektrum des modernen Maschinenbaus // Proc. of thermal spraying conf. TS'96, Essen, Deutschland, Mar. 1996. — Essen, 1996. — S. 160–163.
29. Бушма А. И., Васенин Ю. Л., Кривцун И. В. Моделирование процесса лазерного напыления керамических покрытий с учетом рассеяния лазерного пучка напыляемыми частицами // Автомат. сварка. — 2005. — № 12. — С. 12–17.
30. Production of compositionally gradient coatings by laser spraying method / A. Utsumi, J. Matsuda, M. Yoneda et al. // Proc. of ITSC'95, Kobe, Japan, May, 1995. — Kobe, 1995. — P. 325–330.
31. Применение металлизации для восстановления деталей авиатехники из сталей 30ХГСП2А и 30ХГСА / С. Н. Юркевич, Е. Г. Прищепов, А. С. Прядко, В. Н. Мышковец // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2006. — № 6. — С. 32–33.
32. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справ. / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. — Киев: Наук. думка, 1987. — 544 с.
33. Pat. 6312768 US. Method of deposition of thin films of amorphous and crystalline microstructures based on ultrafast pulsed laser deposition / A. Rode, E. Gamaly, D. Luther-Davies. — Publ. 06.11.2001.
34. Microstructure of Al₂O₃ nanocrystalline/cobalt — based alloy composite coatings by laser deposition / Mingxi Li, Yizhu He, Xiaomin Yuan, Shihong Zhang // Materials & Design. — 2006. — 27. — P. 1114–1119.
35. Uchiyama F., Tsukamoto K., Fons P. Three-dimensional device fabrication using the laser spray process technique // Proc. of ITSC'95, Kobe, Japan, May, 1995. — Kobe, 1995. — P. 259–262.
36. Ragulya A. V. Selective laser sintering of multilayer oxide ceramics // Functional Materials. — 2001. — 8, № 1. — P. 162–166.
37. Varyukhin V. N., Shalaev R. V., Prudnikov A. M. Properties of diamond films obtained in a glow discharge under laser irradiation // Ibid. — 2002. — 9, № 1. — P. 111–114.
38. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение. — М.: Мир, 2000 — 518 с.
39. Induktiv unterstützte Lasermaterialbearbeitung / B. Brenner, J. Standfuß, V. Fux, S. Bonß. — Dresden, Germany: Fraunhofer-Institut fuer Werkstoff- und Strahltechnik, 2001. — 6 S.
40. Лазерно-световая обработка материалов как новое направление в гибридных процессах / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, С. С. Шилов, Г. М. Алексеев // Технол. машиностр. — 2005. — № 10. — С. 37–45.
41. Хорунов В. Ф., Шань Цзиго. Сварка и пайка с использованием светового луча дугowych ксеноновых ламп (Обзор) // Автомат. сварка. — 1995. — № 5. — С. 48–52.
42. Laser-arc discharge: Theory and applications / V. S. Gvozdetzky, I. V. Krivtsun, M. I. Chizhenko et al. // Welding and Surfacing Rev. — 1995. — 3. — 148 p.
43. 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.
44. Integrated laser-arc plasmatron for laser-plasma spraying and CVD processes / Yu. Borisov, A. Bushma, A. Fomakin



- et al. // Laser technologies in welding and materials processing: Proc. of the Second Intern. conf., vil. Katsiveli, Grimea, Ukraine, May 23–27, 2005. — Kiev: E. O. Paton Electric Welding Institute NASU, 2005. — P. 57–59.
45. Лазерно-плазменное упрочнение поверхностных слоев быстрорежущих сталей / В. В. Мелюков, В. А. Кузьмин, А. В. Частиков и др. // Материалы 7-й Международ. практ. конф.-выставки, Санкт-Петербург, 13–16 апр. 2005 г. — С.-Пб., 2005. — С. 156–164.
 46. *Pat. 5688564 US.* Process for the preparation and coating of a surface / C. L. M. Coddet, T. Marchione. — Publ. 18.11.97.
 47. *Characterization of coatings deposited by laser-assisted atmospheric plasma spraying* / R. Zreris, S. Nowotny, L.-M. Berger et al. // Proc. of thermal spray conf., Orlando, USA, 2003. — Orlando, 2003. — P. 567–572.
 48. *Surface preparation and thermal spray in a single step: the PROTAL process* / C. Coddet, G. Montagon, T. Marchione, O. Freneaux // Proc. of 15th ITSC, Nice, France, 1998. — Nice, 1998. — Vol. 2. — P. 1321–1325.
 49. Повышение эффективности плазменной обработки материалов при введении дополнительного источника энергии в виде лазерного излучения / Е. А. Чашин, А. В. Федин, А. А. Митрофанов, И. В. Шилов // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования: Сб. тр. Третьей междунар. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Санкт-Петербург, 14–17 март. 2007 г. — С.-Пб.: Изд-во политехн. ун-та, 2007. — С. 119–120.
 50. Борисов Ю. С., Бушма А. И., Кривцун И. В. Моделирование движения и нагрева частиц порошка при лазерном, плазменном и гибридном напылении // Доп. НАН України. — 2005. — № 1. — С. 86–94.
 51. *Pat. 6197386 US.* Method for applying a coating by means of plasma spraying while simultaneously applying a continuous laser beam / E. Beyer, S. Nowotny. — Publ. 06.03.2001.
 52. *Structure and microhardness of coatings of high-chromium cast iron powder in hybrid spraying and plasma spraying with subsequent laser glazing* / O. G. Devoino, M. A. Kardapolova, I. V. Krivtsun et al. // Laser technologies in welding and materials processing: Proc. of the Third Intern. conf., vil. Katsiveli, Grimea, Ukraine, 29 May–27 June, 2007. — Kiev: E. O. Paton Electric Welding Institute NASU, 2007. — P. 19–23.
 53. Hai-ou Zhang, Ying-ping Qian, Gui-lan Wang. Study of rapid and direct thick coating deposition by hybrid plasma—laser manufacturing // Surface & Coatings Technol. — 2006. — 201. — P. 1739–1744.
 54. Wilden J., Bergmann J. P., Dolles M. Riporti superficiali laser: aumento di efficienza e flessibilita tramite processi ibridi // Riv. Ital. Saldatura. — 2005. — Nov./Dic., 2005. — P. 809–816.

The paper analyzes the status of processes of heat hardening, alloying, cladding and coating, in which the main role is given to laser radiation. Technological sequences of the above processes are given, their advantages and disadvantages are noted. Prospects of further development of these processes are analyzed based on examples of their practical application.

Поступила в редакцию 19.06.2007



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

VII Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием

21–22 мая 2009 г.

г. Юрга

- Томский политехнический университет
- Юргинский технологический институт (филиал Томского политехнического университета)
- Департамент образования и науки Кемеровской области
- Администрация г. Юрга
- ООО «Юргинский машиностроительный завод»

- Инновационные технологии получения неразъемных соединений в машиностроении
- Инновационные технологии получения и обработки материалов в машиностроении
- Автоматизация, информатизация, экономика и менеджмент на предприятии
- Защита окружающей среды, безопасность и сохранность здоровья на предприятиях
- Передовые технологии и техника для разработки недр и землепользования

СЕКРЕТАРИАТ КОНФЕРЕНЦИИ

Адрес: ЮТИ ТПУ, 652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26.

Телефон для справок: (8-384-51) 6-53-95

Факс: (8-384-51) 6-53-95

E-mail: UTISCIENCE@RAMBLER.RU

Секретарь конференции: Е. Г. Фисоченко



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПОЛИЧАСТОТНОМ НАГРУЖЕНИИ

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

Предложены методика и аналитические зависимости для расчетной оценки циклической долговечности материалов, а также сварных соединений при поличастотном нагружении по исходным данным, отвечающим одночастотному нагружению. Проведенная экспериментальная проверка полученных зависимостей на крупномасштабных, в том числе сварных, образцах подтвердила их достоверность в широких пределах варьирования параметров поличастотного нагружения, спектр которого состоит из 3–7 составляющих.

Ключевые слова: металлические конструкции, сварные соединения, поличастотное нагружение, циклическая долговечность, расчет

Элементы мостов, подкрановых балок, изделий транспортного и энергетического машиностроения, судов, самолетов и многих других металлоконструкций в процессе эксплуатации подвергаются одновременному воздействию нескольких, отличающихся по амплитуде и частоте, переменных нагрузок. В общем случае эти нагрузки, обусловленные действием внешних и внутренних факторов, могут произвольно изменяться во времени и иметь случайный характер. В частности, пролетные строения мостов нагружаются автомобильным и железнодорожным транспортом; морские глубоководные стационарные платформы испытывают воздействие морских волн; металлические конструкции сооружений башенного типа, трубчатые конструкции — воздействие внутреннего и внешнего давления, а также воздушных или газовых потоков.

При существенном различии частот отдельных нагрузок со случайным изменением амплитуд и фаз такие сложные по спектру виды нагружения можно упрощенно представить детерминированными поличастотными режимами, имеющими простую форму цикла:

$$F(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t)$$

или полигармоническими режимами (рис. 1), в которых все составляющие изменяются по гармоническому закону:

$$F(t) = \sum_{i=1}^n A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i),$$

где A_i , ω_i — соответственно амплитуды и угловые частоты гармонических составляющих; φ_i — на-

чальные фазы (частота и начальная фаза каждой составляющей обычно являются случайными величинами в некоторой полосе частот $\omega_{\min} \leq \omega \leq \omega_{\max}$ и интервале фаз $0 \leq \varphi \leq \pi$).

Поскольку отдельные элементы механически связанных систем отличаются фильтрующими (избирательными) свойствами, то широкополосный спектр нагрузок обычно возбуждает в них относительно узкополосную реакцию. При этом во многих сооружениях преобладающее значение имеют лишь нагрузки с наименьшими частотами, так как с повышением частоты составляющих в резонансной области нагружения их уровни существенно снижаются. Это позволяет схематизировать реальную нагруженность таких изделий поличастотными режимами, ограничиваясь во многих случаях двумя–семью спектральными составляющими.

При поличастотном нагружении отдельные составляющие могут существенно отличаться по частоте, в результате чего сопротивление усталости материалов и сварных соединений может зависеть не только от взаимного отношения параметров составляющих, но и от номинальных значений частот.

Имеющиеся отечественные и зарубежные экспериментальные данные показывают, что дополнительное наложение высокочастотной составляющей на основной цикл переменных напряжений вызывает ускоренное накопление повреждений и интенсивное снижение циклической долговечности материалов и сварных соединений. В частности, при двухчастотном нагружении установлено, что отрицательное влияние второй составляющей увеличивается с повышением относительных значений ее амплитуды и частоты [1, 2]. Можно предположить, что увеличение спектрального состава нагрузок также будет сопровождаться снижением ресурса изделий, однако количественно определить сопротивление усталости материалов и соединений при поличастотном нагружении затруд-

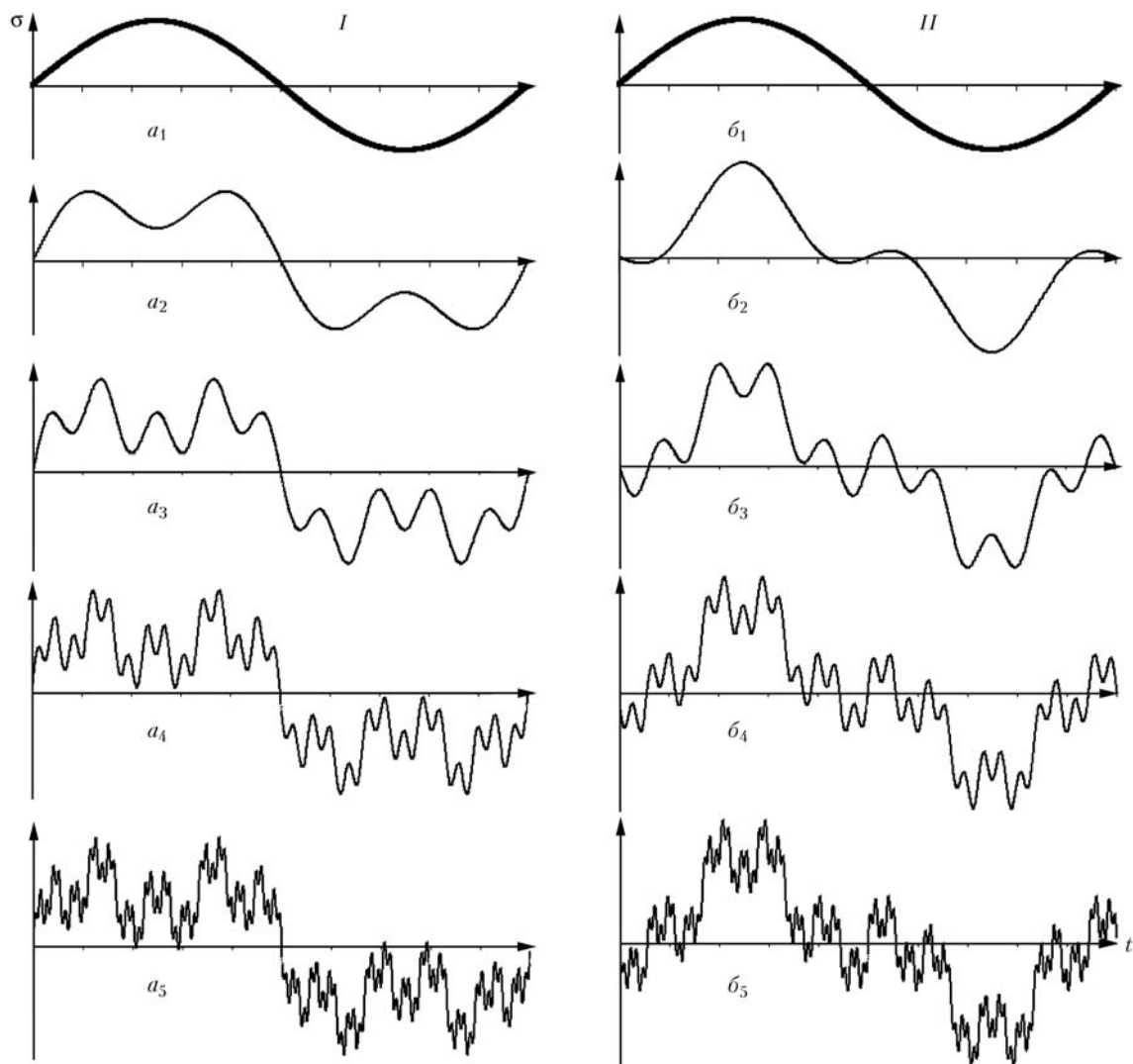


Рис. 1. Форма цикла при гармоническом a_1, b_1 и полигармоническом нагружении с двумя (a_2, b_2) — пятью (a_5, b_5) составляющими: I — начальные фазы всех составляющих $\varphi = 0$; II — начальная фаза основной составляющей b_1 равна $\varphi = 0$, всех остальных $\varphi = \pi$

нительно. Это обусловлено прежде всего тем, что существующие подходы к оценке циклической долговечности материалов при сложных видах переменного нагружения обычно базируются на гипотезе линейного суммирования повреждений. Полученные на ее основе расчетные зависимости дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными только для некоторых значений соотношений параметров и материалов, но в большинстве случаев они могут приводить к значительным погрешностям [3, 4]. Не обеспечивают приемлемой точности также предложения, основанные на использовании нелинейных зависимостей суммирования повреждаемости, трансформировании энергии и энергетической теории усталостного разрушения [4].

Многочисленные опытные данные, полученные на конструкционных сталях различных классов и уровней прочности и их сварных соединениях, показали [5], что коэффициент снижения

долговечности в условиях двухчастотного нагружения α_{1-2} можно найти из соотношения

$$\alpha_{1-2} = N_1 / N_{1-2} = (f_2 / f_1)^{\vartheta (\sigma_{a2} / \sigma_{a1})}, \quad (1)$$

где N_1, N_{1-2} — долговечности, измеряемые количеством циклов нагрузки до возникновения усталостной трещины определенных размеров при одинаковых уровнях напряжений соответственно одночастотного нагружения и низкочастотной составляющей двухчастотного нагружения; f_1, f_2 — частоты; σ_{a1}, σ_{a2} — амплитуды соответственно низко- и высокочастотной составляющих; ϑ — коэффициент пропорциональности, зависящий от механических свойств материала.

Если материал, вид соединения, концентрация напряжений, остаточные напряжения, асимметрия цикла, температура, критерий усталостного разрушения и прочие условия одно- и двухчастотного нагружения идентичны, то коэффициент α_{1-2} инвариантен к перечисленным параметрам на всех



уровнях напряжений в интервале между пределами выносливости и текучести материала. Это позволяет определять циклическую долговечность при двухчастотном нагружении N_{1-2} по имеющимся расчетным или экспериментальным значениям долговечности N_1 , отвечающим одночастотному нагружению:

$$N_{1-2} = N_1 / \alpha_{1-2}. \quad (2)$$

Можно полагать, что определенная зависимость коэффициента снижения долговечности существует и при большем количестве одновременно действующих переменных нагрузок, т. е. при поличастотном нагружении. Тогда, располагая сведениями о значении этого коэффициента при соответствующих параметрах поличастотного нагружения, циклическую долговечность материалов и соединений можно определять аналогичным образом. Однако поиск таких коэффициентов экспериментальным путем осложняется неограниченным количеством возможных комбинаций амплитуд, частот и составляющих. Кроме того, до настоящего времени не установлен закон накопления повреждений при одной или нескольких составляющих спектра циклических напряжений, особенно на стадии зарождения усталостных трещин.

Установление функциональной связи между параметрами поличастотной нагрузки и коэффициентом изменения циклической долговечности может существенно упроститься, если закономерности накопления повреждений в условиях одно- и поличастотного нагружения подобны. Применительно к двухчастотному нагружению вывод о подобии этих закономерностей следует из анализа полученных ранее результатов экспериментальных исследований конструкционных материалов и сварных соединений. В данном случае инвариантность коэффициента α_{1-2} к ряду конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов можно объяснить одинаковым проявлением их влияния на процессы усталости как при одно-, так и двухчастотном нагружении. В последнем случае циклическая долговечность снижается только под действием дополнительной высокочастотной составляющей, что приводит при фиксированных значениях амплитудных и частотных отношений к параллельному смещению исходной кривой усталости в область меньшей долговечности, а кинетической диаграммы усталостного разрушения — в область более высоких скоростей развития усталостной трещины. Параллельное расположение кривых усталости или диаграмм усталостного разрушения указывает на то, что закономерности процессов накопления повреждений на одинаковых уровнях одно- и двухчастотного нагружений подобны и различаются между собой лишь коэффициентами пропорциональности. Из этого следует, что при фикс-

сированном уровне переменных напряжений и едином критерии усталостного разрушения, которым обычно служит усталостная трещина определенных размеров, усталостные повреждения, накопленные в условиях одно- и двухчастотного нагружения, одинаковы. Очевидно, имеет смысл принять в качестве критерия накопленного повреждения условную или реальную усталостную трещину длиной L . В этом случае сопоставление результатов усталостных испытаний можно проводить по средним значениям уровней накопленных повреждений от отдельных циклов переменной нагрузки без учета кинетики повреждаемости материала, которая для каждого вида нагружения в отдельности зависит от многих факторов. Тогда среднюю скорость повреждения за один цикл переменного нагружения V на уровне напряжений σ_a можно определить из выражения

$$V = L/N, \quad (3)$$

где L — накопленное повреждение, эквивалентное реальной или условной усталостной трещине, выраженное в единицах длины (глубины или площади); N — циклическая долговечность до накопления повреждения L , выраженная количеством циклов нагрузки.

При таком подходе накопленное повреждение в условиях одночастотного нагружения можно представить в виде

$$L_1 = V_1 N_1, \quad (4)$$

а двухчастотного нагружения в виде

$$L_{1-2} = V_{1-2} N_{1-2}. \quad (5)$$

Очевидно, что усталостные повреждения при двухчастотном нагружении вызываются совместным действием N_1 циклов основной, обычно низкочастотной нагрузки и N_2 циклов накладываются на нее меньшей по значению, но более высокочастотной нагрузки. В этом случае общая величина повреждений равна:

$$L_{1-2} = L_1 + L_2. \quad (6)$$

Если учесть, что для определения коэффициента снижения долговечности при двухчастотном нагружении сопоставляемые количества циклов N_1 и N_{1-2} должны выбираться при одинаковых значениях длин усталостных трещин $L_1 = L_{1-2}$, то равенство их значений $V_1 N_1 = V_{1-2} N_{1-2}$ с учетом выражения (1) позволяет получить зависимость

$$V_{1-2}/V_1 = \alpha_{1-2}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что средняя скорость накопления усталостных повреждений при двухчастотном нагружении в α_{1-2} раз больше, чем при одночастотном. Для оценки степени влияния каждой составляющей двухчастотного нагруже-



ния на процесс накопления усталостных повреждений следует сопоставить повреждения, накопленные в условиях одно- и двухчастотного нагружения при одинаковых количествах циклов составляющей двухчастотного нагружения и низкочастотной составляющей двухчастотного нагружения, т. е. $N_1 = N_{1-2}$. Тогда повреждение от низкочастотной составляющей L_1 можно определить из выражения (4), а от высокочастотной составляющей L_2 — из соотношения

$$L_2 = L_{1-2} - L_1 = V_{1-2}N_{1-2} - V_1N_1 = N_1(V_{1-2} - V_1).$$

После замены в этом выражении $V_{1-2} = V_1\alpha_{1-2}$ его значением из выражения (7), повреждение L_2 можно представить в виде: $L_2 = N_1V_1(\alpha_{1-2} - 1)$, а с учетом (4) в виде

$$L_2 = L_1(\alpha_{1-2} - 1). \quad (8)$$

Это выражение показывает, что процесс накопления усталостных повреждений L_2 от дополнительной высокочастотной составляющей происходит в $(\alpha_{1-2} - 1)$ раз интенсивнее, чем от основной низкочастотной составляющей двухчастотного нагружения. На основании этого общие повреждения, вызванные совместным действием низко- и высокочастотной составляющих двухчастотного нагружения, можно представить в виде

$$L_{1-2} = L_1 + L_1(\alpha_{1-2} - 1) = L_1\alpha_{1-2}, \quad (9)$$

а среднюю скорость их накопления в виде

$$V_{1-2} = L_1\alpha_{1-2}/N_{1-2}. \quad (10)$$

По аналогии с двухчастотным нагружением общие усталостные повреждения, накопленные при поличастотном нагружении, могут быть определены в виде суммы повреждений от всех составляющих:

$$L_{1-n} = L_1 + L_2 + \dots + L_n. \quad (11)$$

После подстановки в выражение (11) соответствующих значений и несложного преобразования зависимость для определения усталостного повреждения при поличастотном нагружении L_{1-n} по данным одночастотного нагружения L_1 может быть представлена в виде

$$L_{1-n} = L_1 \left[1 + \sum_{i=2}^n (\alpha_i - 1) \right]. \quad (12)$$

По аналогии с зависимостью (9) коэффициент снижения циклической долговечности при поличастотном нагружении может быть определен из выражения (12) в виде

$$\alpha_{1-2} = 1 + \sum_{i=2}^n (\alpha_i - 1). \quad (13)$$

Эта зависимость позволяет определять циклическую долговечность при поличастотном нагружении N_{1-n} подобно (2) по формуле

$$N_{1-n} = N_1 / \left[1 + \sum_{i=2}^n (\alpha_i - 1) \right]. \quad (14)$$

При практическом использовании выражений (13) и (14) важно правильно выбрать методику определения значений α_i для отдельных составляющих по выражению (1). Реально возможны два подхода: первый — величину α_i определять по отношению к единой основной составляющей, имеющей наибольшую амплитуду напряжений σ_{a1} , т. е. $\alpha_{2,1}$; $\alpha_{3,1}$; $\alpha_{4,1}$ и т. д., и второй — величину α_i определять по отношению параметров между отдельными составляющими по ранжиру снижения амплитуд напряжений σ_{ai} , т. е. $\alpha_{2,1}$; $\alpha_{3,2}$; $\alpha_{4,3}$ и т. д.

Из рис. 1 видно, что наибольшее изменение формы цикла основной составляющей (a_1 , b_1) вызвано второй по уровню и частоте составляющей. Третья составляющая оказывает наибольшее влияние на форму цикла второй составляющей и т. д. Исходя из этого можно предполагать, что при малом количестве составляющих существенных различий в определении α_{1-n} при обоих вариантах нахождения α_i не будет. Однако при большом количестве составляющих предпочтительным, а следовательно, и более общим решением будет второй вариант.

Окончательное заключение об адекватности предлагаемого метода и выборе соответствующего варианта определения коэффициентов α_i может быть получено на основании результатов экспериментальной проверки. С этой целью были изготовлены и испытаны на усталость при одно- и поличастотном мягком осевом растяжении плоские образцы (рис. 2) с центральным отверстием, а также со стыковым сварным соединением. Как отмечалось выше, при поличастотном нагружении отдельные составляющие могут существенно отличаться по частоте, а сопротивление усталости сварных соединений может зависеть не только от взаимного отношения параметров составляющих, но и от номинальных значений частот. Учитывая, что степень влияния частоты нагружения на циклическую долговечность заметно снижается с повышением прочностных характеристик конструкционных материалов [6], для исключения или значительного ослабления влияния этого фактора на результаты исследований образцы изготавливали из высокопрочной стали с пределом текучести примерно 1000 МПа. Для получения исходных данных в условиях отнулевого одночастотного нагружения усталостные испытания образцов из основного металла выполняли при час-

тотах 3, 30 и 300 циклов в минуту, входящих в диапазон частот, в котором обычно наблюдается наибольшее изменение сопротивления усталости и который охватывает частоты основных переменных нагрузок многих сварных металлоконструкций. При поличастотном нагружении спектр состоял из нескольких, разных по частоте и амплитуде составляющих. В реальных конструкциях уровни составляющих более высоких частот ниже, чем основной переменной нагрузки и, как правило, уменьшаются с увеличением номинальной частоты, а сдвиг фаз между ними может произвольно изменяться во времени. Подобным образом задавали режимы испытаний образцов при полигармоническом нагружении. Так, отношения амплитуд напряжений трехчастотного нагружения $\sigma_{a1}:\sigma_{a2}:\sigma_{a3}$ устанавливали в пределах, близких к 1:0,4:0,2, а отношения частот $f_1:f_2:f_3$ — в пределах 1:3:9 и 1:9:81 с нулевой начальной фазой основной составляющей и нефиксированной в процессе испытаний начальной фазой $\varphi = \pi$ остальных составляющих («плавающая фаза»). Аналогично испытывали часть образцов с количеством составляющих, равным 4–7. Асимметрию и количество циклов при полигармоническом нагружении определяли по основной составляющей, имеющей наименьшую частоту и наибольшую амплитуду. В качестве критерия усталостного разрушения этих образцов принимали начальную стадию развития трещины. В процессе испытаний усталостные трещины зарождались обычно на внутренних поверхностях отверстия, расположенных по горизонтальной оси образцов и развивались по длине и глубине перпендикулярно прикладываемой нагрузке. При выходе усталостных трещин на боковую поверхность образцов и развитии их длины до 3...4 мм испытания прекращали. Результаты усталостных испытаний образцов основного материала высокопрочной стали при одночастотном нагружении представлены в графическом виде на рис. 3, кривая 1, а при полигармоническом нагружении — в таблице.

В качестве основного вида сварного соединения приняли стыковой шов, широко распространенный в несущих элементах конструкций и имеющий высокое сопротивление усталости в условиях переменного нагружения. Размеры сварных образцов (рис. 2, б) выбирали из условия возможности возникновения в них высоких остаточных напряжений в процессе сварки и создания требуемых рабочих напряжений при усталостных испытаниях на сервогидравлической машине типа PC1 фирмы «SCHENCK» усилием 1000 кН. Образцы изготавливали из листовой высокопрочной стали толщиной 20 мм. Заготовки образцов вырезали вдоль проката с помощью аппарата для воздушно-плазменной резки металла типа «Киев-4». Поверхности пластин обрабатывали фре-

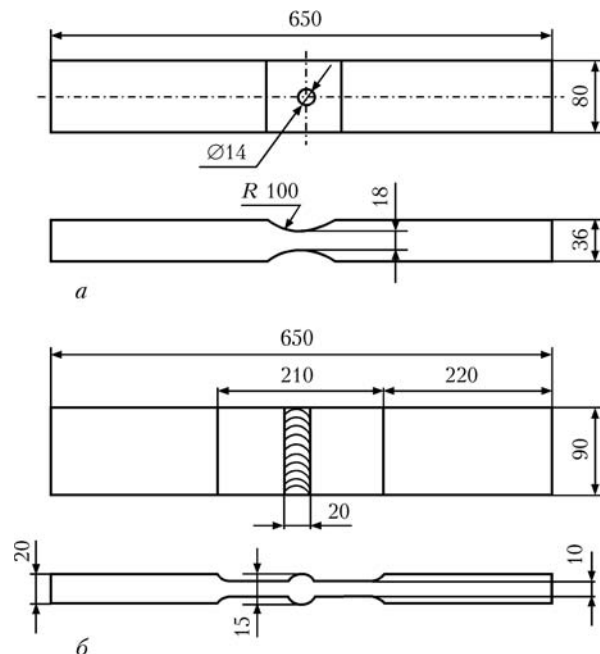


Рис. 2. Схемы образцов для усталостных испытаний при одно- и поличастотном нагружении из основного металла с центральным отверстием (а) и со стыковым сварным соединением (б)

зерованием с последующим шлифованием рабочей части до толщины 10 мм. Двустороннюю симметричную разделку кромок под сварку выполняли под углом 45° с притуплением 2 мм. Сварку образцов проводили механизированным способом на постоянном токе обратной полярности. В качестве сварочных материалов применяли электродную проволоку Св-03ГХНЗМД диаметром 3 мм и флюс марки ФИМС-20П. Для обеспечения высокой стойкости металла шва и околошовной зоны против образования трещин соединяемые кромки образцов перед сваркой подогревали до 373 К. Каждый образец сваривали отдельно за четыре прохода в горизонтальном положении, начало и конец стыкового шва располагали на вы-

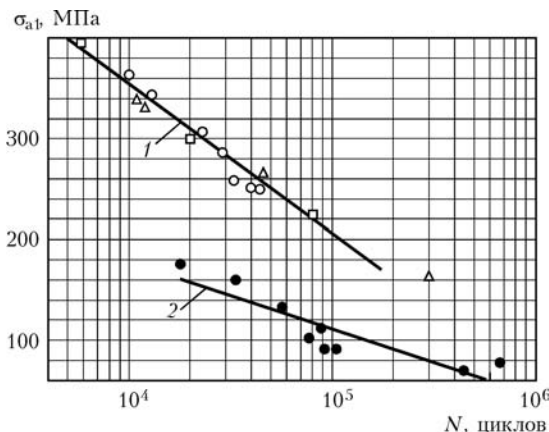


Рис. 3. Кривые усталости образцов высокопрочной стали с центральным отверстием (1) и со стыковым сварным соединением (2) при одночастотном осевом растяжении: Δ, □, ○ — $r = 0$, соответственно $f = 3; 30; 300 \text{ мин}^{-1}$; ● — $r = 0,3$; $f = 180 \text{ мин}^{-1}$



Результаты усталостных испытаний образцов основного металла и сварных соединений высокопрочной стали при полигармоническом осевом растяжении ($r = 0$, $\vartheta = 1,67$)

Образцы	Режим нагружения образцов														Количество циклов, тыс.		Коэффициент $\bar{\sigma}$		
	Частота, Гц							Напряжения, МПа							Полигарм.	Одночаст.	Эксп.		
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	σ_{a1}	σ_{a2}	σ_{a3}	σ_{a4}	σ_{a5}	σ_{a6}	σ_{a7}			$\bar{\sigma}_\Sigma$	Вар. 1 $\bar{\sigma}_{p1}$	Вар. 2 $\bar{\sigma}_{p2}$
Основной металл	1,62	4,86	14,58	-	-	-	-	210	84	43	-	-	-	-	25,0	91	3,6	3,20	3,64
	0,54	1,62	4,86	-	-	-	-	210	83	84	-	-	-	-	14,0	91	6,5	5,41	7,56
	0,18	1,62	14,58	-	-	-	-	189	70	25	-	-	-	-	20,0	115	5,3	5,48	6,51
	0,18	1,62	14,58	-	-	-	-	198	80	41	-	-	-	-	14,1	110	7,8	7,98	9,97
	0,06	0,54	4,86	-	-	-	-	195	76	40	-	-	-	-	6,9	105	15,2	7,69	10,08
	0,02	0,18	1,62	14,58	-	-	-	203	77	61	39	-	-	-	2,6	96	36,9	19,22	30,83
	0,02	0,06	0,18	1,62	14,58	-	-	219	93	65	46	23	-	-	3,61	75	20,8	10,00	22,47
	0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	14,58	-	213	88	62	43	32	18	-	2,07	80	38,6	9,63	17,14
	0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58	225	67	56	46	31	22	11	2,74	66	24,1	9,21	15,50
Стыковые соединения	0,54	1,62	4,86	-	-	-	-	154	63	30	-	-	-	-	7,0	32	4,5	3,16	3,51
	0,54	1,62	4,86	-	-	-	-	141	56	29	-	-	-	-	5,0	44	8,8	3,20	3,66
	0,54	1,62	4,86	-	-	-	-	132	52	27	-	-	-	-	12,0	60	5,0	3,18	3,65
	0,54	1,62	4,86	-	-	-	-	95	28	15	-	-	-	-	30,0	80	2,7	2,50	3,39
	0,18	1,62	14,58	-	-	-	-	84	34	17	-	-	-	-	44,4	250	5,6	7,83	9,68
	0,18	1,62	14,58	-	-	-	-	123	50	25	-	-	-	-	6,0	70	11,7	7,89	9,71
	0,18	1,62	14,58	-	-	-	-	140	42	21	-	-	-	-	11,9	44	4,7	5,01	8,27
	0,18	1,62	14,58	-	-	-	-	158	48	24	-	-	-	-	4,5	28	6,2	5,10	8,31
	0,02	0,06	0,18	1,62	14,58	-	-	100	41	30	15	5	-	-	7,65	60	7,8	6,87	12,60
	0,02	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58	-	100	38	35	29	20	10	-	2,6	60	23,0	24,56	16,10
	0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58	120	48	42	40	30	24	12	1,03	30	29,0	22,49	18,60

водных планках, предварительно приваренных к пластинам. После сварки выводные планки удаляли воздушно-плазменной резкой, а боковые грани обрабатывали фрезерованием.

Поскольку рациональное использование высокопрочных сталей в сварных конструкциях достигается при асимметричном осевом растяжении, то характеристику цикла одночастотного и основной составляющей поличастотного нагружения принимали равной $r = 0,3$. В качестве критерия завершения усталостных испытаний принимали усталостную трещину длиной 3 мм на поверхности образца. Усталостные испытания сварных образцов при одночастотном нагружении выполняли в условиях мягкого гармонического осевого растяжения с частотой 3 Гц. Усталостные тре-

щины в образцах зарождались по линии сплавления шва с основным металлом. Результаты усталостных испытаний сварных образцов при одночастотном нагружении представлены на рис. 3, кривая 2. Режимы испытаний сварных соединений при полигармоническом нагружении выбирали таким же образом, как и для образцов основного металла с тремя, пятью, шестью и семью составляющими (таблица). Расчетные значения суммарных коэффициентов снижения циклической долговечности образцов основного и сварного соединения при полигармоническом нагружении, определенные по первому $\bar{\sigma}_{p1}$ и второму $\bar{\sigma}_{p2}$ варианту, также представлены в таблице. Результаты сопоставления расчетных $\bar{\sigma}_p$ коэффициентов снижения долговечности с экспериментальными $\bar{\sigma}_\Sigma$, представленные на рис. 4, показывают, что оба варианта расчета позволяют получить приемлемую точность при полигармоническом нагружении с тремя-семью составляющими. Однако второй вариант расчета $\bar{\sigma}_{p2}$ предпочтительнее, поскольку обеспечивает некоторый запас долговечности при нагружении с тремя-пятью составляющими. Следует отметить, что результаты сравнения $\bar{\sigma}_p/\bar{\sigma}_\Sigma$ имеют, на первый взгляд, повышенное рассеяние. Однако в данном случае, по-видимому, получить более высокую точность экспериментальных $\bar{\sigma}_\Sigma$ и расчетных $\bar{\sigma}_p$ значений затруднительно. Это связано с изменением значения и характера циклов суммарной нагрузки, которые при малых отношениях частот зависят не только от соотношений амплитуд, но и от закона изменения сдвига фаз между составляющими. В процессе нагружения эта закономерность определяется начальным сдвигом фаз, а также отношением и кратностью составляющих

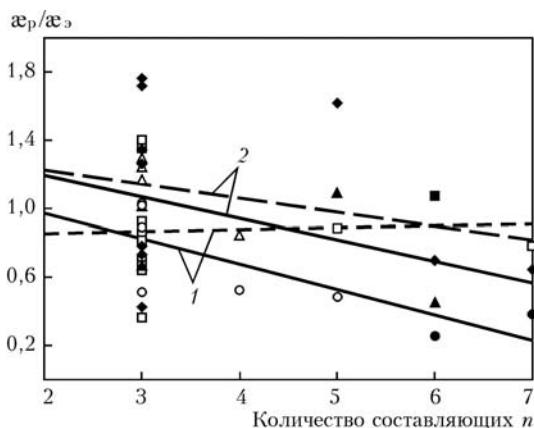


Рис. 4. Результаты сопоставления расчетных $\bar{\sigma}_p$ и экспериментальных $\bar{\sigma}_\Sigma$ значений коэффициентов снижения циклической долговечности образцов основного металла (ОМ) и стыкового сварного соединения (СС) при полигармоническом нагружении: 1 — первый вариант расчета соответственно ОМ (●) и СС (■); 2 — второй вариант расчета соответственно ОМ (▲) и СС (◆)



частот. Влиять на характер этой зависимости в реальных условиях эксплуатации конструкций невозможно. Поэтому в предлагаемых аналитических зависимостях используется формула (1), не учитывающая сдвига фаз между составляющими и применяемая при двухчастотном нагружении с отношением частот более 10, когда влиянием сдвига фаз можно пренебречь. Однако при некрatных отношениях частот сдвиг фаз между составляющими, а соответственно характер и значение суммарной нагрузки постоянно изменяются во времени от минимальных до максимальных значений. В этих случаях эффективной суммарной нагрузкой, вероятно, будет ее среднее за время воздействия значение. При кратных отношениях частот и фиксированных сдвигах фаз между составляющими (см. рис. 1) в зависимости от их начальных значений могут быть получены максимальные или минимальные значения $\bar{\sigma}$. В строительных металлоконструкциях последние случаи маловероятны, а в условиях усталостных испытаний на современном оборудовании с программным управлением вполне возможны.

Выводы

1. Предложенные методика и аналитические зависимости позволяют определять коэффициенты снижения циклической долговечности материалов и сварных соединений при поличастотном нагружении.

2. По исходным данным одночастотного нагружения и заданным параметрам составляющих

поличастотного нагружения можно прогнозировать циклическую долговечность элементов металлоконструкций в этих условиях.

3. Полученные в работе результаты экспериментальных исследований циклической долговечности основного металла стали и стыковых сварных соединений подтвердили приемлемую точность методики и расчетных зависимостей. При трех-семи составляющих полигармонического нагружения основная часть результатов сопоставления расчетных и экспериментальных значений коэффициента снижения циклической долговечности согласуется с погрешностью не более 40 %.

1. Буглов Е. Г., Филатов М. Я., Коликов Э. А. Сопротивление материалов при двухчастотном нагружении (Обзор) // Пробл. прочности. — 1973. — № 5. — С. 13–17.
2. Труфяков В. И., Ковальчук В. С. Определение долговечности при двухчастотном нагружении: Сообщение 1. Обзор // Там же. — 1982. — № 9. — С. 9–15.
3. Геминев В. Н. О физических основах методов суммирования повреждаемости при нестационарных режимах нагружения (Обзор) // Прочность металлов при циклических нагрузках. — М.: Наука, 1967. — С. 36–43.
4. Троценко В. Т., Сосновский Л. А. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник. Ч. 1. — Киев: Наук. думка, 1987. — 510 с.
5. Труфяков В. И., Ковальчук В. С. Определение долговечности при двухчастотном нагружении: Сообщение 2. Предлагаемая методика // Пробл. прочности. — 1982. — № 10. — С. 15–20.
6. Ковальчук В. С. Влияние частоты нагружения на сопротивление усталости сталей и сварных соединений // Автомат. сварка. — 1991. — № 1. — С. 30–34.

Procedure and analytical dependencies are proposed for calculation of cyclic fatigue life of materials, as well as welded joints at polyfrequency loading by the initial data, corresponding to the single-frequency loading. Conducted experimental verification of the derived dependencies on large-scale samples including welded sampled, confirmed their validity in a broad range of variation of polyfrequency loading parameters, the spectrum of which consists of 3...7 components.

Поступила в редакцию 22.02.2008

ДЕСЯТАЯ ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СУДОСТРОЕНИЮ, СУДОХОДСТВУ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОРТОВ, ОСВОЕНИЮ ОКЕАНА И ШЕЛЬФА

Н Е В А 2 0 0 9

22–25 сентября 2009 г.

г. Санкт-Петербург

Тематика выставки включает обширный раздел
СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СУДОСТРОЕНИИ,
ПРОИЗВОДСТВЕ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ
БЕРЕГОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Контакт: тел./факс: +7 (812) 321-26-31, 321-27-22



ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПЛАВЛЕННЫХ ЧУГУННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ

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

Проведена оценка влияния режимов термообработки на триботехнические характеристики рабочих сопряжений наплавленных коленчатых валов, работающих в условиях трения металла по металлу со смазкой. Показано, что температура отпуска оказывает влияние на количественное соотношение между перлитной и карбидно-цементитной фазами в структуре наплавленного металла и его износостойкость.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавленный металл, структура и твердость, триботехнические характеристики, термическая обработка

Коленчатый вал — наиболее нагруженная деталь двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Основными нагрузками, определяющими его рабочий ресурс, являются высокое контактное давление в трущихся сопряжениях и большое количество циклов знакопеременных нагружений. Это приводит к неравномерному износу и перекосам рабочих поверхностей, нарушению масляной пленки и созданию условий для сухого и граничного трения. В результате может происходить «схватывание» и выплавление вкладышей, сопряженных с наплавленными шейками коленчатого вала.

В ремонтном производстве для восстановления изношенных чугунных коленчатых валов ДВС широко применяется технология широкослойной наплавки самозащитной порошковой проволокой ПП-АН160 [1]. Наплавленный металл представляет собой износостойкий высокоуглеродистый сплав, основной металл коленчатого вала — чугун марки ВЧ 50-2 (ЧШГ), закаленный на перлитную структуру. Химический состав основного и наплавленного металлов приведен в табл. 1.

Опыт эксплуатации и ремонта ДВС с наплавленными коленчатыми валами показывает, что износостойкость наплавленных шеек превышает износостойкость основного металла, однако изнашивание сопряженного с наплавленной шейкой вкладыша происходит интенсивнее, чем наплавленного металла.

Целью настоящей работы явилось экспериментальное исследование влияния термообработки наплавленного металла на триботехнические характеристики рабочих сопряжений коленчатых валов.

Испытания пар трения-скольжения со смазкой проводили на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик-колодка» в соответствии с ГОСТ 23224–86. Колодками служили сегменты из стандартных автомобильных вкладышей АО 20-1. Для изготовления роликов (рис. 1) использовали заготовки из ЧШГ, цилиндрическую поверхность которых наплавливали порошковой проволокой ПП-АН160, подвергали термической обработке, а затем шлифовали до номинальных размеров. Термообработку проводили на следующем режиме: нагрев в печи до заданной температуры, выдержка при этой температуре в течение 2 ч и охлаждение на спокойном воздухе.

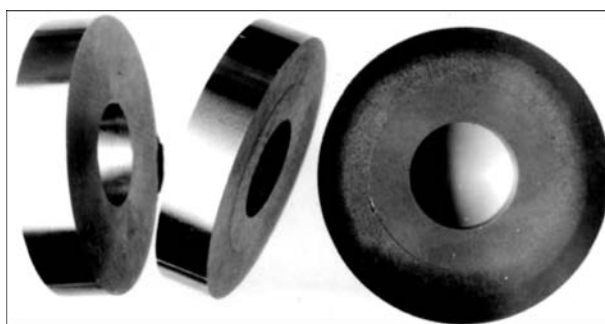


Рис. 1. Ролики для определения триботехнических характеристик пар трения-скольжения: наружный диаметр 50 мм, толщина 12 мм

Таблица 1. Химический состав наплавленного и основного металлов, мас. %

Исследуемый сплав	C	Cr	Si	Mn	Ti	Al	B	Mg
Наплавленный металл	2,4	0,3	1,8	0,8	0,3	0,5	0,08	—
Основной металл (ЧШГ)	2,8	0,2	2,1	1,3	—	—	—	0,03

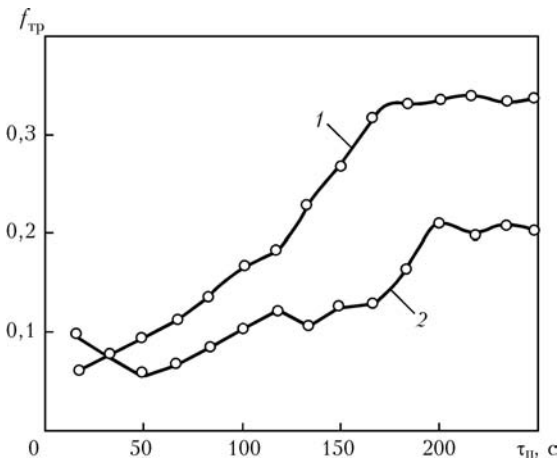


Рис. 2. Изменение коэффициента трения от времени приработки сопряжений «основной металл — вкладыш» (кривая 1) и «наплавленный металл — вкладыш» после термообработки при $T_{отп} = 520...550$ °C (2) при $v_{ск} = 0,8$ м/с

Испытания пар трения проводили в два этапа: в режиме приработки и при рабочей нагрузке. Оптимальную рабочую нагрузку $P_{оп}$ выбирали на основании предварительных экспериментов, показавших, что ее превышение может привести к «заеданию» сопряжения. Суммарную интенсивность изнашивания сопряжения в целом I_{Σ} определяли как сумму интенсивностей изнашивания вкладыша I_k и ролика I_p (методика определения этих величин приведена в ГОСТ 23.224–86). Кроме того, в процессе испытаний проводили запись изменения коэффициента трения сопряжения $f_{тр}$ (рис. 2) и температуры фрикционного разогрева масла $T_{тр}$. Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют о том, что термическая обработка оказывает существенное влияние на триботехнические характеристики как наплавленного металла и вкладыша, так и сопряжения в целом. Из сравнения интенсивностей изнашивания сопряжений № 1 и 2 видно, что износостойкость наплавленного металла превышает износостойкость основного, но интенсивность изнашивания вкладыша I_k у сопряжения № 2 в 2,2 раза выше, чем у сопряжения № 1. По другим показателям износостойкости и работоспособности пара трения

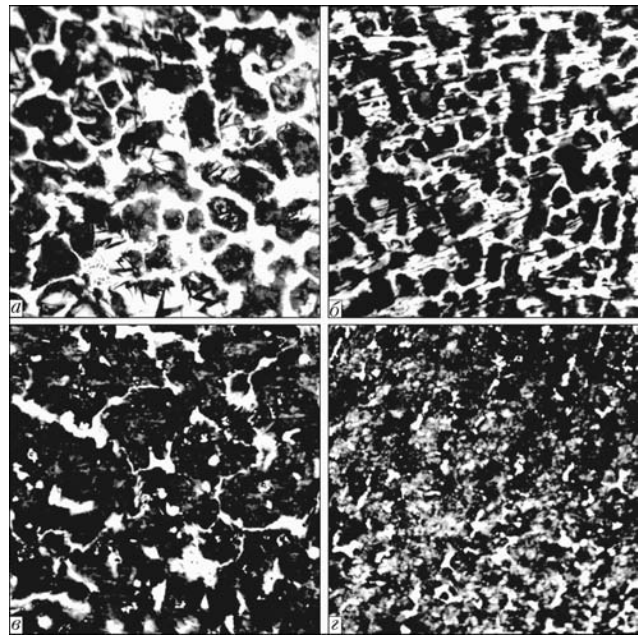


Рис. 3. Влияние термообработки на структуру наплавленного металла ($\times 320$): а — без термообработки; б–г — при $T_{отп} = 400...420, 520...550$ и $700...750$ °C соответственно

ЧШГ — вкладыш также превосходит сопряжение наплавленный металл — вкладыш.

После термообработки при $T_{отп} = 400...420$ °C триботехнические свойства сопряжения № 2 незначительно улучшаются: значения $I_k, I_{\Sigma}, f_{тр}$ и $T_{тр}$ уменьшаются, а $P_{оп}$ возрастает. С повышением $T_{отп}$ до $520...550$ °C перечисленные показатели претерпевают существенные изменения и достигают значений, при которых сопряжение № 2 по всем триботехническим характеристикам превосходит сопряжение № 1. Дальнейшее повышение $T_{отп}$ приводит к значительному ухудшению износостойкости наплавленного металла и работоспособности сопряжения в целом.

Для выявления причин изменения триботехнических свойств сопряжений при термообработке наплавленного металла были проведены металлографические исследования. Следует отметить, что детальный анализ структурно-фазового состояния многокомпонентного сплава, кристаллизация которого происходила в неравновесных

Таблица 2. Триботехнические характеристики пар трения-скольжения

№ сопряжения	Тип сопряжения	Показатели работоспособности		Интенсивность изнашивания, мм/м · 10 ⁻⁴			$f_{тр} \cdot 10^{-2}$
		$P_{оп}, MPa$	$T_{тр}, ^\circ C$	I_p	I_k	I_{Σ}	
1	Основной металл ЧШГ — вкладыш	16,0	60	0,29	0,12	0,41	35
2	Наплавленный металл — вкладыш						
	без термообработки	11,0	72	0,24	0,26	0,50	45
	после термообработки при $T, ^\circ C$:						
	400...420	11,6	68	0,24	0,24	0,48	42
	520...550	14,0	50	0,22	0,12	0,34	20
	650...700	9,5	80	0,49	0,10	0,59	68

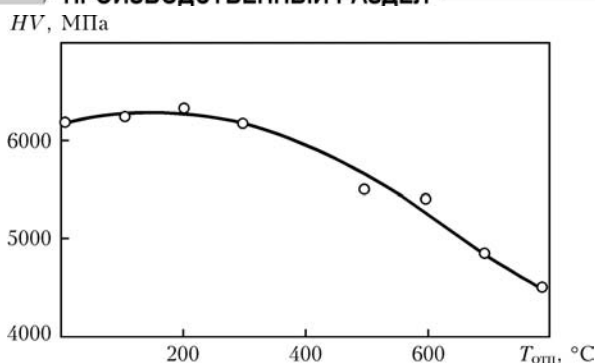


Рис. 4. Влияние температуры отпуска на твердость наплавленного металла

условиях, весьма трудоемкая задача. Однако с достаточной степенью точности установлено, что структура наплавленного металла состоит из двух ведущих фаз: продуктов распада аустенита (перлит + остаточный аустенит) и карбидно-цементитной фазы. Последняя в плоскости шлифа имеет вид разветвленной армирующей сетки с разнотолщинными участками. На рис. 3 эта фаза окрашена в белый цвет, а перлитно-аустенитная — в темный, что дало возможность провести оценку их количественного соотношения.

Установлено, что с повышением температуры отпуска карбидно-цементитная сетка сначала утончается, затем становится разорванной и, наконец, распадается на отдельные включения цементита. В исходном состоянии (без термообработки) наплавленный металл содержит 40...46 % «белой» (карбидно-цементитной) фазы твердостью $HV_{0,5}$ — 8000...8200 МПа. Микротвердость зерен твердого раствора («темная фаза») составляет $HV_{0,5}$ — 5800...6200 МПа. В результате термической

обработки при температурах 520...550, 650...700 и 800 °C доля карбидно-цементитной фазы составляет 28...33, 21...25 и 8...12 % соответственно, а ее твердость остается неизменной.

С увеличением $T_{отп}$ микротвердость перлита монотонно убывает от $HV_{0,5}$ — 5200...5400 (при $T_{отп} = 400$ °C) до $HV_{0,5}$ — 4200...4400 (при $T_{отп} = 800$ °C), что связано с частичным распадом вторичного цементита на железо и графит при нагреве [2]. Влияние температуры отпуска на твердость наплавленного металла представлено на рис. 4. Падение твердости с повышением температуры очевидно обусловлено уменьшением доли твердой карбидно-цементитной фазы в наплавленном металле.

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что повысить триботехнические характеристики сопряжения № 2 можно путем термической обработки наплавленного металла при $T_{отп} = 520...550$ °C. Увеличение или уменьшение температуры сопровождается ухудшением параметров работоспособности пары трения. При этом максимальная износостойкость как наплавленного металла, так и сопряженного с ним вкладыша обеспечивается путем достижения оптимального количественного соотношения между двумя основными фазами его структуры.

1. Кривчиков С. Ю., Жудра А. П., Петров В. В. Современные технологии дуговой наплавки коленчатых валов // Свароч. пр-во. — 1994. — № 5. — С. 4–6.
2. Жудра А. П., Кривчиков С. Ю., Петров В. В. Влияние кремния на свойства углеродистого низколегированного наплавленного металла // Автомат. сварка. — 2006. — № 8. — С. 49–51.

The influence of heat treatment modes on tribotechnical characteristics of working mating surfaces of hardfaced operating under the conditions of metal friction against metal with lubrication was assessed. It is shown that the tempering temperature influences the quantitative relationship between pearlite and carbide-cementite phases in the deposited metal structure and its wear resistance.

Поступила в редакцию 02.06.2008



К ВОПРОСУ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ ПОРОШКОВЫМИ ПРИПОЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

А. С. ПИСЬМЕННЫЙ, д-р техн. наук, В. И. ШВЕЦ, В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, В. М. КИСЛИЦЫН, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследования соединений меди и латуни, полученные с использованием в качестве припоя порошка серебра с частицами размером менее 1 мкм. Предложено объяснение аномально высокой скорости образования расплава шва эвтектического состава при пайке. Использование порошков с более высокой степенью дисперсности перспективно для соединения конструкционных материалов, критичных к температуре нагрева.

Ключевые слова: пайка, порошковый припой, серебро, дисперсность, температура пайки, активация процесса

В настоящее время новые композиционные дисперсно-упрочненные и другие материалы на основе металлов применяются недостаточно широко из-за отсутствия надежных способов их соединения. В связи с этим актуальна разработка способов соединения, которые не уступали бы существующим по производительности и качеству.

При использовании процессов сварки или высокотемпературной пайки важной и пока не до конца решенной проблемой является разупрочнение соединяемых материалов в зоне термического влияния (ЗТВ).

Одним из эффективных способов понижения температуры пайки стало использование в качестве присадочных материалов аморфных пленок и нанослойных фольг, которые, как известно, более активно по сравнению с традиционными припоями [1, 2] взаимодействуют с основным металлом.

В ряде работ отмечается снижение температуры плавления материалов, диспергированных до наноразмерного уровня [3, 4]. Интересным представляется использование этого явления для понижения температуры пайки. До настоящего времени исследования в этом направлении не проводились, что, очевидно, связано с нестабильностью свойств мелкодисперсных металлических порошков.

Цель настоящей работы состояла в технологической проверке возможности снижения температуры пайки меди и латуни за счет увеличения степени дисперсности порошкового припоя.

Известно, что при пайке меди и латуни серебром в результате контактного плавления формируется жидкая фаза, выполняющая роль припоя. Ее состав соответствует составу эвтектики системы Cu–Ag с температурой плавления 779 °С [5]. При контактном плавлении латуни и серебра образуется эвтектическая фаза тройной системы Cu–

Ag–Zn, имеющая температуру плавления менее 700 °С [6]. Для интенсификации диффузионного взаимодействия контактирующих металлов температура пайки должна превышать температуру плавления эвтектики.

В экспериментах использовали медь марки М1, латунь марки ЛС68 и серебро технической чистоты. Монодисперсный порошок серебра с частицами размером менее 1 мкм получен в лабораторных условиях путем анодного растворения, а более крупная фракция — механическим измельчением.

Эксперимент производили следующим образом: на периферийные участки медной подложки наносили навески порошка серебра с частицами размером менее 1 мкм, а на центральные — более 100 мкм (рис. 1). Порошок серебра использовали в смеси с флюсом Ф284. Навески порошка серебра располагали между пластинами слюды на расстоянии 0,5 мм друг от друга.

Нагрев осуществляли факелом водородно-кислородного пламени по центру медной подложки с

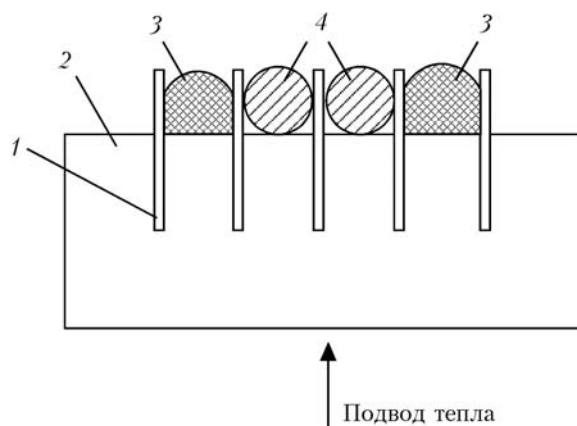


Рис. 1. Схема нагрева медной подложки: 1 — разделители из пластинок слюды; 2 — медная подложка; 3, 4 — порошок серебра с размером частиц соответственно менее 1 мкм и более 100 мкм в смеси с паяльным флюсом Ф284



нижней ее стороны. Наличие на медной подложке разделительных канавок глубиной до 3 мм позволяло создавать температурное поле от центра к периферии подложки с градиентом не менее 50 град/мм. Таким образом, порошки крупных фракций подвергали нагреву до температуры, которая была более чем на 50 °С выше температуры навесок порошка с размерами частиц менее 1 мкм.

Процесс плавления порошков серебра в процессе нагрева контролировали с использованием оптического микроскопа МБС-2 (увеличение 32).

Результатами экспериментов установлено, что при нагреве после плавления флюса первоначально происходит образование жидкой металлической фазы на контактной границе медной подложки с порошком серебра, имеющим размер частиц менее 1 мкм. На контактной границе с более крупными частицами серебра жидкая металлическая фаза в значительных объемах образуется только при нагреве до более высокой температуры. Запоздывание момента контактного плавления порошка более крупной фракции составляет около 5 с. Согласно показаниям термопар, в момент плавления порошка более крупной фракции температура на этом участке более чем на 50 °С выше температуры участка с порошком серебра более мелкой фракции.

По нашему мнению, интенсификация контактного плавления при измельчении частиц серебра обусловлена существенным увеличением контактной поверхности порошка серебра — основного компонента процесса плавления. Наряду с увеличением площади поверхности контакта с медной подложкой происходит подвод серебра к контактной границе за счет диффузии и массопереноса в расплаве флюса. Вероятно, в данном случае имеют место более сложные процессы, требующие дальнейших исследований. В качестве варианта можно предположить, что снижение температуры плавления серебра происходит за счет измельчения его частиц до размера менее 1 мкм.

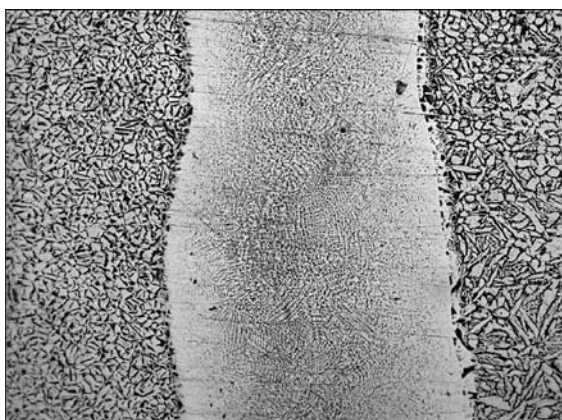


Рис. 2. Микроструктура (X100) соединения образцов из латуни, паянных порошком серебра с частицами размером менее 1 мкм

Возможность практической реализации наблюдаемого эффекта проверена при пайке образцов из меди и латуни. На образцы размером 30×5×0,3 мм наносили припойный материал, представляющий собой смесь флюса Ф284 и серебра с размерами частиц менее 1 мкм. Образцы собирали внахлестку, сдавливали между двумя стержнями из керамики с усилием до 3 Н и подвергали нагреву факелом водородно-кислородного пламени.

Установлено, что формирование соединений при нагреве в течение приблизительно 30 с происходит при температуре, близкой к эвтектической, в то время как при пайке традиционными припоями системы Ag–Cu, например стандартным припоем ПСр72, необходимо нагревать образцы до температуры, которая более чем на 50 °С выше эвтектической [6].

Исследования микроструктуры и химической неоднородности паяных соединений образцов из латуни и меди, полученных с использованием порошка серебра с частицами размером менее 1 мкм, проводили с помощью оптического микроскопа «Неофот-32» и микроанализатора SX-50 фирмы «Camebax».

Анализ микроструктуры соединения образцов из латуни (рис. 2) показал, что в ЗТВ фазовые превращения не происходят. Металл паяного шва имеет однородную мелкодисперсную структуру и исходя из распределения элементов (рис. 3) представляет собой сплав эвтектического состава системы Cu–Ag–Zn. Ширина диффузионной зоны латуни — около 15 мкм.

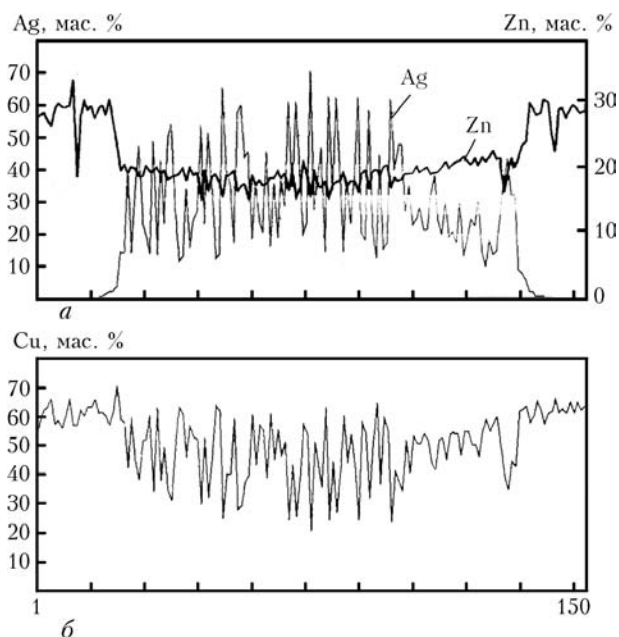


Рис. 3. Распределение серебра, цинка (а) и меди (б) в соединении образцов из латуни, паянных порошком серебра с частицами размером менее 1 мкм (протяженность участка 740 мкм; шаг 49, 70 мкм)

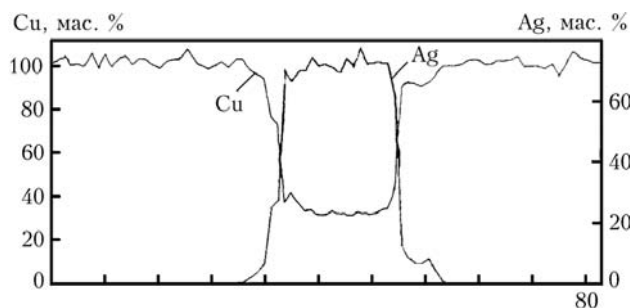


Рис. 4. Распределение меди и серебра в соединении образцов из меди, паянных порошком серебра с частицами менее 1 мкм (протяженность участка 80 мкм; шаг 10,10 мкм)

Распределение меди и серебра в соединениях меди (рис. 4) также свидетельствует о формировании в паяном шве мелкодисперсного сплава эвтектического состава. Ширина диффузионной зоны серебра в меди не превышает 7 мкм.

Сравнительные испытания образцов из меди и латуни на разрыв, паянных порошком серебра с частицами размером менее 1 мкм и припоем ПСр72, показали, что механические свойства полученных соединений практически одинаковы.

Выводы

1. Использование порошков серебра с размером частиц менее 1 мкм позволяет снизить температуру контактно-реактивной пайки меди и латуни

The paper presents the results of investigation of copper and brass joints made using silver powder with less than 1 μm particle size as braze alloys. An explanation is given of the anomalously high speed of formation of a weld melt of an eutectic composition in brazing. Use of powders with a higher degree of dispersity is promising for joining structural materials critical in terms of heating temperature.

не менее чем на 50 °С, сократив при этом время формирования расплава припоя.

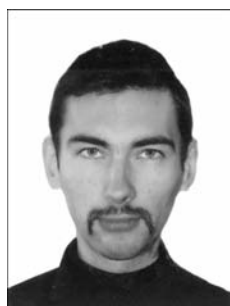
2. Активация процесса плавления при увеличении степени дисперсности порошкового припоя обусловлена увеличением поверхности порошка серебра как основного компонента процесса контактного плавления и интенсификацией массопереноса в расплаве флюса.

3. Использование порошков с высокой степенью дисперсности в качестве припойных материалов перспективно для соединения термически нестабильных конструкционных материалов.

1. Диффузионная сварка микродисперсного композита $\text{AMg5} + 27\% \text{Al}_2\text{O}_3$ с применением нанослойной фольги Ni/Al / А. Я. Ищенко, Ю. В. Фальченко, А. И. Устинов и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 7. — С. 5–9.
2. Контактнo-стыковая сварка дисперсно-упрочненного медного сплава системы $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швец, П. Н. Чвертко и др. // Там же. — 2004. — № 11. — С. 3–6.
3. Богданов К. Ю. Почему наночастицы плавятся при низкой температуре? — http://www.nanometer.ru/2008/02/9/nanjchastici_temperatura_plavlenia_60-57.html.
4. Size-dependent melting point depression of nanostructures: nanocalorimetric measurements / M. Zhang, M. Yu. Efremov, F. Schiettekatte et al. // Phys. Rev. B. — 2000. — 62(15), Oct. — P. 10548–10557.
5. Хряпин В. Е. Справочник паяльщика. — М.: Машиностроение, 1981. — 348 с.
6. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина. — М.: Машиностроение, 1984. — 400 с.

Поступила в редакцию 11.02.2008,
в окончательном варианте 19.06.2009

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

А. С. Миленин (ИЭС) защитил 8 октября 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Кинетика термомеханических процессов при сваркопайке титан-алюминиевых балочных конструкций».

Диссертация посвящена изучению характерных особенностей кинетики термомеханического состояния титан-алюминиевых балочных

конструкций в процессе их сваркопайки на примере разработки и оптимизации цикла производства разнородных конструктивных элементов авиационного назначения (направляющих кресел). На основе результатов численных и экспериментальных исследований определено влияние технологических параметров процесса сваркопайки на особенности формирования полей напряже-

ний в области разнородного контакта и на деформированное состояние балочной конструкции после сварки. Определен характер изменения остаточного напряженно-деформированного состояния разнородных конструкций после термической и механической обработки различных видов.

Получила последующее развитие методика оценки риска интерметаллидообразования в области поверхностного контакта жидкого алюминия и твердого титана. Дано физическое объяснение процессов на начальном этапе формирования сварнопаяного контакта. Разработана универсальная методика оценки риска формирования охрупчивающих интерметаллидных включений в результате реакционной диффузии в переменном и неоднородном температурном поле в области поверхностного контакта титана с алюминием. Это позволило определить характер влияния источника сварочного нагрева на риск формирования такого рода дефектов на примере сваркопайки титан-алюминиевых балочных авиационных конструкций.



Выявлены особенности кинетики пластического деформирования металла в процессе сваркопайки конструкций из титана и алюминия с позиций риска образования горячих трещин в алюминиевой части разнородного соединения. Показан повышенный риск формирования поперечных горячих трещин в металле шва разнородного сварнопаяного соединения.

Для эффективного анализа результатов численных исследований разработанные средства компьютерного моделирования термомеханических процессов при сваркопайке и послесварочной обработке титан-алюминиевых балочных конструкций включены в проблемно-ориентированный программный пакет.

Проведен комплекс исследований для определения входных параметров разработанных моделей, что позволило получить эффективные средства компьютерного моделирования термомеханических процессов в разнородных изделиях. Данные, полученные посредством модельных экспериментов, с высокой точностью коррелируют с результатами соответствующих численных исследований.

На основе результатов численного анализа термомеханических процессов при сваркопайке и послесварочной обработке титан-алюминиевых направляющих кресел определены оптимальные технологические параметры этих производственных циклов. Численные исследования влияния варьирования геометрических параметров сварнопаяной двутавровой балочной конструкции, а именно положение разнородного стыка, на остаточные деформации изгиба изделия позволили определить оптимальное соотношение титановой и алюминиевой частей стенки двутаврового профиля. Разработанные методики оценки риска формирования дефектов разнородной конструкции дали возможность уточнить допустимые диапазоны варьирования технологических параметров сварки с точки зрения минимизации риска появления охрупчивающих интерметаллидных слоев и горячих трещин.

Исследовано влияние послесварочной обработки различных видов (локальной и общей термической обработки, механической правки) на остаточные напряжения в области разнородного контакта и на форму оси разнородной балочной конструкции. Определены оптимальные технологические параметры этих процессов.

На базе результатов проведенных исследований разработаны научно обоснованные дополнения к технологическим рекомендациям.



А. С. Зацерковный (ИЭС им. Е. О. Патона) защитил 8 октября 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Моделирование процессов теплообмена струи низкотемпературной плазмы с испаряющимися и экзотермически реагирующими частицами дисперсного материала».

Диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию и математическому моделированию теплового и динамического взаимо-

действия плазменной струи с частицами дисперсных материалов в условиях плазменного напыления покрытий. Предложены теоретические модели для расчета теплообмена напыляемой частицы с многокомпонентной плазмой путем учета энергетического вклада ионных и электронных тепловых потоков и экзотермической реакции между компонентами композиционной частицы.

На основе анализа физических процессов, протекающих в кнудсеновском слое плазмы вблизи поверхности напыляемой частицы, получены аналитические выражения для расчета плотностей электронного и ионного токов из плазмы на поверхность частицы, падения потенциала между плазмой и

частицей, а также электронной и ионной составляющих теплового потока из плазмы в частицу. Предложен метод для определения параметров такой плазмы на внешней границе кнудсеновского слоя, входящих в полученные аналитические выражения. В широком диапазоне изменения температуры невозмущенной аргоновой плазмы и температуры поверхности частицы алюминия проведен численный анализ состава, температуры электронов и тяжелой компоненты приповерхностной плазмы, вычислены соответствующие значения тепловых потоков в частицу.

Разработана математическая модель тепловых процессов, протекающих в композиционной частице при ее нагреве в плазменной струе с учетом экзотермической реакции синтеза интерметаллида в ее объеме.

Созданы вычислительные алгоритмы и разработано соответствующее программное обеспечение, с помощью которого выполнено детальное компьютерное моделирование движения и нагрева как однородных (металлических) испаряющихся, так и композиционных экзотермически реагирующих частиц в плазменной струе.

С целью верификации предложенных математических моделей была проведена серия натурных экспериментов по напылению композиционного порошка Ni–Al. С помощью полученных экспериментальных данных были определены параметры модели движения композиционных частиц и рассчитан параметр, характеризующий скорость протекания экзотермической реакции в их объеме. Предложенные математические модели движения и нагрева могут быть адаптированы для широкого диапазона параметров плазменного напыления, а также для композиционных порошков разного состава и структуры.



А. А. Письменный (ИЭС им. Е. О. Патона) защитил 22 октября 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Повышение эффективности систем питания машин для контактной точечной сварки».

Диссертационная работа посвящена анализу проблем электропитания и управления машинами для контактной точечной сварки сопротивлением (КТС). На основе анализа определены наиболее перспективные

направления для дальнейших работ в этой области. Диссертация содержит систематизированный анализ известных систем питания для КТС, на основе которых проведены теоретические и расчетные оценки наиболее перспективных систем.

Доказана высокая эффективность систем продольной компенсации реактивной мощности однофазных машин для КТС малой и средней мощности до 1000 кВ·А. По сравнению с обычными однофазными машинами они обладают значительно более высоким коэффициентом мощности, обеспечивают повышенную стойкость электродов и стабильность качества соединений в широком диапазоне их удельных сопротивлений.

Разработана методика расчета коэффициентов мощности, значений относительных напряжений и токов по заданным значениям угла включения тиристорного контактора при различных значениях активного сопротивления нагрузки. С использованием разработанного нового метода расчета установлено, что в диапазоне углов включения тиристоров до 60-ти электрических градусов можно получить высокое значение коэффициента мощности $\cos \varphi$ (до 0,95) при отклонении от полной компенсации в сторону недокомпенсации на 25 %.

Для машин КТС мощностью свыше 100 кВ·А признана перспективной система питания с трехфазным преобразова-



телем числа фаз и частоты 30 Гц. Квазисимметричная работа преобразователя позволяет получить близкое к равномерному распределение тока по фазам сети без загрузки нулевого провода, а снижение рабочей частоты тока — повысить коэффициент мощности машины $\cos \varphi$ на 20...30 % в сравнении с традиционной системой питания машин КТС промышленной частоты. В технологическом отношении применение сварки переменным током пониженной частоты 30 Гц позволит повысить действующее значение тока в нагрузке, уменьшить риск подплавления сварочных электродов и случаи выплеска металла из зоны сварки.

Для сварки и микросварки деталей малых (ниже 1 мм) и особо малых (ниже 0,1 мм) толщин предложено использование инверторного преобразователя повышенной частоты сварочного тока как альтернатива машинам конденсаторной сварки.

УДК 621.791(088.8)

ИЗОБРЕТЕНИЯ СТРАН МИРА*

Инверторный источник питания для электродуговой сварки. Изобретение относится к технологическому оборудованию, используемому для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, в частности к малогабаритным источникам питания инверторного типа. Инверторный источник питания содержит две параллельные ветви. Каждая ветвь состоит из половины первичной обмотки выходного понижающего трансформатора и двух последовательно соединенных тиристоров. Питающее напряжение подводится в диагональ, образованную между средней точкой первичной обмотки выходного понижающего трансформатора и точкой соединения свободных катодов тиристоров параллельных ветвей. Между точками соединения анодов и катодов тиристоров включен коммутирующий конденсатор, параллельно тиристорам, катоды которых соединены вместе, подключены ограничительные цепи, которые состоят из последовательного соединения дросселя и тиристора. Инверторный источник питания обладает расширенными регулировочными возможностями величины сварочного тока, а именно обеспечивает широтно-импульсное управление, комбинированное импульсное управление, частотно-импульсное управление. Патент России 2306213. А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, К. И. Демянцев (Томский политехнический университет) [9].

Способ электроконтактной наплавки. Изобретение может быть использовано при восстановлении изношенных деталей электроконтактными способами с применением присадочных материалов в виде стальных проволок, лент и порошковых. К поверхности вала прижимают присадочную проволоку, разогревают ее до пластического состояния мощными кратковременными импульсами тока и осаживают усилием наплавляющего ролика. Формируют сплошное металлопокрытие путем приварки к наплавляемой поверхности перекрывающих друг друга по длине и ширине сварных площадок. Между присадочной проволокой и рабочей поверхностью наплавляющего ролика размещают защитную ленту в форме бесконечного кольца из высокоэлектро- и теплопроводного металла, например из меди. Это позволяет многократно снизить контактные напряжения в электродном металле и уменьшить износ инструмента. Патент России 2307009. М. З. Нафиков, М. Н. Фархшатов, И. И. Загиров (Башкирский государственный аграрный университет) [9].

В работе содержится описание разработки, изготовления и испытания экспериментального образца инверторного источника питания повышенной частоты тока 500 Гц для контактной точечной микросварки, в котором реализован специально разработанный алгоритм автоматического управления режимом сварки. Этот источник питания обеспечивает процесс высококачественной сварки изделий в диапазоне толщин 0,05...0,5 мм и моделирует источник питания с частотой тока 30 Гц для сварки изделий в диапазоне толщин 5...8 мм.

Новый источник питания успешно испытан при сварке металлов углеродистой группы с толщиной свариваемых деталей менее 1 мм. Получены положительные отзывы о качестве сварных соединений от ведущих предприятий страны.

Способ электроконтактной приварки металлических порошков. Изобретение относится к электроконтактной роликовой приварке порошковых материалов и может быть использовано для восстановления изношенных и упрочнения рабочих поверхностей деталей типа тел вращения. На деталь предварительно контактной сваркой приваривают сетку. Деталь приводят во вращение со скоростью приварки. На сетку дозируют подачу порошка в зону контакта роликовый электрод — деталь с одновременным пропусканием импульсов сварочного тока при постоянном перемещении роликового электрода вдоль оси детали. Размер ячеек сетки обеспечивает транспортировку порошка под роликовый электрод, но не превышает ширину роликового электрода. Появляется возможность приварки неферромагнитного порошка и снижается пористость наплавленного слоя. Патент России 2307010. Р. Н. Сайфуллин, М. Н. Фархшатов, И. Р. Гаскаров (То же) [9].

Машина дуговой сварки с несколькими плавящимися электродами. Машина содержит первую сварочную проволоку, которая подается с помощью первого механизма в разделку кромок между свариваемыми заготовками; вторую сварочную проволоку, подаваемую вторым механизмом в корневую часть разделки, а также источник питания, первый контакт которого соединен с токоподводом первой проволоки, а второй контакт соединен с токоподводом второй проволоки и свариваемой заготовкой. Источник питания содержит выходной каскад, выполняющий быстрое изменение полярности постоянного тока. Форма волны тока источника питания создается генератором сигналов, который управляет широтно-импульсным модулятором. Патент США 7105773. R. K. Myers, T. M. O'Donnel, P. O. A. Yost (Lincoln Global Inc.) [9].

Способ и устройство для центрирования торцов труб в машине дуговой сварки неповоротных стыков. Машина стыковой сварки труб содержит корпус, имеющий канал для ввода концов свариваемых труб; сварочную головку; ротор; источник света, направляющий световой луч в канал на трубный стык, а также датчик, принимающий световое излучение, интенсивность которого меняется в зависимости от положения труб. Датчик детектирует либо излучение, отраженное от стыка, или излучение, прошедшее через стык. При центрировании труб включают световой источник и контролируют световое излучение с помощью датчика, который вырабатывает выходной сигнал, пропорциональный интенсивности

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в реферативном журнале «Изобретения стран мира» № 8 за 2008 г.



ти светового излучения, отраженного от стыка или прошедшего через стык. Патент США 7105765. К. R. Child (Therma Corporation, Inc.) [9].

Способ многослойной дуговой сварки аустенитной нержавеющей стали, имеющей повышенное сопротивление коррозии. Корневую часть разделки сваривают с помощью проволоки из аустенитной нержавеющей стали, содержащей 0,001...0,1 % C; 0,01...1,5 % Si; 0,01...2,0 % Mn; 20...25 % Cr и 10...15 % Ni. Остальную часть разделки заправляют проволокой из сплава с высоким содержанием никеля, в состав которого входят 0,001...0,01 % C; 0,01...0,2 % Si; 0,01...2 % Mn; 14...25 % Cr; 55...75 % Ni и 6...16 % Mo. Способ позволяет получать сварные соединения, имеющие повышенную коррозионную стойкость в морской воде и соленой среде. Металл сварного шва, полученного этим способом, обладает повышенной стойкостью к образованию горячих трещин. Патент Японии 3819755. Н. Inoue, S. Okita, K. Suetsugu (Nippon Steel Corp.) [9].

Способ сварки трением вращающимся инструментом и конструкция сварного соединения для выполнения этого способа. Кромки двух профилей, получаемых путем прессования, соединяют по технологии сварки трением вращающимся инструментом. Для этого на утолщенной кромке первого профиля образуют уступ, в который внахлестку вводят кромку второго профиля. Передняя кромка второго профиля упирается в вертикальную стенку уступа второго профиля, а верхние поверхности утолщенных кромок расположены в одной горизонтальной плоскости. Затем в зону стыка кромок внедряют вращающийся инструмент и перемещают его вдоль стыка, пластифицируя и перемешивая металл обоих профилей. Высота рабочей части инструмента равна толщине свариваемых кромок с учетом максимальных допусков. Способ позволяет сваривать кромки профилей, имеющие отклонения по толщине, а также предотвращает образование сколов на свариваемых кромках. Патент Японии 3818937. Н. Yamashiro, S. Sugimoto, S. Yamashita (Kawasaki Heavy Ind Ltd.) [9].

Способ сварки трением вращающимся инструментом. Для сварки кромок двух листовых заготовок используют тавровый профиль, вертикальную стенку которого вводят в зазор между кромками заготовок, а горизонтальную полку накладывают на верхние поверхности заготовок. Сварку выполняют вращающимся инструментом, который входит в контакт трения с вертикальной стенкой и горизонтальной полкой вспомогательного профиля. Тепло трения размягчает металл заготовок и вспомогательного профиля, в результате чего этот металл заполняет зазор между заготовками и соединяет их сварным швом, не имеющим дефектов, после охлаждения металла. Патент Японии 3825140. М. Enomoto, S. Tazaki, N. Nishikawa, T. Hashimoto (Showa Aluminum Corp.) [9].

Способ запайки керамических поверхностей. Предложен способ соединения металла и керамики пайкой, предусматривающий структурирование по меньшей мере одной из соединяемых керамических поверхностей перед пайкой путем образования отверстий. Способ отличается тем, что отверстия имеют диаметр больше 550 мкм. Патент Германии 10355983. S. Beyer, S. Schmidt, J. Hauptmann et al. (Eads Space Transportation GmbH) [10].

Способ электродуговой сварки чугуна со сталью. Изобретение относится к сварочному производству, а именно к сварке чугунных деталей с деталями из стали. В зоне сварки с зазором 0,15...0,45 мм для получения нахлесточного сварного соединения устанавливают стальную и чугунную детали. Подают стальную электродную проволоку и осуществляют

сварку в полуавтоматическом режиме электрозаклепками при времени сварки 2...5 с и с перерывами между ними не менее 3 с. Сварку ведут в смеси углекислого газа и кислорода при соотношении 83...99 % CO₂; и 1...17 % O₂ на токе 90...180 А и напряжении на 0,5...3,5 В меньше установленного для заданного тока. После выполнения четырех электрозаклепок зону сварки охлаждают струей сжатого воздуха до температуры ниже 50 °С, после чего сварку продолжают. Повышается качество сварного соединения за счет снижения вероятности появления трещин. Патент России 2308360. А. Ф. Головин, А. А. Горовой (РУП «МАЗ») [10].

Способ контактной сварки рельсов. Изобретение может быть использовано при соединении железнодорожных, трамвайных и других рельсов из углеродистых и легированных сталей. Торцы рельсов механически обрабатывают с обеспечением их перпендикулярности осям. Наносят на торцы противоокислительную и противообезуглероживающую пленку толщиной от 0,1 до 0,5 мм. Нагревают и сваривают рельсы давлением. Применение противоокислительной и противообезуглероживающей пленки позволяет уменьшить отходы от образования грата при сварке, а также на 40...60 % снизить трудоемкость последующей обработки сварного шва. Патент России 2308362. А. А. Бондаренко, Г. Р. Маеров, А. Л. Кривченко и др. (Самарская академия путей сообщения) [10].

Способ получения сварных соединений листовых металлических материалов. Изобретение может быть использовано при производстве высокочастотной сваркой различных тонкостенных изделий сложной формы, в частности оболочковых деталей. Свариваемые заготовки помещают в зону действия магнитного индуктора, соединенного с магнитоимпульсным генератором. Со стороны, противоположной магнитному индуктору, детали ограничивают жесткой опорой из изолирующего материала. На свариваемых поверхностях заготовок выполняют просечки. Свариваемые поверхности накладывают друг на друга с зоной перехлеста, большей, чем величина просечек. Свариваемые поверхности заготовок прижимают одна к другой и жесткой опоре силами взаимодействия магнитных полей индуктора и тока самоиндукции, возникающего в заготовках и разогревающего их в местах сварки. Производят их совместное оплавление. Способ обеспечивает стабильность процесса сварки, не требует сложных механических приспособлений и больших затрат энергии. Патент России 2309031. Н. А. Карандашев (ФГУП Государственный космический НПЦ им. М. В. Хруничева) [10].

Способ газолазерной резки титана и его сплавов. Изобретение относится к способу газолазерной резки титана и его сплавов и может найти применение в различных отраслях энерго- и машиностроения. Способ включает использование технологического газа, представляющего смесь кислорода и аргона. Технологический газ содержит кислорода 15...25 %. Для резки заданной толщины металла содержание кислорода в указанных пределах определяют в зависимости от скорости реза и качества его поверхности, исходя из предъявляемых технологических требований к качеству реза при максимально достижимой скорости реза. Технический результат заключается в повышении качества реза, поскольку при содержании кислорода в смеси в указанных пределах гарт либо исчезает совсем, либо становится мелким и редким. Патент России 2307726. А. Н. Антенов, М. Г. Галушкин, В. Д. Дубров и др. (Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН) [10].

Способ и машина для соединения изолированных проводов ультразвуковой сваркой. Первый и второй электрические кабели устанавливают внахлестку на поверхности держателя, расположенного между волноводом и инструментом,



которые закреплены соосно с точками сварки проводов. После этого производят последовательную сварку проводов в каждой точке. Держатель либо содержит инструмент, закрепленный на заданном участке, либо прокалывающие стержни, на которых монтируют инструмент. Патент США 7124504. E. Steiner, D. Stroh, H. Dieterle (Schunk Ultraschalltechnik GmbH) [10].

Машина сварки трением вращающимся инструментом и система регулирования температуры для нее. Машина для сварки заготовок из одно- или разнородных материалов содержит вращающийся инструмент, который внедряют в стык между заготовками и перемещают вдоль стыка с первой стороны заготовок, и нагревательный элемент, который устанавливают со второй стороны заготовок. Нагревательный элемент производит регулируемый подъем температуры металла заготовок в зоне стыка. Машина, кроме того, содержит кольцевой шпиндель, на внутренней поверхности которого образованы каналы охлаждения. Между инструментом и торцом шпинделя образован заплечик. Охлаждающая жидкость, циркулирующая в каналах шпинделя, охлаждает заплечик и вращающийся инструмент. Патент США 7121448. S. P. Ramanathan, C. E. Helder, T. J. Trapp et al. (General Electric Company) [10].

Способ сварки трением вращающимся инструментом заготовок из композиционного материала с металлической матрицей, черных и цветных металлов, а также жаростойких сплавов и абразивных инструментов с повышенными абразивными свойствами. Инструмент для сварки трением композиционных материалов, упрочненных металлом, черных и цветных сплавов, а также жаропрочных сплавов содержит хвостовик, заплечик и цилиндрическую рабочую часть, которая входит в заплечик. Рабочая часть и заплечик, на которые нанесено покрытие из материала с повышенными абразивными свойствами, не имеют концентраторов напряжений. На заплечике установлено кольцо, предотвращающее перемещение заплечика относительно хвостовика и образующее тепловой барьер между заплечиком, хвостовиком и рабочей частью. Патент США 7124929. T. W. Nelson, C. D. Sorensen, S. Packer, P. A. Felter (Brigham Young University) [10].

Способ пайки припоем из сплава Au-Sn. Химсостав припоя изменяют таким образом, что содержание олова в паяном соединении находится в пределах 20,65...23,5 %. Точка эвтектики на диаграмме состояния этого сплава соответствует содержанию олова 20,65 %. Химсостав припоя регулируют

в зависимости от толщины золотого покрытия. Прямая зависимость между толщиной пленки припоя и пленки золотого покрытия существует при содержании олова в пределах 21...25 %. Патент США 7114644. K. Miyazaki (Tanaka Kikinzoku Kogyo K. K.) [10].

Защитная газовая смесь и способ дуговой сварки деталей из коррозионностойких сталей. Газовая смесь для защиты зоны дуговой сварки коррозионностойких сталей, в особенности сталей, полученных дуплексным или супердуплексным процессами, содержит аргон со следующими добавками: предпочтительно 5 % гелия, 1,8...2 % углекислого газа, 1,52 % азота. Названная газовая смесь способствует образованию аустенита в сварном шве и повышает его стойкость против точечной коррозии, обеспечивая хорошую технологичность при сварке в различных пространственных положениях. Патент Японии 3228177. R. Fuiritsupu, D. Anri, M. Oriber (Air Liquide) [10].

Способ сварки за один проход с большим подводом тепла. При сварке стальных листов увеличивают ударную вязкость металла зоны теплового воздействия, регулируя время охлаждения в соответствии с химсоставом стали и/или сваривая листы таким образом, что размер зерен аустенита на расстоянии 1 мм от линии сплавления, находящиеся в зоне теплового воздействия, не превышают 350 мкм, а содержание феррита по границам зерен аустенита в зоне теплового воздействия на расстоянии 1 мм от линии плавления находится в пределах 5...40 %. Патент Японии 3837083. T. Hasegawa, M. Minagawa, H. Shirahata (Nippon Steel Corp.) [10].

Способ повышения предела прочности точечных сварных соединений с помощью ультразвуковой ударной обработки. Сварную точку соединения высокопрочных стальных листов и зону вокруг этой точки подвергают ультразвуковой ударной обработке с одной стороны или с двух сторон соединения. Патент Японии 3828855. H. Oikawa, A. Miyasaka, J. Kobayashi (Nippon Steel Corp.) [10].

Способ лазерной сварки толстых листов. Обратную сторону свариваемых листов покрывают материалом, имеющим повышенное сродство с окружающим газом, предотвращающим проникновение газа в расплавленный металл и образование сварочных дефектов. Покрытые листы сваривают лазером, имеющим большую мощность. Патент Японии 3829187. S. Kuroda, T. Fukushima, S. Tsukamoto, G. Arakane (National Institute for Materials Science) [10].



По зарубежным журналам*

*AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL (Австралия) 2008. —
Vol. 53, Second Quarter (англ. яз.)*

Learn@Work — новая программа обучения для горной промышленности в Квинсленде, с. 10.

Неразрушающие испытания — ваша профессия?, с. 14–15.

Cameron J. Передовая технология в сварочной отрасли, с. 16.

Будущее сварки в Канаде, с. 26.

Новости из Международного института сварки, с. 27.

King B., Dunne D., Small R. Влияние толщины листа на структуру, свойства и характеристику термообработки после сварки швов из стали 2,25 % Cr–1% Mo, с. 34–47.

*BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH (Польша) 2007. —
Roc. 51, № 6 (пол. яз.)*

Matusiak J. et. al. MIG/MAG сварка и сваркопайка с низким вкладом энергии, предназначенные для соединения материалов и элементов, чувствительных к воздействию нагрева, с. 41–46.

Biernadskij W. N., Makowieckaja O. K. Развитие сварочного производства в Республике Корея, с. 46–50.

Saperski J. Конструкции типа «offshore» — классификация и требования, с. 50–54.

Piatek M., Zadroga L. et. al. Установка для сварки давлением стальных элементов в алюминиевых сегментах батарей центрального отопления, с. 54–55.

*JOURNAL of the JAPAN WELDING SOCIETY (Япония) 2008. —
Vol. 77, № 3 (яп. яз.)*

Yamada T. Промышленная технология, с. 3–5.

Nose T. Инженеры, объединяйтесь! Применение ультразвуковой проковки для повышения усталостной прочности, с. 6–9.

Специальный выпуск. Дистанционная лазерная сварка в автомобильной промышленности

Mori K. et al. Дистанционная лазерная сварка кузовов легковых автомобилей, с. 11–15.

Mann K., Schwoerer T. Новые дисковые лазеры и растровая оптика для высокопроизводительной дистанционной сварки, с. 16–24.

Higuchi T. Разработка и применение дистанционной лазерной сварки в американской автомобильной промышленности, с. 25–28.

Tsuboi A. Применение головки для дистанционной лазерной сварки, с. 29–32.

Лекционные заметки

Ч. 2. Металлы и свариваемость.

Kojma A. Производство стали и ее основные свойства, с. 33–43.

Ч. 4. Качество сварки.

Wada Hirokazu. Системы управления качеством сварки, с. 44–49.

* 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).



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

Кустарное производство укрепляет свое сотрудничество с DVS. В состав правления вошли новые члены — представители ремесленной палаты, с. 125–126.

Muller S. Обработка тонкостенных и толстостенных труб лазерным лучом, с. 132–135.

Trillmich R. Опыт калибровки аппаратуры для приварки шпилек, с. 136–141.

Mubmann J. Требование к качеству при термообработке. Новый ISO 17663 как связующее звено между производ-

ственными стандартами и реальным выполнением работ, с. 142–146.

Schuster J. Что же такое сталь? Размышления обучающегося об удивительном мире стандартизации стали, с. 148–153.

Otto F. Равноценность предписанного и применяемого материала, с. 154.

*SCHWEISS-& PRUEFTECHNIK (Австрия) 2008. —
Juni (нем. яз.)*

Конференция по неразрушающему контролю. Исследования, разработки и применение, с. 87–88.

Конференция 3-х стран (Австрия, Германия и Швейцария). Коррозия нержавеющей сталей в зависимости от состояния поверхности, с. 89–90.

Применение сварочной техники в строительстве ЭКСПО-моста в Сарагосе. Надежно и рационально соединить 5 500 000 кг стали, с. 91–92.

Контроль тележек скоростного поезда в Китае, с. 97–98.

*SCHWEISSEN und SCHNEIDEN (Германия) 2008. —
№ 5 (нем. яз.)*

Тенденции развития мирового рынка промышленных роботов, с. 234–236.

Международная конференция по термическому напылению в июле 2008 г. в Маастрихе / Нидерланды. Выставка, с. 238.

Rippegather D. Новое поколение масок для сварщика, с. 242–243.

Вводится в эксплуатацию новая доменная печь концерна Тиссен-Крупп в Дуйсбурге, с. 244–245.

Ebert L. et al. Оптимизация улавливания сварочного дыма у горелки для сварки МИГ/МАГ с отсосом, с. 248–254.

Reisgen U. et al. Применение и оптимизация систем клеев для повышения надежности процесса и улучшения свойств

соединений при лазерной сварке швов внахлестку, с. 255–262.

Scheer C. et al. Разработка способа измерения толщины слоя с помощью работающей на основе вихревых токов сенсорики при плазменном напылении керамики, с. 263–269.

Gunzelmann K.-H. et al. Сварка в узкий зазор. Принцип трех способов, с. 270–27.

Dien W. Конструктор в фокусе при новых стандартах по термическому напылению, с. 279–281.

Heinrich H. Будущее электрических способов сварки, с. 281–283.

О работе службы информации, с. 283–288.

Новые книги и журналы, с. 288–292.

*BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA w GLIWICACH (Польша) 2008. —
Roc. 52, № 3 (пол. яз.)*

Zeman M. Свойства сварных соединений из стали Wel-dox 1100, с. 35–40.

Klimpel A. et al. Технология пайко-сварки методом GTA трубок абсорбера с медной фольгой в солнечных коллекторах, с. 40–48.

Dworak J., Stano S. Возможности и предпосылки лазерной (CO₂) резки пространственных элементов, в частности профилей замкнутого сечения, с. 48–57.

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

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

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

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

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

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

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

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СВАРКЕ В г. СИМФЕРОПОЛЕ

9–11 сентября 2008 г. на ОАО «Электромашиностроительном заводе «ФИРМА СЭЛМА» и его базе отдыха «Парус» состоялся технический семинар специалистов по сварке на тему «Современное сварочное оборудование и передовая технология сварки в судостроении, судоремонте, краностроении и производстве подъемно-транспортного оборудования. В нем приняли участие свыше 30 специалистов от предприятий и организаций Украины (Черноморский судостроительный завод, «Океан», ООО «Технолазер-сварка», г. Николаев; ГК Краншип, судоремонтный завод, г. Керчь; МЧП «Лазурит», ООО «Аврора», ФГУП-13, ООО СРЗ «Южный», г. Севастополь; ОАО «Азовмаш», НТЦ «Промавтосварка», ООО СРЗ, г. Мариуполь; ЗАО Краностроительный завод, г. Николаев; ИЭС им. Е. О. Патона, Нефтегазстройизоляция, г. Киев; Запорожкран, ОАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий, г. Запорожье; «Арсэл», г. Донецк), около 20 специалистов из России (ОАО «СЕВМАШ», г. Северодвинск; Верхнекамский судостроительный комплекс, г. Пермь; ООО «Институт ВНИИСТ», г. Москва; «ИТС», ГП «Адмиралтейские верфи», ЦНИИТС, г. Санкт-Петербург; ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», г. Челябинск; «Электросварка», г. Калининград; ООО «Винета», г. Никольское) и представитель «Drahtzug Stein wire welding», Германия. В семинаре приняли участие также руководители и главные специалисты основных служб «СЭЛМА» и «ИТС».

В актовом зале завода участников семинара приветствовали генеральный директор ОАО «ФИРМА СЭЛМА» Г. В. Павленко, генеральный директор «ИТС» М. В. Карасев. С краткой информацией выступили технический директор С. И. Гриценко и Д. Н. Рабочинский.

Затем была проведена экскурсия двумя группами участников семинара по основным и вспомогательным цехам и участкам завода, которую провели С. И. Гриценко и М. В. Карасев.

Успехи предприятия по расширению и обновлению номенклатуры выпускаемой продукции, совершенствованию технологии ее изготовления, использованию отлаженной системы обеспечения качества буквально на каждом рабочем месте, продуманному режиму экономии ресурсов, поощрительной системе оплаты труда работников, вниманию к социальной сфере впечатляют. Как результат значительный рост производства, выраженный, например, в объемах продаж оборудования. Он достиг 12...13 млн грн. в месяц. В планах завода открытие Торгового дома, что поз-



волит активизировать маркетинговую деятельность предприятия.

Сегодня «СЭЛМА» — это динамично развивающееся предприятие, ассортимент оборудования которого составляет более 100 наименований сварочной техники: сварочные трансформаторы, выпрямители, полуавтоматы, сварочные автоматы и несущие конструкции для механизации сварки и резки, установки для воздушно-плазменной резки, машины для контактной точечной сварки и оборудование для управления контактными машинами, а также оборудование для механической подготовки кромок под сварку. Перечень выпускаемой техники постоянно расширяется благодаря разработкам новых видов сварочного оборудования, отвечающего современным требованиям производства и использующего последние достижения науки и техники.

На семинаре в течение двух дней было заслушано ряд докладов. Блок сообщений специалистов «СЭЛМА» включал следующие доклады: «Общий обзор выпускаемой продукции. Новые изделия. Перспективные направления развития сварочного оборудования на «СЭЛМЕ». Конверторы сварные типа КСУ» (главный конструктор Г. Л. Павленко), «Сва-





рочные автоматы для сварки и наплавки. Перспективные направления развития оборудования для автоматической сварки на «СЭЛМЕ» (В. А. Панкратьев), «Машины для механической разделки кромок под сварку типа МКС и МКФ» (В. А. Козарин). Г. Л. Павленко охарактеризовал основные виды производимой «СЭЛМОЙ» продукции, подробно остановился на новых разработках, например, выпрямителе ВС-450 (аналог Варко стар 400), универсальных источниках с чопперами для ручной, полуавтоматической сварки в защитных газах и ТИГ сварки, конверторах сварочных типа КСУ, сварочных автоматах и автоматических головках, конструкциях для автоматизации сварочных процессов (ГК-200 «Протеус» и др.). В перспективе намечается выпуск автоматизированных комплексов для воздушно-плазменной резки, оснащенных источниками «СЭЛМЫ».

Выпуск сварочных автоматов «СЭЛМА» начала с 1999 г., взяв за основу автоматы типа А2 и А6 (ЭСАБ). К ним относятся автоматы АДФ-1000 и АДФ-1250 с плавной либо ступенчатой регулировкой подачи сварочной проволоки диаметром 2...5 мм.

Кромкоскалывающие машины, производимые «СЭЛМОЙ», обеспечивают минимальный (близкий к нулю) допуск на обработку кромок, скорость обработки более 2 м/мин. Они лишены недостатка, присущего итальянским машинам (низкий ресурс работы редуктора). Имеется положительный опыт применения машины МКС 214 на Волжском трубном заводе.

В докладе М. В. Карасева («ИТС») была представлена деятельность группы предприятий, входящих в «ИТС». Она включает фирму «СЭЛМА», ОАО «ЭСВА» (г. Калининград), ООО «Велдинг» (Литва), представительства и склады (Екатеринбург — ИТС-УРАЛ, Красноярск — ИТС-СИБИРЬ, ИТС-ВОЛГА, Самара, Москва — ИТС МОСКВА, ИТС-ИНЖИНИРИНГ, Иркутск—сварочная техника—Иркутск и др.), производственно-складской комплекс «ПАРНАС» (г. Санкт-Петербург).

Группой предприятий ИТС ежегодно производится и поставляется более 80 тыс. ед. сварочного оборудования на территории России, около 50 тыс. ед. на территории Украины, более 12 тыс. сварочных установок поставляется в дальнее зарубежье.

Всего объем производства составляет более 149 тыс. ед. сварочного оборудования. Номенклатура изделий составляет более 80 наименований. Доля в СНГ среди российских фирм составляет до 75 % всего отечественного сварочного оборудования, действующего на территории России. Доля в СНГ среди всего сварочного оборудования российских и зарубежных фирм — около 50 %.

Общая численность всех работающих на всех предприятиях ИТС — 1700 чел. Имеется собственная база отдыха «Парус», вблизи Евпатории. Про-

изводственное отделение «ИТС» в С.-Петербурге специализируется на комплектации под заказ автоматизированных установок для нужд промышленности с использованием стандартного оборудования «СЭЛМА» и других фирм.

М. В. Карасев из новых видов оборудования предприятий ИТС отметил высокую надежность конверторов сварочных (чопперов), их высокий КПД, достигающий 93 %, низкое потребление энергии. Существует большая перспектива применения их в судостроении. Одним из достоинств применения чопперов — достижение пониженного содержания водорода в металле шва. Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что использование конверторов в составе многопостового источника ВДУ-1500 (8 конверторов) при многодуговой сварке порошковой проволокой позволяет получить мелкозернистую структуру металла шва при сварке трубных сталей. Применение конвертора КСУ-320 по данным докладчика позволяет обеспечить высокую эффективность его использования за счет снижения потребления электроэнергии, снижения разбрызгивания при сварке и высоких технологических свойств. Среди новинок оборудования, получивших широкое применение в последние годы, докладчик отметил универсальные выпрямители ВДУ-511, ВД-506ДК, установки для автоматической сварки под флюсом ВДУ-1500 (постоянный ток), ТДФЖ-1250 (переменный ток). Заслуживает внимания выпуск сварочных комплексов «ПРОТЕУС» (ТУ 3441-028-11143754-2006). Он предназначен для автоматической орбитальной сварки в среде защитного газа или смесях газов неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 406 до 2540 мм. В его состав входят: две самоходные сварочные головки, блок питания, направляющий пояс шириной 120 мм, ручное программирующее устройство (12 программ), пульт дистанционного управления, комплект принадлежностей и сменных частей и источник сварочного тока (ВД-506ДК УЗ).

На семинаре были заслушаны также доклады специалистов ЦНИИТС: Н. А. Стешенковой «Развитие гражданского судостроения в рамках ФЦП на 2009–2016 гг. Перспективы строительства судов нового поколения, в том числе газозовов» и «Инновационные технологии сварки, предлагаемые к освоению в рамках ФЦП развития гражданского судостроения»; В. А. Нититина «Применение роботов для сварки судовых конструкций». Выступили также С. В. Головин (ВНИИСТ) с докладом «Качество сварных конструкций — основа повышения надежности, долговечности и конкурентоспособности строительства судов»; А. Н. Алимов («АркСэл») «Производство бесшовных порошковых проволок»; А. И. Романцев (ОАО «ЧТЗ») «Новый трубоэлектросварочный цех»; Р. Н. Баранник (Запорожский завод



сварочных флюсов и стеклоизделий) «Освоение производства новых видов керамических флюсов».

Участники семинара высказали слова благодарности представителям «СЭЛМЫ» и «ИТС» за отлично организованную работу семинара, его насы-

щенную программу и удовлетворение уровнем заслушанных докладов.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук

УДК 621.791.061.2/4

КОНФЕРЕНЦИЯ «ПАЙКА-2008» В ТОЛЬЯТТИ

10–12 сентября 2008 г. в Тольятти состоялась Международная конференция по пайке — высший форум в СНГ по этому направлению. На конференции было представлено 60 докладов из России, Украины и Германии.

На пленарном заседании большое внимание привлекли доклады, представленные В. С. Новосадовым (Московский университет пищевых производств, г. Москва) «Феноменологическая теория граничной и диффузионной кинетики растворения в капиллярном зазоре», В. Ф. Хоруновым (Институт электросварки им. Е. О. Патона, г. Киев) «Пайка интерметаллидных сплавов. Достижения и проблемы»; В. Н. Семеновым (НПО «Энергомаш», г. Химки) «Модель физико-химического взаимодействия сплава ЭП202 с медно-серебряным припоем и прочность их связи на границе раздела»; Л. С. Лантушенко (ОАО «Криогенмаш», г. Балашиха) «Бесфлюсовая пайка алюминиевых сплавов». Эти доклады обобщали результаты многолетних исследований в области теории соединения металлических материалов, перспективы использования интерметаллидов как конструкционных материалов, изготовления ракетных двигателей, достижения в области бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов.

Интересная информация содержалась в докладах (ТГУ, Тольятти): Л. В. Лошкарева «О возможности акустико-эмиссионного контроля процессов пайки», Д. Л. Мерсона «Новая методика неразрушающего контроля физико-механических свойств металлов и соединений». Приятным украшением пленарного заседания стала демонстрация достижений кафедры ювелирного искусства ТГУ.

Несомненной удачей организаторов является проведение в рамках конференции семинара «Современное сварочное оборудование и технология сварки и пайки» группы компаний «Abicor Binzel». Было представлено шесть докладов с последующей демонстрацией точечной плазменной сварки и ручной плазменной пайки с использованием источника SBI и горелки ABICOR; роботизированной сварки и пайки с применением робота FANUC, источника питания KEMPPI и горелки ABICOR; процесса сваркопайки оцинкованных деталей на аппарате Pro Evolution фирмы KEMPPI. Это очень яркий показатель, насколько тесно российские специалисты сотрудничают с западными фирмами.

Другой показатель этого — значительное количество (7) докладов из Германии, кроме представленных на семинаре. Из этих докладов следует выделить работы, выполненные под руководством проф. Дж. Вилдена. Так, в работе «Новая технология для соединения чувствительных к нагреву материалов» приводятся результаты исследования соединений, полученных при использовании «холодной дуги» (Cold Metal Transfer), гибридного процесса (cold-arc плюс лазер) при соединении, например, сталей, алюминия со сталью, причем в качестве припоя успешно применяется сплав на основе цинка. В работе «Нанотехнология и граничные эффекты как новые возможности для успешного соединения материалов» изложены интересные результаты исследований соединений, полученные с использованием наноматериалов. В качестве основы для таких экспериментов использованы данные, опубликованные в трудах советских ученых.

Весьма интересен доклад В. Е. Сошкина и др. «Современные эффективные волокнистые огнеупорные материалы для высокотемпературной изоляции на неорганических связующих», предлагающий новые пути для решения вопросов теплоизоляции, в частности, в вакуумных печах.

Большое число интересных докладов было представлено сотрудниками ТГУ. Среди них следует отметить фундаментальную работу Р. С. Лучкина «Диффузионная модель надежности паяных узлов медных сплавов в условиях электрохимической коррозии», доклады, представленные А. Ю. Краснопевцевым «Пайка высоколегированных сталей в низком вакууме и аргоне» и Б. Н. Перевезенцевым «Влияние легирующих элементов на механические свойства титановых конструкций, паяных припоями на основе алюминия». Последняя работа важна с точки зрения серийного производства титановых конструкций.

Активно работает в России (г. Москва) НП «Союз профессиональных паяльщиков» под руководством И. Н. Пашкова. От имени этого союза был представлен ряд докладов, в основном касающихся частных вопросов, но, безусловно, содержащих полезную информацию для промышленности. Особо следует отметить усилия этого союза по организации учебного процесса в вузах России со специализацией по пайке (при участии В. С. Новосадова).



Известно, что неоценимый вклад в этом отношении сделан сотрудниками ТГУ. Этот опыт будет использован во всероссийском масштабе.

Следует отметить, что в России продолжают активно работать такие фирмы, как «Аларм», «МИ-ФИ-Амето» (г. Москва), которые обеспечивают потребность российских предприятий в припоях на различных основах для широкого круга материалов. В докладах от имени этих фирм отражены их последние достижения.

Низкотемпературная пайка была представлена на конференции содержательными докладами Е. С. Назарова (ООО НПП «КВП Радуга», г. Москва) и Н. П. Литвиненко (ФГУП НПП «Исток», г. Фрязино).

Оценивая работу конференции в целом, следует отметить возросшую активность российских специалистов в этой области, появление большой плеяды

молодых ученых и производственников, которые занимают лидирующие позиции в разработке припоев, флюсов, технологий, подготовке учебных программ. Пока еще мало фундаментальных работ, выполненных с привлечением современных методов исследований, но имеющийся научный потенциал позволит это делать в ближайшем будущем, тем более, что активное взаимодействие России с Европой налицо.

Нельзя не отметить хорошую, как всегда, организацию конференции, исключительную доброжелательность и внимание к гостям сотрудников ТГУ. Хочется выразить им большую благодарность и пожелать дальнейших успехов.

В. Ф. Хорунов, чл.-кор. НАН Украины

УДК 621.791:002

ВРУЧЕНИЕ АКАДЕМИКУ Б. Е. ПАТОНУ ДИПЛОМА ПОЧЕТНОГО ДОКТОРА СЛОВАЦКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ученый совет Словацкого технического университета присвоил звание почетного доктора (Doctor Honoris Causa) директору Института электросварки им. Е. О. Патона академику Борису Евгеньевичу Патону за его огромный вклад в развитие сварочного производства и науки о сварке, а также за поддержку плодотворного сотрудничества со словацкими исследовательскими и образовательными учреждениями в области сварки и родственных технологий производства и обработки металлических материалов. 22 сентября 2008 г. состоялось вручение диплома почетного доктора академику Б. Е. Патону. Диплом вручали представители Словацкого технического университета: профессора Петер Гргач и Петер Сакал. На церемонии награждения выступил с приветственной речью Чрезвычайный и Полномочный Посол Словацкой Республики в Украине Урбан Руснак.

Словацкий технический университет является крупнейшим университетом в Словацкой Республике. Он находится в Братиславе и в Трнаве (материало-технологический факультет). Университет основан в 1937 г. и насчитывает семь факультетов, на которых учится более 18 тысяч студентов. В университете работают 163 профессора, 363 доцента и 390 кандидатов наук и докторов философии.

Институт электросварки им. Е. О. Патона многие годы тесно сотрудничал с Исследовательским институтом сварки (Братислава), Институтом технологии и рационализации заводов тяжелого машиностроения (Братислава) и рядом промышленных предприятий. Так, в 1991–1994 гг. Институт техно-



логии и рационализации заводов тяжелого машиностроения совместно с Институтом электросварки им. Е. О. Патона выполнял государственный научно-технический проект «Новые материалы и технологии их производства», который включал разработку процесса электрошлакового переплава инструментальных и быстрорежущих сталей. Академик Иван Гривняк, являющийся теперь почетным профессором (Emeritus) Словацкого технического университета, в 1992 г. избран иностранным членом Национальной академии наук Украины.

В настоящее время продолжателем традиций сотрудничества с Институтом электросварки им. Е. О. Патона является Первая сварочная компания (Prva Zvaracka a. s.) из Братиславы.



О. М. ИВАНЦОВУ — 90



В декабре исполнилось 90 лет со дня рождения и 60 лет научной и инженерной деятельности доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ, лауреата Ленинской премии Олега Максимовича Иванцова.

О. М. Иванцов — крупный ученый, выдающийся инженер в области трубопроводного транспорта жидких и газооб-

разных углеводородов, имеющий широкую известность в России и за рубежом.

О. М. Иванцов родился 2 декабря 1918 г. в Брянске в семье губернского агронома. В 1945 г. окончил Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева. На старших курсах в годы Великой Отечественной войны откомандировался на строительство авиационного завода, работал начальником смены. После окончания аспирантуры МИСИ в 1949 г. был направлен на работу в исследовательский институт нефтяной промышленности (НИИстройнефть, позже переименован во ВНИИСТ). В институте руководил сектором, лабораторией, был назначен главным инженером.

В 1968 г. О. М. Иванцов был переведен в Министерство газовой промышленности на должность заместителя начальника Первого главного управления, а в 1972 г. назначен начальником Главного научно-технического управления, членом коллегии Миннефтегазстроя. Он в течение 15 лет формировал и проводил инновационную политику строительства объектов нефтяной и газовой промышленности, руководил научно-техническим комплексом.

В связи с переходом на пенсию с 1987 г. стал работать главным научным консультантом, Заместителем председателя научно-технического Совета Миннефтегазстроя, ОАО Роснефтегазстрой. С 2000 г. и до настоящего времени — главный научный консультант Российского союза нефтегазостроителей, заместитель председателя его проблемного научно-технического совета.

Основное направление научной и инженерной деятельности О. М. Иванцова — проблемы надежности и безопасности трубопроводных систем для транспорта жидких и газообразных углеводородов. Этим проблемам посвящены оригинальные, самостоятельные исследования и разработки с коллективами ученых и специалистов в рамках межгосударственной научно-технической программы «Высокона-

дежный трубопроводный транспорт», в которой он является заместителем научного руководителя.

О. М. Иванцову принадлежат первые в России монографии, посвященные надежности и безопасности трубопроводных систем. Вместе с группой ученых и специалистов он подготовил специальный том «Безопасность трубопроводного транспорта», входящий в энциклопедию «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты».

Впервые в мировой практике О. М. Иванцов разработал совместно с учеными ВНИИгаза, ИМАШ РАН и ВНИИСТа методику расчета трубопроводов на надежность с применением моделей и методов теории надежности, определением фактических нагрузок и воздействий, классификацией отказов и предельных состояний (РД 51-41.2-003-97).

О. М. Иванцов создал новое научное направление — сооружение подземных хранилищ для нефтепродуктов, сжиженного и природного газа в отложениях горных пород, высокоэффективных подземных хранилищ в отложениях каменной соли путем выщелачивания через буровые скважины. Руководил разработкой научных основ и строительством первых в СССР подземных хранилищ в Яр-Бишкадаке (Башкирия), Лубнах (Украина) и Ереване в отложениях каменной соли, хранилищ шахтного типа (Таллинн).

О. М. Иванцов вместе с учеными Института электросварки им. Е. О. Патона разработал теоретические основы и способ монтажа вертикальных цилиндрических резервуаров, газгольдеров из крупноразмерных листовых конструкций, изготавливаемых на заводах и сворачиваемых в рулоны, адаптированные по габаритам к требованиям железных дорог. При этом обеспечивается высокая конструктивная прочность резервуаров.

За разработку принципиально нового способа изготовления и монтажа стальных резервуаров О. М. Иванцову в составе авторского коллектива присуждена Ленинская премия.

О. М. Иванцов активно участвовал в работах металлургов по совершенствованию отечественного трубоного производства.

На основе результатов многолетних исследований сформулированы научно обоснованные требования к трубам для магистральных трубопроводов разного назначения и класса. Руководил разработкой свода правил по выбору труб для сооружения магистральных газопроводов (СП 101-34-96) и магистральных нефтепроводов (СП 34-101-98). Вместе с сотрудниками Института электросварки им.



Е. О. Патона и ВНИИТмаша О. М. Иванцов участвовал в создании спиральношовных самокомпенсирующихся труб оригинальной конструкции для теплотрасс, мазутопроводов и др. Самокомпенсирующиеся трубы были опробованы при прокладке трубопроводов на Лукомской ГРЭС (Белоруссия), в теплосетях Санкт-Петербурга, Москвы и других городов. Применение самокомпенсирующихся труб позволяет отказаться от компенсаторов, прокладывая теплотрассы бесканально, обеспечивая тем самым огромный экономический эффект.

О. М. Иванцов был одним из организаторов отраслевой науки, проводником передовых технологий в практику нефтегазового строительства. Участвовал в разработке и внедрении скоростного метода прокладки трубопроводов комплексными потоками, комплектно-блочного способа строительства промысловых объектов, компрессорных и насосных станций, контактной сварки, технологии сооружения переходов через реки наклонно направленным бурением, новых принципов и устройств для баллаستирования трубопроводов, прокладки трубопроводов на постоянномерзлых грунтах и в сейсмически сложных районах.

О. М. Иванцов многие годы работал по совместительству профессором, читал лекции, вел аспирантов в Московском государственном университете нефти и газа им. И. М. Губкина. Был членом специализированных советов по присуждению уче-

ных степеней этого университета и ВНИИСТА, являлся членом экспертного совета ВАК.

Он принимал участие в Правительственной экспертизе и экспертизе Госгортехнадзора, Госстроя РФ всех крупных трубопроводных проектов: Каспийского трубопроводного консорциума, Балтийской нефтепроводной системы, «Сахалин-1», «Сахалин-2» и др. Он аттестован как эксперт высшей квалификации.

О. М. Иванцов — был членом редсовета издательства «Недра», редколлегии ряда технических журналов, заместителем главного редактора журнала «Строительство трубопроводов».

Вклад О. М. Иванцова в развитие нефтегазового строительства отмечен орденами Трудового Красного Знамени и «Знак Почета», а также многими медалями, Почетными грамотами, дипломами и знаками.

Профессор О. М. Иванцов пользуется большим уважением среди широкого круга ученых и специалистов и просто людей, знающих его в России и за рубежом благодаря смелым техническим идеям, умению их организовать, разработать и реализовать, глубоким знаниям и плодотворной деятельности на благо своей Отчизны.

В настоящее время О. М. Иванцов по-прежнему стоит на передовых рубежах современной науки и техники, полон новых творческих замыслов и энергии для их воплощения в практику.

В. Н. ШЛЕПАКОВУ — 70



Вся трудовая деятельность Валерия Николаевича Шлепакова связана с ИЭС им. Е. О. Патона, в котором он работает после окончания Киевского политехнического института с 1961 г. За эти годы им был пройден путь от инженера до заведующего лабораторией, ведущего научного сотрудника, доктора технических наук, из-

вестного в мире специалиста в области металлургии сварки и сварочных материалов. В начале своего творческого пути В. Н. Шлепаков принимал активное участие в исследованиях и разработке новых прогрессивных сварочных материалов — самозащитных порошковых проволок, предложил оригинальную двухслойную конструкцию порошковых проволок, которая запатентована во многих странах мира.

Исследования, выполненные В. Н. Шлепаковым, по оценке кинетики плавления порошковых проволок, формированию газовой и шлаковой защиты

расплавленного металла, взаимодействию металла с газами, структуры и свойств металла сварных швов при комплексном легировании являются крупным вкладом в теорию и практику дуговой сварки порошковой проволокой. Обобщение результатов этих работ позволило В. Н. Шлепакову подготовить и с успехом защитить диссертации на соискание ученых степеней кандидата (1970) и доктора (1988) технических наук. Результаты научно-исследовательских работ, проведенных В. Н. Шлепаковым, явились научной основой создания оригинальных композиций самозащитных и газозащитных порошковых проволок, новых способов и технологий дуговой сварки порошковыми проволоками, которые широко применяются при изготовлении крупногабаритных строительных конструкций, в судостроении, при строительстве магистральных трубопроводов и изготовлении машин и агрегатов, работающих в экстремальных условиях. Лицензии на производство этих проволок были приобретены фирмами США, Франции, Германии, Японии, Болгарии, Чехословакии и Китая. Он принимал активное участие



тие в освоении производства порошковых проволок в этих странах.

Валерий Николаевич внес большой вклад в создание высокопроизводительного оборудования и технологии изготовления порошковых проволок. При его непосредственном участии построены и запущены крупные цеха по выпуску порошковых проволок в Днепропетровске и Череповце.

Работы, выполненные при активном участии В. Н. Шлепакова, по достоинству оценены в нашей стране и за рубежом — золотые медали на выставке

в Брю (1975), Лейпцигской ярмарке (1985), Государственная премия СССР в области науки и техники (1978), премия Совета Министров СССР (1983).

В 2006 г. при участии В. Н. Шлепакова успешно завершён инновационный проект по организации современного производства порошковой проволоки на Опытном заводе сварочных материалов ИЭС. В. Н. Шлепаков — автор 175 научных работ, в том числе 9 монографий и 85 патентов.

Н. В. СКОРИНЕ — 60



Вся трудовая деятельность Николая Витальевича Скорины связана с ИЭС им. Е. О. Патона и отделом, в котором он работает уже 35 лет. За это время им пройден путь от инженера до старшего научного сотрудника, кандидата технических наук, высокоавторитетного, известного во многих странах специали-

ста в области сварочных материалов и технологии их производства. Работы Н. В. Скорины по исследованию и разработке эффективных пластификаторов электродных обмазочных масс, комбинированных натриево-калиевых жидких стекол, поиску снижения гигросорбционной способности электродных покрытий нашли широкое признание среди специалистов в области сварочных материалов и легли в основу отечественной высокоэффективной технологии производства покрытых сварочных электродов. Выполненные им исследования помогли создать отечественные ультранизководородные электроды для сварки высокопрочных низколегированных сталей.

Результаты проведенных Н. В. Скориной многолетних исследований изложены в 80-ти публикациях и обобщены в кандидатской диссертации на тему

«Исследование и разработка технологии изготовления низководородных электродов с применением органических пластификаторов», которая успешно была защищена в 1983 г. При его активном участии впервые в СССР была разработана и внедрена на Орловском сталепрокатном заводе технология конвейерного производства электродов серии УОНИ-13. А электроды марки АНО-36, в разработку которых Н. В. Скорина вложил свои знания, умение и опыт, получили заслуженное признание отечественных и зарубежных сварщиков.

Н. В. Скорину хорошо знают на заводах Москвы и Санкт-Петербурга, Орла и Мценска, Днепропетровска и Артемовска и многих, многих других городов. К его советам и рекомендациям прислушиваются как молодые технологии, так и маститые специалисты в области электродного производства.

Высокое чувство ответственности, настойчивость в работе, внимательное отношение к людям снискали Н. В. Скорине заслуженный авторитет и признание коллег.

Юбилару присуща активная жизненная позиция, стремление принять непосредственное участие в общественной жизни института. На протяжении многих лет он ведет большую работу в профкоме института.

Сердечно поздравляем юбиляров и желаем им крепкого здоровья, неиссякаемых жизненных и творческих сил и новых трудовых успехов.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Редколлегия и редакция журнала «Автоматическая сварка»



ПАМЯТИ С. Б. ЯКОБАШВИЛИ



25 ноября 2008 г. ушел из жизни Созар Бидзинович Якобашвили — президент Ассоциации сварщиков Грузии, директор Международного учебно-исследовательского центра по сварке «Интервелд им. Е. О. Патона» (г. Тбилиси), известный специалист в области сварки и наплавки, профессор, доктор технических наук.

Талантливый ученый и педагог, отличный организатор и прекрасный человек, он оставил яркий след в памяти тех, кто сотрудничал с ним в науке и педагогике, в общественной деятельности, встречался с ним в повседневной жизни.

Металлург по образованию и производственному опыту, как ученый-сварщик он сформировался в Институте электросварки им. Е. О. Патона, в котором закончил аспирантуру, затем работал научным сотрудником, защитил кандидатскую, а впоследствии и докторскую диссертации.

После возвращения в Грузию в 1969 г. С. Б. Якобашвили работал на разных должностях в сфере науки, образования и производства. Особенно велик вклад С.Б.Якобашвили в развитие сварочного

производства Грузии, в обеспечение страны инженерными и научными кадрами по сварке. Его учебник по теории сварочных процессов на грузинском языке — это базовое учебное пособие, по которому учились и продолжают учиться многие поколения грузинских инженеров и ученых-сварщиков.

Работая в Грузии Созар Бидзинович не терял связей с Украиной, с Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Он являлся членом бюро Межгосударственного научного совета по сварке, многие годы был членом Международного редакционного совета журнала «Автоматическая сварка». Являясь президентом Ассоциации сварщиков Грузии, он всю свою энергию и организаторские способности вкладывал в развитие сотрудничества между ассоциацией и Обществом сварщиков Украины.

Созар Бидзинович был толерантным, честным и порядочным человеком. Он всегда бескорыстно помогал людям, а его друзья и коллеги всегда могли рассчитывать на его помощь и поддержку.

Память об истинном ученом и педагоге, инженере и организаторе, добром друге и хорошем человеке навсегда сохраняют все, кто знал Созара Бидзиновича Якобашвили.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ за 2008 г.

Славный юбилей № 11
Новости № 1–12

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

АЛЕШИН Н. П. Современные средства неразрушающего контроля — основной инструмент оценки состояния конструкций № 11

БОКОТА А., ПЕКАРСКА В. Моделирование остаточных напряжений при лазерной сварке № 6
БОРИСОВ Ю. С., БОРИСОВА А. Л., ТУНИК А. Ю., КАРПЕЦ М. В., ВОЙНАРОВИЧ С. Г., КИСЛИЦА А. Н., КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК Е. К. Влияние параметров микроплазменного напыления на структуру, фазовый состав и текстуру покрытий из гидрооксипатита № 4

БОРИСОВА А. Л., БОРИСОВ Ю. С., АДЕЕВА Л. И., ТУНИК А. Ю., КАРПЕЦ М. В., БУРЛАЧЕНКО А. Н. Влияние параметров механохимического синтеза на структуру, фазовый состав и свойства порошков системы Al–Cu–Fe для газотермического напыления, содержащих квазикристаллическую фазу № 9

ГЕРОЛЬД Х. Новые аспекты в исследовании свариваемости — предпосылки для технологии и обеспечения качества процесса сварки № 11

ГОЛОВКО В. В., ГРАБИН В. Ф. Влияние легирования высокопрочного металла шва титаном на его структуру и свойства № 1

ГОЛОВКО Л. Ф., АНЯКИН Н. И., ЭХСАН О., НОВИКОВ Н. В., ШЕПЕЛЕВ А. А., СОРОЧЕНКО В. Г. Применение лазерной технологии для спекания алмазосодержащих композиционных материалов № 8

ГОРЫНИН И. В., ИЛЬИН А. В. Теоретические и экспериментальные исследования сопротивляемости хрупким разрушениям сварных конструкций для шельфа Арктики № 11

ГРИГОРЕНКО Г. М., КОСТИН В. А., ОРЛОВСКИЙ В. Ю. Современные возможности моделирования превращений аустенита в сварных швах низколегированных сталей № 3

ЖАРДИ А., АБЛИЗЕР Д. Два примера математического моделирования в области специальной электрометаллургии: процессы переплава и азотирования металлов № 11

ЗОРИН И. В., СОКОЛОВ Г. Н., АРТЕМЬЕВ А. А., ЛЫСАК В. И. Электрошлаковая наплавка торцевых поверхностей изделий с использованием двухконтурной схемы питания шлаковой ванны № 1

ЗУБЧЕНКО А. С. Коррозионное растрескивание хромоникелевых сталей в воде высоких параметров № 11

КАБЛОВ Е. Н., ЛУКИН В. И. Интерметаллиды на основе титана и никеля для изделий новой техники № 11

КАСАТКИН О. Г. Обратимая отпускная хрупкость сварных соединений корпусов реакторов типа ВВЭР № 2

КНЫШ В. В., ВАЛЬТЕРИС И. И., КУЗЬМЕНКО А. З., СОЛОВЕЙ С. А. Сопротивление коррозионной усталости сварных соединений, упрочненных высокочастотной механической проковкой № 4

КНЫШ В. В., СОЛОВЕЙ С. А., КУЗЬМЕНКО А. З. Накопление усталостных повреждений в тавровых сварных соединениях стали 09Г2С в исходном и упрочненном высокочастотной механической проковкой состояниях № 10

КОВАЛЬЧУК В. С. Учет влияния высокочастотной механической проковки на циклическую долговечность сварных соединений при двухчастотном нагружении № 3

КОЛОДЗИЙЧАК П., КАЛИТА В. Оценка качества соединений магниевых сплавов, полученных лазерной сваркой № 6

КОНДРАТЬЕВ И. А., РЯБЦЕВ И. А., БОГАЙЧУК И. Л., НОВИКОВА Д. П. Структура наплавленного металла типа графитизированных заэвтектоидных сталей № 7

КРИВЦУН И. В., СУХОРОУКОВ С. Б., СИДОРЕЦ В. Н., КОВАЛЕВ О. Б. Моделирование процессов испарения металла и газодинамики металлического пара в парогазовом канале при лазерной сварке № 10

КУЗЬМИН С. В., ЧУВИЧИЛОВ В. А., ЛЫСАК В. И. Особенности пластического деформирования металла околошовной зоны при сварке взрывом по схеме двустороннего симметричного плакирования № 5

КУНКИН Д. Д. Система управления процессом сварки ТИГ сталей малой толщины № 12

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ЗАГАДАРЧУК В. Ф., ШВЕЦ В. И., ГОРДАНЬ Г. Н. Влияние неметаллических включений в низколегированных сталях на их свариваемость при контактной сварке оплавлением № 6

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., КИРЬЯН В. И., КАЗЫМОВ Б. И., МИРЗОВ И. В., ХОМЕНКО В. И. Особенности испытаний на ударную вязкость сварных соединений труб, выполненных автоматической контактной стыковой сваркой оплавлением № 10

ЛЫСАК В. И., КУЗЬМИН С. В. Деформационно-энергетические аспекты и примеры практического применения процесса сварки взрывом № 11

ЛОБАНОВ Л. М., ПИВТОРАК В. А. Диагностика сварных конструкций методами электронной ширографии и спекл-интерферометрии № 11

МАЛЫЙ А. Б. Улучшение свариваемости сплава на никелевой основе ЧС-104 путем оптимизации режима термической обработки № 8

МАХНЕНКО В. И., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., ОЛЕЙНИК О. И. Выбор технологий устранения дефектов в магистральном трубопроводе без вывода его из эксплуатации № 6

МАХНЕНКО В. И., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., ОЛЕЙНИК О. И. Риск-анализ как средство формализации принятия решений о внеплановом ремонте сварных конструкций № 5

МАХНЕНКО В. И., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., ОЛЕЙНИК О. И. Характеристики сопротивления разрушению материала трубопровода в зоне дефектов, риск отказа № 7

МАХНЕНКО В. И., КВАСНИЦКИЙ В. В., ЕРМОЛАЕВ Г. В. Влияние физико-механических свойств соединяемых металлов и геометрии деталей на распределение напряжений при диффузионной сварке в вакууме № 1

МАХНЕНКО В. И., КВАСНИЦКИЙ В. В., ЕРМОЛАЕВ Г. В. Напряженно-деформированное состояние соединений при диффузионной сварке металлов с различными физико-механическими свойствами № 8

МАХНЕНКО В. И., МИЛЕНИН А. С. Анализ риска образования горячих трещин в сварных соединениях титан-алюминиевых соединений на основе математического моделирования № 2

МАХНЕНКО В. И., ШЕКЕРА В. М., ОНОПРИЕНКО Е. М. Определение параметров упрощенной диаграммы статической коррозионной трещиностойкости трубных сталей при почвенной коррозии № 10

МАХНЕНКО О. В. Повышение эффективности термической правки сварных тонколистовых конструкций на основе математического моделирования № 9

МАХНЕНКО О. В., ЗАЙФФАРТ П. Расчетное прогнозирование общих деформаций сварных балок при лазерной сварке № 3
МЕЙЕР П., СЕРЬЯК Х. Новые разработки для предотвращения образования холодных трещин в сварных соединениях мартенситных теплоустойчивых сталей № 11

МИЛЕНИН А. С. Физические и технологические аспекты сварки титан-алюминиевых соединений (Обзор) № 4

МОВЧАН Б. А. Механические размерные эффекты двухфазных неорганических материалов № 11

ПАНАСЮК В. В. Застосування методів механіки руйнування матеріалів для оцінювання міцності зварних з'єднань № 11

ПАТОН Б. Е., ИЩЕНКО А. Я., УСТИНОВ А. И. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники № 12

ПИЛЯРЧИК Я., БАНАСИК М., ДВОРАК Ж., СТАНО С. Лазерные установки в современных сварочных технологиях. Исследование и применение № 11

ПЕКАРСКА В. Численное моделирование структуры металла в ЗТВ при сварке стали повышенной прочности № 4

ПОЗНЯКОВ В. Д. Механические свойства металла швов и сопротивляемость образованию холодных трещин тавровых соединений стали 13ХГМРБ № 2

ПОЗНЯКОВ В. Д. Повышение сопротивляемости замедленному разрушению сварных соединений литых закаляющихся сталей № 5

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Влияние макровключений оксидной пленки на прочность швов тонколистовых соединений сплава АМг6 № 9

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г., ИЩЕНКО А. Я., ПОДЪЕЛЬНИКОВ С. В. Влияние параметров процесса сварки трением с перемешиванием на формирование швов соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,8...2,5 мм № 10

ПОХОДНЯ И. К. Металлургия дуговой сварки конструкционных сталей и сварочные материалы № 11

РАЗМЫШЛЯЕВ А. Д., МИРОНОВА М. В. Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке в продольном магнитном поле № 8

РАЗМЫШЛЯЕВ А. Д., МИРОНОВА М. В., ДЕЛИ А. А. Влияние продольного магнитного поля на характеристики дуги при сварке неплавящимся электродом в аргоне № 3

РЯБЦЕВ И. И. Расчетно-экспериментальная оценка эффективности легирования фосфором высоколегированного наплавленного металла № 5

СИЛЬЧЕНКО Т. Ш., КУЗЬМИН С. В., ЛЫСАК В. И., ГОРОБЦОВ А. С., ДОЛГИЙ Ю. Г. Оценка вертикального перемещения метаемых металлических пластин перед точкой контакта при сварке взрывом № 4

СКОТТИ А. Состояние и перспективы развития исследований в области сварки в Латинской Америке на примере Бразилии № 11

СОКОЛЬСКИЙ В. Э., РОИК А. С., КАЗИМИРОВ В. П., РЯБЦЕВ И. И., МИЩЕНКО Д. Д., РЯБЦЕВ И. А., КОТЕЛЬЧУК А. С., ТОКАРЕВ В. С. Влияние диоксида циркония на свойства шлака при дуговой наплавке низколегированной порошковой проволокой под флюсом АН-348А № 7

СОКОЛЬСКИЙ В. Э., РОИК А. С., КАЗИМИРОВ В. П., ТОКАРЕВ В. С., ГОНЧАРОВ И. А., ГАЛИНИЧ В. И., МИЩЕНКО Д. Д., ШЕВЧУК Р. Н. Влияние технологии изготовления на структуру и свойства плавленных флюсов № 1

ТУРИЧИН Г. А., ВАЛДАЙЦЕВА Е. А., ПОЗДЕЕВА Е. Ю., ЗЕМЛЯКОВ Е. В., ГУМЕНЮК А. В. Моделирование динамического поведения сварочной ванны при лазерной и гибридной сварке с глубоким проплавлением № 7

ХАРЛАМОВ М. Ю., КРИВЦУН И. В., КОРЖИК В. Н., ПЕТРОВ С. В., ДЕМЬЯНОВ А. И. Влияние рода газа спутного потока на характеристики дуговой плазмы, создаваемой плазмотроном с проволокой-анодом № 6

ХОРУНОВ В. Ф., МАКСИМОВА С. В. Выбор припоев для пайки тонкостенных теплообменных устройств № 3

ХОХЛОВА Ю. Я., ЧАЙКА А. А., ФЕДОРЧУК В. Е. Механизм влияния скандия на структуру и механические свойства ЗТВ соединений алюминиевого сплава В96, полученных дуговой сваркой № 12

ЦАРЮК А. К., СКУЛЬСКИЙ В. Ю., МОРАВЕЦКИЙ С. И., СОКИРКО В. А. Влияние электромагнитной обработки на остаточные сварочные напряжения в сварных соединениях углеродистых и низколегированных сталей № 9

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Коррекция траектории движения манипуляционного робота с учетом дополнительных измерений № 5

ЦЫБУЛЬКИН Г. А. О влиянии малых параметров на устойчивость процесса дуговой сварки плавящимся электродом № 8
ЦЫБУЛЬКИН Г. А. Стабилизация скорости плавления электрода при роботизированной дуговой сварке № 12

ЮЩЕНКО К. А., ЗАДЕРИЙ Б. А., ЗВЯГИНЦЕВА А. В., КОТЕНКО С. С., ПОЛИЩУК Е. П., САВЧЕНКО В. С., ГАХ И. С., КАРАСЕВСКАЯ О. П. Склонность к образованию трещин и структурные изменения при ЭЛС монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов № 2

ЮЩЕНКО К. А., ЗАДЕРИЙ Б. А., САВЧЕНКО В. С., ЗВЯГИНЦЕВА А. В., ГАХ И. С., КАРАСЕВСКАЯ О. П. Сварка и наплавка жаропрочных никелевых сплавов с монокристаллической структурой № 11

ЮЩЕНКО К. А., ЯРОВИЦЫН А. В., ЗВЯГИНЦЕВА А. В. Свойства соединений жаропрочных никелевых сплавов, выполненных микроплазменной порошковой сваркой № 9

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

АЛЬБЕРТ Ф., ГРИММ А., КАГЕЛЕР С., ШМИДТ М. Лазерная сварка и пайка в автомобилестроении № 6

БЕЛОЕВ М. Современные тенденции развития монтажно-сварочных работ № 11

БАРВИНКО А. Ю. Повышение эксплуатационной надежности сварных резервуаров с двойной стенкой № 3

БЕРНАДСКИЙ В. Н. Институт сварки Франции сегодня № 7

ВУ Л., ЛИ Х. К., ГАО Х. М., ЖАНГ Г. Ж. Технология дистанционной сварки № 11

ГАРФ Э. Ф., СНИСАРЕНКО В. В. Разработка и применение сварных конструкций из труб № 5

ГЕДРОВИЧ А. И., ТКАЧЕНКО С. А., КАЛЕНСКАЯ А. В. Выбор проволоки для дуговой механизированной сварки однородных и разнородных соединений стали 10Х13Г18Д № 1

ГЕДРОВИЧ А. И., ТКАЧЕНКО А. Н., ТКАЧЕНКО С. Н., ЕЛАГИН В. П. Характер разрушения сварных соединений сталей 10Х13Г18Д+09Г2С при вибрационных нагрузках № 7

ГОЛОВКО В. В., ГАЛИНИЧ В. И., ГОНЧАРОВ И. А., ОСИПОВ Н. Я., НЕТЯГА В. И., ОЛЕЙНИК Н. Н. Агломерированные флюсы — новая продукция завода ОАО «Запорожстеклофлюс» № 10

ГОРБАЧ В. Д., НИКИФОРОВ Н. И. Развитие процессов автоматической термической резки на предприятиях судостроения, металлургии и машиностроения № 11

ДАВЫДОВ Е. А. Определение размеров трещин в сварных соединениях с помощью ультразвуковых волн дифракции № 3
ДЕХЕЛЕАН Д., КОЙОКАРУ Р., РАДУ Б., САФТА В. Контроль процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевых и магниевых сплавов № 11

ДИЛТАЙ У. Сварка и соединение — ключевые технологии третьего тысячелетия № 11

ДМИТРИК В. В., ЦАРЮК А. К., КОНЫК А. И. Карбидные фазы и повреждаемость сварных соединений паропроводов в условиях ползучести № 3

ДРАГАН С. В., ЯРОС Ю. А. Обеспечение стабильности процесса сварки под флюсом при малой плотности тока № 1

ЗАГОРНИКОВ В. И. Техника ремонта лопаток из титанового сплава ВТ3-1 с использованием ЭЛС № 5

КАЙТЕЛЬ С., АРЕНС К. Образование и подготовка специалистов в области сварки и испытания материалов № 11

КАРАСЕВ М. В., РАБОТИНСКИЙ Д. Н., АЛИМОВ А. Н., ГРЕБЕНЧУК В. Г., ГОЛОВИН С. В., РОЗЕРТ Р. Сварка стыковых швов мостовых конструкций и трубопроводов порошковой проволокой с использованием оборудования для управления переносом металла № 10

КИРИЧЕНКО В. В., ГРЯЗНОВ Н. А., КРИВЦУН И. В. Экспериментальный комплекс для исследования процессов импульсной лазерно-микроплазменной сварки № 8

КОВАЛЬЧУК В. С. Определение циклической долговечности материалов и сварных соединений при полицикловом нагружении № 12

КОВТУНЕНКО В. А., ГЕРАСИМЕНКО А. М., ЗАДОРЖНЫЙ В. А., РЫНДИЧ В. В. Применение проката 10ХСНДА, 15ХСНДА в металлоконструкциях железнодорожно-автомобильного мостового перехода через р. Днепр в Киеве № 9

КОЗУЛИН С. М., ЛЫЧКО И. И., ПОДЫМА Г. С. Электрошлаковая наплавка зубьев вал-шестерни вращающейся обжиговой печи № 5

КОНОНЕНКО В. Я. Гипербарическая сухая подводная сварка (Обзор) № 4

КОРЖ В. Н., ПОПИЛЬ Ю. С. Регулирование тепловой мощности водородно-кислородного пламени при газопламенной обработке № 2

КОРНИЕНКО А. Н., ЛИТВИНОВ А. П. Переход к комплексному развитию сварочного производства № 3

КРИВОШЕЕВ П. И., СЛЮСАРЕНКО Ю. С., ЛЮБЧЕНКО И. Г. Проблемы продления ресурса строительных конструкций № 11

КРИВЧИКОВ С. Ю. Повышение триботехнических характеристик наплавленных чугунных коленчатых валов автомобилей № 12

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ДИДКОВСКИЙ А. В., ШВЕЦ В. И. Технология и оборудование для контактной сварки высокопрочных рельсов № 11

КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ШВЕЦ Ю. В., КАВУНИЧЕНКО А. В., ШВЕЦ В. И., ТАРАНЕНКО С. Д., ПРОЩЕНКО В. А. Работоспособность соединений железнодорожных крестовин, выполненных контактной стыковой сваркой № 9

ЛЕВЧЕНКО О. Г., ЛЕВЧУК В. К. Безопасный уровень напряженности электромагнитного поля при контактной сварке № 5

ЛЕНТЮГОВ И. П., РЯБЦЕВ И. А., КУЗЬМЕНКО О. Г., КУСКОВ Ю. М. Металлообразивные шлифовальные отходы, методы их переработки и опыт применения в наплавочных материалах № 9

ЛИТВИНОВ А. П. Разработка и развитие дуговой сварки в активных газах № 7

ЛОБАНОВ Л. М., ПРОЦЕНКО Н. А. Создание стандартов в области сварки и родственных технологий в Украине № 1

ЛОБАНОВ Л. М., ТИМОШЕНКО А. Н., ГОНЧАРОВ П. В., ЗАЙЦЕВ В. И. Технология дуговой точечной сварки стальной трехслойной панели с ячеистым наполнителем № 2

МАЗУР А. А. Технопарк «ИЭС им. Е. О. Патона» — опыт работы и перспективы № 1

МА ПИН, БОНДАРУК А. В. Опыт и перспективы применения оборудования для сварки рельсов в КНР № 10

МАХНЕНКО В. И., ЖУДРА А. П., ВЕЛИКОИВАНЕНКО Е. А., БЕЛЫЙ А. И., ДЗЫКОВИЧ В. И. Прогнозирование дисперсности гранул и их производительности при центробежном распылении сплавов № 4

МИДДЕЛЬДОРФ К., ХОФЕ ФОН Д. Тенденции развития технологий соединения материалов № 11

МОЗЖУХИН А. А. К теории решения изобретательских задач № 8

НАЗАРЕНКО О. К. Современное оборудование ИЭС им. Е. О. Патона для электронно-лучевой сварки № 10

ОКАМОТО Я., ГИЛЬНЕР А., ОЛОВИНСКИЙ А., ГЕНДРИКС Дж., УНО Й. Микросварка фольги нержавеющей стали высокоскоростным лазерным сканированием № 11

ПАТОН Б. Е. Сварка и родственные технологии в медицине № 11

ПАШКОВ И. Н., ИЛЬИНА И. И., РОДИН И. В., ШОКИН С. В., ТАВОЛЖАНСКИЙ С. А. Способы получения и применение быстрозакаленных припоев № 6

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., НОВИКОВА Д. П., ЮХИМЕНКО Р. В., ПРОКОФЬЕВ А. С., ПИСЬМЕННЫЙ А. А., ПОЛУХИН В. В., ПОЛУХИН Вл. В. Особенности технологии высокочастотной шовной сваркопайки труб № 2

ПОКЛЯЦКИЙ А. Г. Характерные дефекты при сварке трением с перемешиванием тонколистовых алюминиевых сплавов и основные причины их образования № 6

СМАЛЛБОНЕ К. Улучшение качества жизни посредством оптимального использования сварочных технологий № 11

СЯОХУН Л., МАО В., КСИОНГ Х.-П., ГУО Ш.-К., ЮАН Х. Прогрессивные технологии соединения современных аэрокосмических материалов в Китае № 11

ФОМИЧЕВ С. К., ЛОПАТКИН И. Е., ЛОПАТКИНА К. Г., ВАСИЛЕНКО Е. И. Модель дистанционного обучения бакалавра-сварщика № 1

ФУДЖИТА Ю., НАКАНИСИ Ю., ЮРИОКА И. Технологии сварки в современной промышленности Японии (Обзор) № 11

ХАСКИН В. Ю. Процессы упрочнения и нанесения покрытий с использованием лазерного излучения (Обзор) № 12

ХАСКИН В. Ю. Современное состояние и перспективы развития лазерных технологий нанесения покрытий и поверхностного упрочнения (Обзор) № 2

ХОФЕ ФОН Д. Новое в стандарте ISO 3834:2005 № 11

ЦАРЮК А. К., СКУЛЬСКИЙ В. Ю., МОРАВЕЦКИЙ С. И., СОКИРКО В. А. Изменение механических свойств сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей под влиянием электромагнитных воздействий № 7

ЦВЕТКОВ Ю. В., САМОХИН А. В. Плазменная нанопорошковая металлургия № 11

ЧАЙКА В. Г., ВОЛОХАТЮК Б. И., ЧАЙКА Д. В. Серия машин «Чайка» для контактной стыковой сварки ленточных пил, проволок и стержней № 10

ЯВОРСКИЙ Ю. Д., КУЧУК-ЯЦЕНКО С. И., ЛОСЕВ Л. Н. Экспериментальная оценка несущей способности стыковых сварных соединений фасонного проката в элементах конструкций, подвергнутых малоциклового нагружке № 4

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

АБРАМОВ А. А., ЗАВГОРОДНИЙ В. В. Оптимизация геометрии наконечника токоподводящего мундштука для механизированной дуговой сварки № 1

Диссертации на соискание ученой степени № 2, 8, 9, 12

ДОБРУШИН Л. Д., ПЕТУШКОВ В. Г., БРЫЗГАЛИН А. Г. Применение энергии взрыва для обработки сварных соединений декомпозиеров и мешалок Николаевского глиноземного завода № 5

ЖЕРНОСЕКОВ А. М. Влияние колебания напряжения сети на процесс импульсно-дуговой сварки № 2

Изобретения стран мира № 3–12

Информация № 1–12

Календарь конференций и выставок в 2008 г. (сварка и родственные технологии) № 1

КОЛЯДА В. А., ШАПОВАЛОВ Е. В. Калибровка оптической системы для оценки распределения температурного поля в зоне сварки № 4

НАЗАРЕНКО О. К. Сокращение времени откачки крупногабаритных вакуумных камер электронно-лучевых сварочных установок № 3

НАЙДА В. Л., МОЗЖУХИН А. А., ЛОБАНОВ О. Ф., ИГНАТЕНКО В. А., ОЛЕЙНИК Ю. А., ЕФИМОВ И. В., КОПЫЛОВ А. П., ЗАХАРОВ А. Ф. Модернизированное оборудование для АУЗК концевых участков труб № 6

Новые книги № 1–3, 5, 12

Патенты в области сварочного производства № 1, 2

ПИСЬМЕННЫЙ А. С., ШВЕЦ В. И., КУЧУК-ЯЦЕНКО В. С., КИСЛИЦЫН В. М. К вопросу пайки металлов порошковыми припоями различной дисперсности № 12

По зарубежным журналам № 1–10, 12

Программы профессиональной подготовки в МУАЦ на 2009 г. № 12

ЮЩЕНКО К. А., САВЧЕНКО В. С., ЧЕРВЯКОВА Л. В., ИЗБАШ В. И., СОЛЯНИК В. Г. Анализ причин разрушения лопаток осевого компрессора агрегата ГТК-25И № 7

ХРОНИКА

Актуальные проблемы производства сварочных материалов (по итогам работы расширенного собрания Ассоциации «Электрод» предприятий стран СНГ) № 10

Большакову В. М. — 70 № 7

Вручение академику Б. Е. Патону диплома почетного доктора Словацкого технического университета № 12

В Совете научной молодежи ИЭС им. Е. О. Патона № 4

Выставка в Германии № 12

Выставка нанотехнологий и материалов № 2

Выставка «Сварка. Родственные технологии» в Киеве № 6

Ежегодная конференция и выставка Американского сварочного общества № 3

Ежегодная конференция «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях» № 4

Зубченко А. С. — 70 № 10

Иванцову О. М. — 90 № 12

Илюшенко В. М. — 70 № 7

К 100-летию В. И. Дятлова № 1

К 100-летию со дня рождения А. Е. Асниса № 8

Конгресс термистов и металлургов № 8

Конференция «Пайка-2008» в Тольятти № 12

Международная конференция «Наноразмерные системы. Строение—свойства—технологии» № 1

Международная конференция «Сварочные и родственные технологии при строительстве, реконструкции и ремонте трубопроводов» № 1

Международная конференция «Ресурс, надежность и эффективность использования энергетического оборудования» № 9

Международная конференция «Титан-2008 в СНГ» № 9

Международная научно-практическая конференция «Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки — 2008» № 8

Международная научно-техническая конференция в Египте № 3

Международные специализированные выставки «Сварка и резка» и «Защита от коррозии. Покрытия» № 6

Мовчану Б. А. — 80 № 5

Мозжухину А. А. — 70 № 5

Научно-техническая конференция «Инженерия поверхности и реновация изделий» № 8

Наши поздравления № 2, 4

Наши поздравления № 4

Петушкову В. Г. — 70 № 8

Памяти Арсенюка В. В. № 7

Памяти Герольда Х. № 10

Памяти Карпенко В. М. № 6

Памяти Ковтуненко В. А. № 9

Памяти Лебедева В. К. № 7

Памяти Фукса Г. Б. № 4

Памяти Лескова Г. И. № 9

Памяти Якобашвили С. Б. № 12

Первая международная конференция «Соединение алюминиевых конструкций» № 2

Петушкову В. Г. — 70 № 8

Поздравляем лауреатов премии им. Е. О. Патона № 6

5-я Отраслевая научно-производственная конференция «Техническая диагностика-2008» № 7

15-я Международная конференция «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» № 1

Разработано в ИЭС № 1, 2

Скорина Н. В. — 60 № 12

Сварочный май в России № 8

Семинар МААН стран СНГ «Наноматериалы и нанотехнологии их получения» № 9

Семинар-форум ПИИ «Бинцель Украина ГмбХ» в Киеве № 1

3-я Международная выставка «Schweissen & Schneiden India 2008» № 7

Технический семинар специалистов по сварке в г. Симферополе № 12

Украинско-российский семинар по атомной энергетике № 3

Четвертая международная конференция «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах» № 9

VI Научно-практическая конференция «Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности» № 7

61-я Ежегодная ассамблея Международного института сварки № 10

Шлепакову В. Н. — 70 № 12

Якобашвили С. Б. — 75 № 8

РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки

(190×190мм) — 700\$

Вторая страница обложки

(200×290мм) — 550\$

Третья страница обложки

(200×290мм) — 500\$

Четвертая страница обложки

(200×290мм) — 600\$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки

(200×290мм) — 400\$

Вторая страница обложки

(200×290мм) — 400\$

Третья страница обложки

(200×290мм) — 400\$

Четвертая страница обложки

(200×290мм) — 400\$

Внутренняя вставка

Полноцветная (разворот А3)

(400×290мм) — 570\$

Полноцветная (200×290мм) — 340\$

Полноцветная (200×142мм) — 170\$

Реклама в разделе информации

Полноцветная (165×245мм) — 300\$

Полноцветная (165×120мм) — 170\$

Полноцветная (82×120мм) — 80\$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

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

• Статья на правах рекламы — 50% стоимости рекламной площади

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

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290мм

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

Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 7.0

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

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

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Аблизер Д. № 11

Абрамов А. А. № 1
 Адеева Л. И. № 9
 Алешин Н. П. № 11
 Алимов А. Н. № 10
 Альберт Ф. № 6
 Анякин Н. И. № 8
 Аренс К. № 11
 Артемьев А. А. № 1

Банасик М. № 11

Барвинко А. Ю. № 3
 Белоев М. № 11
 Белый А. И. № 4
 Бернадский В. Н. № 7
 Богайчук И. Л. № 7
 Бокота А. № 6
 Бондарук А. В. № 10
 Борисов Ю. С. № 4, 9
 Борисова А. Л. № 4, 9
 Брызгалин А. Г. № 5
 Бурлаченко А. Н. № 9

Валдайцева Е. А. № 7

Вальтерис И. И. № 4
 Василенко Е. И. № 1
 Великоиваненко Е. А. № 4–7
 Войнарович С. Г. № 4
 Волохатюк Б. И. № 10
 Ву Л. № 11

Галинич В. И. № 1, 10

Гао Х. М. № 11
 Гарф Э. Ф. № 5
 Гах И. С. № 2, 11
 Гедрович А. И. № 1, 7
 Гендрикс Дж. № 11
 Герасименко А. М. № 9
 Герольд Х. № 11
 Гильнер А. № 11
 Головин С. В. № 10
 Головки В. В. № 1, 10
 Головки Л. Ф. № 8
 Гончаров И. А. № 1, 10
 Гончаров П. В. № 2
 Горбач В. Д. № 11
 Гордань Г. Н. № 6
 Горобцов А. С. № 4
 Горынин И. В. № 11
 Грабин В. Ф. № 1
 Гребенчук В. Г. № 10
 Григоренко Г. М. № 3
 Гримм А. № 6
 Грязнов Н. А. № 8
 Гуменюк А. В. № 7
 Гуо Ш.-К. № 11

Давыдов Е. А. № 3

Дели А. А. № 3
 Демьянов А. И. № 6
 Дехелеан Д. № 11
 Дзыкович В. И. № 4
 Дворак Ж. № 11

Дидковский А. В. № 11
 Дилтай У. № 11
 Дмитрик В. В. № 3
 Добрушин Л. Д. № 5
 Долгий Ю. Г. № 4
 Драган С. В. № 1

Елагин В. П. № 7

Ермолаев Г. В. № 1, 8
 Ефимов И. В. № 6

Жанг Г. Ж. № 11

Жарди А. № 11
 Жерносеков А. М. № 2
 Жудра А. П. № 4

Завгородний В. В. № 1

Загадарчук В. Ф. № 6
 Загорников В. И. № 5
 Задерий Б. А. № 2, 11
 Задорожный В. А. № 9
 Зайффарт П. № 3
 Зайцев В. И. № 2
 Захаров А. Ф. № 6
 Звягинцева А. В. № 2, 9, 11
 Земляков Е. В. № 7
 Зорин И. В. № 1
 Зубченко А. С. № 11

Игнатенко В. А. № 6

Избаш В. И. № 7
 Ильин А. В. № 11
 Ильина И. И. № 6
 Ищенко А. Я. № 10, 12

Каблов Е. Н. № 11

Кавуниченко А. В. № 9
 Кагелер С. № 6
 Казимиров В. П. № 1, 7
 Казымов Б. И. № 10
 Кайтель С. № 11
 Каленская А. В. № 1
 Калита В. № 6
 Карасев М. В. № 10
 Карасевская О. П. № 2, 11
 Карпец М. В. № 4, 9
 Касаткин О. Г. № 2
 Квасницкий В. В. № 1, 8
 Кириченко В. В. № 8
 Кирьян В. И. № 10
 Кислица А. Н. № 4
 Кислицын В. М. № 10, 12
 Кныш В. В. № 4, 10
 Ковалев О. Б. № 10
 Ковальчук В. С. № 3, 12
 Ковтуненко В. А. № 9
 Козулин С. М. № 5
 Койокару Р. № 11
 Колодзийчак П. № 6
 Коляда В. А. № 4
 Кондратьев И. А. № 7
 Кононенко В. Я. № 4
 Конык А. И. № 3

Копылов А. П. № 6
 Корж В. Н. № 2
 Коржик В. Н. № 6
 Корниенко А. Н. № 3
 Костин В. А. № 3
 Котельчук А. С. № 7
 Котенко С. С. № 2
 Кривошеев П. И. № 11
 Кривцун И. В. № 6, 8, 10
 Кривчиков С. Ю. № 12
 Ксионг Х.-П. № 11
 Кузьмин С. В. № 4, 5, 11
 Кузьменко А. З. № 4, 10
 Кузьменко О. Г. № 9
 Кункин Д. Д. № 12
 Кузьмич-Янчук Е. К. № 4
 Кусков Ю. М. № 9
 Кучук-Яценко В. С. № 10, 12
 Кучук-Яценко С. И. № 4, 6, 9–11

Левченко О. Г. № 5

Левчук В. К. № 5
 Лентюгов И. П. № 9
 Ли Х. К. № 11
 Литвинов А. П. № 3, 7
 Лобанов Л. М. № 1, 2, 11
 Лобанов О. Ф. № 6
 Лопаткин И. Е. № 1
 Лопаткина К. Г. № 1
 Лосев Л. Н. № 4
 Лукин В. И. № 11
 Лысак В. И. № 1, 4, 5, 11
 Лычко И. И. № 5
 Любченко И. Г. № 11

Мазур А. А. № 1

Максимова С. В. № 3
 Малый А. Б. № 8
 Ма Пин № 10
 Мао В. № 11
 Махненко В. И. № 1, 2, 4–8, 10
 Махненко О. В. № 3, 9
 Мейир П. № 11
 Миддельдорф К. № 11
 Миленин А. С. № 2, 4
 Мирзов И. В. № 10
 Миронова М. В. № 3, 8
 Мищенко Д. Д. № 1, 7
 Мовчан Б. А. № 11
 Мозжухин А. А. № 6, 8
 Моравецкий С. И. № 7, 9

Назаренко О. К. № 3, 10

Найда В. Л. № 6
 Наканиси Ю. № 11
 Нетяга В. И. № 10
 Никифоров Н. И. № 11
 Новиков Н. В. № 8
 Новикова Д. П. № 2, 7

Окамото Я. № 11

Олейник Н. Н. № 10
 Олейник О. И. № 5–7
 Олейник Ю. А. № 6

Оловинский А. № 11
Онопrienко Е. М. № 10
Орловский В. Ю. № 3
Осипов Н. Я. № 10

Панасюк В. В. № 11
Патон Б. Е. № 11, 12
Пашков И. Н. № 6
Пекарска В. № 4, 6
Петров С. В. № 6
Петушков В. Г. № 5
Пивторак В. А. № 11
Пиллярчик Я. № 11
Письменный А. А. № 2
Письменный А. С. № 2, 10, 12
Подыма Г. С. № 5
Подъельников С. В. № 10
Поздеева Е. Ю. № 7
Позняков В. Д. № 2, 5
Покляцкий А. Г. № 6, 9, 10
Полищук Е. П. № 2
Полухин В. В. № 2
Полухин Вл. В. № 2
Попиль Ю. С. № 2
Походня И. К. № 11
Прокофьев А. С. № 2
Проценко Н. А. № 1
Прощенко В. А. № 9

Работинский Д. Н. № 10
Размышляев А. Д. № 3, 8
Раду Б. № 11
Родин И. В. № 6
Розерт Р. № 10
Роик А. С. № 1, 7
Рындич В. В. № 9
Рябцев И. А. № 7, 9
Рябцев И. И. № 5, 7

Савченко В. С. № 2, 7, 11

Самохин А. В. № 11
Сафта В. № 11
Серьяк Х. № 11
Сидорец В. Н. № 10
Сильченко Т. Ш. № 4
Скотти А. № 11
Скульский В. Ю. № 7, 9
Слюсаренко Ю. С. № 11
Смаллбоне К. № 11
Снисаренко В. В. № 5
Сокирко В. А. № 7
Соколов Г. Н. № 1
Сокольский В. Э. № 1, 7
Соловей С. А. № 4, 10
Соляник В. Г. № 7
Сороченко В. Г. № 8
Стано С. № 11
Сухоруков С. Б. № 10
Сяхун Л. № 11

Таволжанский С. А. № 6
Тараненко С. Д. № 9
Тимошенко А. Н. № 2
Ткаченко А. Н. № 7
Ткаченко С. А. № 1
Ткаченко С. Н. № 7
Токарев В. С. № 1, 7
Тунник А. Ю. № 4, 9
Туричин Г. А. № 7

Уно Й. № 11
Устинов А. И. № 12

Федорчук В. Е. № 12
Фомичев С. К. № 1
Фуджита Ю. № 11

Харламов М. Ю. № 6

Хаскин В. Ю. № 2, 12
Хоменко В. И. № 10
Хорунов В. Ф. № 3
Хофе Д. фон № 11
Хохлова Ю. А. № 12

Царюк А. К. № 3, 7, 9
Цветков Ю. В. № 11
Цыбульский Г. А. № 5, 8, 12

Чайка А. А. № 12
Чайка В. Г. № 10
Чайка Д. В. № 10
Червякова Л. В. № 7
Чувичилов В. А. № 5

Шаповалов Е. В. № 4
Швец В. И. № 6, 9–12
Швец Ю. В. № 9
Шевчук Р. Н. № 1
Шекера В. М. № 10
Шепелев А. А. № 8
Шмидт М. № 6
Шокин С. В. № 6

Царюк А. К. № 7, 9

Эхсан О. № 8

Юан Х. № 11
Юриока И. № 11
Юхименко Р. В. № 2
Ющенко К. А. № 2, 7, 9, 11

Яворский Ю. Д. № 4
Яровицын А. В. № 9
Ярос Ю. А. № 1

ПОДПИСКА — 2009 на журнал «Автоматическая сварка»

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

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

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

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

ПОДПИСНОЙ КУПОН	
Адрес для доставки журнала	_____
Срок подписки с	200 г. по
Ф. И. О.	200 г. включительно
Компания	_____
Должность	_____
Тел., факс, E-mail	_____



**Межотраслевой учебно-аттестационный центр
Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины**



Программы профессиональной подготовки на 2009 г.

Шифр курса	Наименование программы		Продолжи-тельность	Сроки проведения	
1. Повышение квалификации инженерно-технических работников (с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций в т.ч. подведомственных государственным надзорным органам)					
101	Техническое руководство сварочными работами на объектах, за которыми осуществляется государственный надзор	подготовка и аттестация	3 недели (112 ч)	февраль	
102		переаттестация	18 ч	март, сентябрь, ноябрь	
103	Техническое руководство сварочно-монтажными работами при строительстве и ремонте газопроводов из полиэтиленовых труб	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	май, ноябрь	
104		переаттестация	1 неделя (32 ч)	март, декабрь	
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)		3 недели (112 ч)	декабрь	
106	Аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков – экспертов УАКС (экзамен; расширение области аттестации)		8 ч	по мере поступления заявок и по согласованию с УАКС	
108	Подготовка членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	октябрь	
109		специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (74 ч)	ежеквартально	
110		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (74 ч)	апрель	
111	Аттестация членов комиссий по аттестации сварщиков – специалистов технологических служб по сварке (экзамен; расширение области аттестации)		6 ч	по мере поступления заявок	
113	Подтверждение полномочий председателей комиссий - экспертов УАКС:	со стажем 3 года	16 ч	апрель, декабрь	
114		со стажем 6 лет	32 ч	ноябрь	
115		со стажем 9 лет	22 ч	май, декабрь	
170		со стажем 12 лет	20 ч	февраль, июнь, июль, октябрь, ноябрь, декабрь	
116	Подтверждение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков:	со стажем 3 года	16 ч	апрель	
117		со стажем 6 лет	32 ч	июль, ноябрь	
118		со стажем 9 лет	22 ч	май, декабрь	
171		со стажем 12 лет	20 ч	май	
147	специалистов по техническому контролю		8 ч	ежеквартально	
119		специалистов по техническому контролю (включая спец. подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	28 ч		
120		специалистов по охране труда	16 ч		январь, март, октябрь, ноябрь
121	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки с присвоением квалификации:	Международный инженер по сварке	438 ч (120 ч ¹)	апрель, ноябрь	
122		Международный технолог по сварке	338 ч (100 ч ¹)		
123		Международный специалист по сварке	227 ч (70 ч ¹)		
124		Международный практик по сварке	140 ч (32 ч ¹)		
126		Международный инспектор по сварке	полного уровня	227 ч	по мере поступления заявок
128			стандартного уровня	166 ч	
125			базового уровня	113 ч	
131	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европейского сертификата)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком	
132	Производство сварочных электродов: организация, технологии и системы управления качеством		3 недели (112 ч)		
133	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)	аттестация	2 недели (72 ч)	март, июль	
134		переаттестация	22 ч		
135	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта		2 недели (72 ч)	по мере поступления заявок	
136	Металлографические исследования металлов и сварных соединений	аттестация	2 недели (72 ч)	сентябрь	
137		переаттестация	22 ч		
138	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений	повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	июнь	
139		переаттестация	20 ч	январь, февраль	
140	Эмиссионный спектральный анализ (стилюскопирование) металлов и сплавов	аттестация	2 недели (74 ч)	ноябрь, декабрь	
141		переаттестация	22 ч		
142	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей методами наплавки		70 ч	по согласованию с заказчиком	
Тематические семинары (возможно проведение на территории заказчика)					
143	Состояние нормативно-технической документации в области сварочного производства, тенденции и перспективы		1-2 дня	июнь, сентябрь	

144	Современное сварочное оборудование на рынке Украины	1 день	ежеквартально
145	Новые технологии профессиональной подготовки сварщиков и дефектоскопистов		
150	Основы сварки и сварочного производства, классификация сварочных и основных материалов для консультантов торговых фирм.	2 дня	по согласованию с заказчиком
151	Современное оборудование и состояние нормативной документации в области сварки труб из термoplastов	1-2 дня	

2. Подготовка и повышение квалификации педагогических работников системы профессионально-технического образования в области сварки

201	Подготовка, повышение квалификации инструкторов по сварке и родственным технологиям	3 недели (112 ч)	по согласованию с заказчиком
202	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин по сварке и родственным технологиям	2 недели (72 ч)	
203	Повышение квалификации мастеров производственного обучения по использованию модульных технологий в обучении сварщиков	3 недели (112 ч)	
204	Повышение квалификации преподавателей профессионального обучения по использованию модульных технологий в обучении сварщиков	2 недели (72 ч)	

3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала в области сварки и родственных технологий (с присвоением квалификации в соответствии с национальными и международными требованиями)

Курсовая подготовка сварщиков:

301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	9 недель (352 ч)	постоянно, по мере поступления заявок
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	5 недель (192 ч)	
303	газовой сварки	3 недели (116 ч)	
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	3 недели (112 ч)	
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	
306	автоматической дуговой сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	март, ноябрь
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)	5 недель (196 ч)	январь, март, июнь, октябрь
310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	5–12 недель ²	по согласованию с заказчиком
315	Специальная подготовка по технологии и оборудованию контактной сварки арматуры	2 недели (72 ч)	

Курсовая переподготовка сварщиков:

316	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	152 ч ³	постоянно, по мере поступления заявок
317		76 ч ³	
318	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	112 ч ³	
319		76 ч ³	
320	газовой сварки	76 ч	
321	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	76 ч	
323	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	76 ч	
325	автоматической дуговой сварки под флюсом	76 ч	
327	электрошлаковой сварки	76 ч	

Повышение квалификации сварщиков:

330	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 недели (72 ч)	постоянно, по мере поступления заявок
331	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 недели (72 ч)	
332	газовой сварки	2 недели (72 ч)	
333	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	2 недели (72 ч)	
334	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	2 недели (72 ч)	
335	автоматической дуговой сварки под флюсом	2 недели (72 ч)	
336	электрошлаковой сварки	2 недели (72 ч)	
339	Повышение квалификации газосварщиков (газовая пайка цветных металлов)	2 недели (72 ч)	

Курсовая подготовка дефектоскопистов:

340	ультразвукового контроля	196 ч	постоянно, по мере поступления заявок
341	рентгеновского и гамма контроля	188 ч	
342	магнитного контроля	180 ч	

Целевая курсовая подготовка дефектоскопистов для железнодорожного транспорта:

352	магнитного контроля	120 ч	постоянно, по мере набора групп
-----	---------------------	-------	---------------------------------

355	ультразвукового контроля	160 ч	май, октябрь
358	Специальная подготовка и аттестация согласно РД 07-09-97	76 ч	1 раз в полугодие

Другие профессии

367	Подготовка газорезчиков	газовой резки	3 недели (112 ч)	постоянно, по мере набора групп
368		ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)	
369	Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы	электродуговым напылением	3 недели (112 ч)	
370		газопламенным напылением	3 недели (112 ч)	
371		детонационным напылением	3 недели (112 ч)	
372		плазменным напылением	3 недели (112 ч)	
373	Переподготовка по профессии «Плавильщик металлов»		2 недели (72 ч)	

4. Аттестация персонала сварочного производства

(в соответствии с национальными и международными нормами и стандартами)

401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, правилами Госнадзорохрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		152 ч ⁴	постоянно, по мере поступления заявок
402			72 ч ⁴	
403	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно ДНАОП 0.00-1.16-96		24 ч	
404	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госнадзорохрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч	
405	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287)		3 недели (112 ч)	
406			2 недели (72 ч)	
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными (или европейскими) стандартами ISO 9606 (или EN 287)		32 ч	
408	Специальная подготовка и аттестация операторов автоматических установок дуговой сварки плавлением / наладчиков контактной сварки в соответствии с международным стандартом ISO 14732		2 недели (72 ч)	
409	Специальная подготовка и аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		3 недели (112 ч)	
410	Периодическая аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч	
413	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		проводится по окончании курса 309	
414	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		32 ч	январь, март, май, июль, сентябрь, декабрь
415	Специальная подготовка дефектоскопистов к аттестации в соответствии с ДНАОП 0.00-1.27-97	ультразвуковой контроль	24 ч ⁵	ежемесячно
416			60 ч ⁵	
417			70 ч ⁵	
418			140 ч ⁵	
419		радиационный контроль	24 ч ⁵	ежемесячно
420			60 ч ⁵	
421			70 ч ⁵	
422			140 ч ⁵	
423		магнитный контроль	24 ч ⁵	ежеквартально
482			60 ч ⁵	
425			110 ч ⁵	
426		капиллярный контроль	24 ч ⁵	1 раз в полугодие
481			60 ч ⁵	
427			110 ч ⁵	
428		визуально-оптический контроль	24 ч ⁵	1 раз в 2 мес.
429			70 ч ⁵	
432				30 ч ⁵
430	Специальная подготовка и переаттестация дефектоскопистов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		36 ч	1 раз в полугодие
431	Специальная подготовка и переаттестация дефектоскопистов 2-го и 3-го разрядов по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов		160 ч	
	Профессиональное тестирование сварщиков дуговой сварки		4-8 ч	постоянно

¹ - Обучение по альтернативному (более короткому) пути для специалистов сварочного производства со стажем работы на соответствующей должности.

² - Продолжительность обучения зависит от специализации и требуемого уровня квалификации.

³ - Длительность программы определяется по результатам входного тестирования.

⁴ - Продолжительность подготовки устанавливается аттестационной комиссией.

⁵ - Продолжительность обучения указывается в направлении ОСП (орган по сертификации персонала).

По просьбе заказчиков возможно проведение обучения в другие сроки или по другим программам, не вошедшим в данный перечень, а также на территории заказчика. На период обучения слушателям оказывается содействие в предоставлении жилья с оплатой за наличный расчет. Стоимость обучения определяется при заключении договора. Для приема на обучение необходимо направить заявку в адрес: МУАЦ ИЭС им. Е.О. Патона с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовых реквизитов предприятия.

Украина, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. Тел. (+380 44) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09, Факс (+380 44) 456-48-94; E-mail: paton_muac@ukr.net, http: www.paton-tc.kiev.ua

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: gefests@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, ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ.

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



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

АББ - сердце робототехники

Робототехнические комплексы
для дуговой и контактной сварки



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

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

ABB

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 Ø 1,2 мм, Al Si 5 Ø 1,2 мм

ABICOR BINZEL
Franius
SEUMA



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

ОАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»

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

ОАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стекольных изделий» — 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-348АП ♦
♦ АН-47 ♦ АН-47Д ♦ АН-47АП ♦ ОСЦ-45 ♦
♦ АНЦ-1А ♦ АН-60 ♦

ООО «ЦЕНТР ПРОМЫШЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ»

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

- ➔ контроль качества сварных соединений РГК, УЗН, ВКН, ЦД, МПД, герметичность, стилокопирование, 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@spetssplov.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-НnХ25П4Н3Т, 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: → в диапазоне толщин 5 ... 600 мм → многорезаковая резка → со скосом кромок под сварку → резка слэбов и заготовок	Плазменная резка: → в диапазоне токов 15 ... 1000 А → в диапазоне толщин 0,5 ... 130 мм → двухгазовая → высокой плотности → водоинжекционная → надводная и подводная
---	---

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

НПП «ТЭХМАШ», 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@te.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 19.11.2008. Формат 60×84/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 24,1. Усл. кр.-отт. 17,27. Уч.-изд. л. 28,19 + 10 цв. вклеек.

© Автоматическая сварка, 2008

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