



Сварочное производство

4 (869)
Апрель
2007

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства промышленности и энергетики РФ,
Министерства образования и науки РФ,
Российской инженерной академии,
Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции

Редакционная коллегия:

Гл. редактор **В. А. Казаков**
Зам. гл. редактора **Н. В. Посметная**

В. К. Драгунов	О. Н. Севрюков
Е. А. Калашников	З. А. Сидлин
В. И. Лукин	Н. В. Смирнов
В. П. Лялякин	В. А. Судник
Г. А. Меньшиков	В. А. Фролов
О. Е. Островский	В. А. Хаванов
В. Н. Панин	Ф. А. Хромченко
В. В. Пешков	О. А. Цукуров
А. И. Рымкевич	И. Н. Шиганов

Редакция:

**С. В. Богус, Л. Т. Мартыненко,
Т. П. Маслик**

Электронная верстка: *И. С. Павлова*
Дизайн обложки: *Е. С. Благовидов*
Редактор-переводчик *Е. О. Егорова*
Редактор-обозреватель *Ан. А. Суслов*
Корректор *Е. В. Комиссарова*

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.
Для корреспонденции:
129626, Москва, а/я 78,
ОАО "Издательство "Машиностроение"
(для журнала "Сварочное производство").
Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;
редакция — (495) 682 3856.
Факс: (495) 687 6316.
E-mail: svarka@mashin.ru
Http://www.mashin.ru

Журнал "Сварочное производство" переводится
на английский язык издательством Woodhead
Publishing Ltd. (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное
производство" возможна при обязательном пись-
менном согласовании с редакцией журнала.
При перепечатке материалов ссылка на журнал
"Сварочное производство" обязательна.
В случае обнаружения полиграфического брака ре-
дакция журнала просит обращаться в типографию.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств массо-
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-7778.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ
изданий для публикации трудов соискателей ученых
степеней.
За содержание рекламных материалов ответствен-
ность несет рекламодатель.
Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Антонов А. А., Чернышев Г. Н., Овчинников В. В., Замалетдинов Э. Р. — Остаточные напряжения в сварных соединениях алюминиевого сплава 1460	3
Пешков А. В., Селиванов В. Ф., Петренко В. Р. — Азотирование и его влияние на свойства титанового сплава BT6	7
Панов В. И. — Универсальная методика ремонтной сварки крупногабаритных массивных конструкций тяжелого машиностроения	11
Старостин Н. П., Аммосова О. А. — Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Математическое моделирование теплового процесса	17
Курьянинова Е. И., Ерофеев В. А. Оптимизация технологических параметров лазерной газопорошковой наплавки на основе математического моделирования	21
Пещерова Т. Н., Козлов Г. В. — Зависимость прочности клеевых соединений от конструктивных особенностей и технологических параметров их формирования	25

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Лебедев В. А., Пичак В. Г., Романюк В. С., Кузьмин И. С., Букин И. С. — Полуавтомат блочно-модульной конструкции для сварки, наплавки и резки	28
Крошкин В. А., Курило В. И. — Новые нормативно-технические документы по сварке сплавов на железоникелевой и никелевой основе и ремонту отслоений двухслойных сталей	30
Завалинич Д. А., Стеклов О. И., Дзюба О. В., Лозовой В. Г., Щеголев В. А. — Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов	32
Фролов В. П., Пашков И. Н., Березников Ю. И., Ильина И. И., Плаунов В. П. — Пайка. Этапы и направления развития (к образованию некоммерческого партнерства "Союз профессиональных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова")	40
Говорин Е. В. — Установка для метано-кислородного напыления упрочняющих покрытий из порошковых материалов	44

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Фатеев А. Е. — Некоторые вопросы интенсификации процессов в отечественном производстве	47
---	----

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Беликов А. Б. — Неомедненная проволока OK AristoRod™ для МАГ-сварки	50
--	----

ИНФОРМАЦИЯ

Суслов Ан. А. — 3-я Специализированная выставка нанотехнологий и наноматериалов "NTMEX—2006"	52
Дубов А. А. — IV Международная научно-техническая конференция "Диагностика оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла"	57

И. Н. Шиганов — 60 лет	60
-------------------------------	----

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке	57
Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки	60
Рефераты опубликованных статей	62



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Energetics,
RF Ministry of Education and Science,
Russian Engineering Academy,
Russian union of developers and manufacturers of welding production

Editorial board:

V. A. Kazakov Editor-in-Chief
N. V. Posmetnaya Deputy Editor-in-Chief

V. K. Dragunov	O. N. Sevryukov
E. A. Kalashnikov	Z. A. Sidlin
V. I. Lukin	N. V. Smirnov
V. P. Lyalyakin	V. A. Sudnik
G. A. Menshikov	V. A. Frolov
O. E. Ostrovsky	V. A. Khavanov
V. N. Panin	F. A. Khromchenko
V. V. Peshkov	O. A. Tsukurov
A. I. Rymkevich	I. N. Shiganov

Editorial staff:

S. V. Bogus, L. T. Martynenko,
T. P. Maslik

Electron galley: I. S. Pavlova
Cover design: E. S. Blagovidov
Editor-translator E. O. Egorova
Editor-reviewer An. A. Suslov
Proof-reader E. V. Komissarova

Address of the editorial office:
Prospekt Mira, 106, Moscow.
For correspondence:
"Mashinostroenie" Publishers,
P.O.B. 78, Moscow, 129626, Russia
(for "Svarochnoe Proizvodstvo").
Phones: (495) 687 6316 — Editor-in-Chief;
682 3856 — Editorial office.

Fax: (495) 687 6316.
E-mail: svarka@mashin.ru
Http://www.mashin.ru

In case of printing waste you should appeal to the printing establishment.
Reprinting of materials from "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is possible with writing permission of editorial staff.
Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.
The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Woodhead Publishing Ltd." (Great Britain).
The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ N 77-7778.
Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation Committee for publication of competitors works for scientific degrees.

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

Antonov A. A., Chernyshev G. N., Ovchinnikov V. V., Zamaletdinov E. R. — Residual stress in 1460 aluminium alloy welded joint _____	3
Peshkov A. V., Selivanov V. F., Petrenko V. R. — Nitriding and its effect on the properties of BT6 titanium alloy _____	7
Panov V. I. — Heavy engineering constructions repair welding techniques _____	11
Starostin N. P., Ammosova O. A. — Polymeric tubes contact flash welding at low ambient temperatures. Part 1. Mathematical simulation of heat processes _____	17
Kuryaninova Ye. L., Yerofeev V. A. — Laser gas-and-powder weld deposition process variables optimization on the base of mathematical modeling _____	21
Pescherova T. N., Kozlov G. V. — Adhesive joints structural features and formation process variables influence on the joint efficiency _____	25

PRODUCTION SECTION

Lebedev V. A., Pichak V. G., Romanyuk V. S., Kuzmin I. S., Bukin I. S. — Semi-automatic device new model of modular configuration for welding, weld deposition and cutting _____	28
Kroshkin V. A., Kurilo V. I. — Resent normative process documents on ferronickel and nickel-based alloys welding, and on two-ply steel detachment repair _____	30
Zavalinich D. A., Steklov O. I., Dzyuba O. V., Lozovoy V. G., Schegolev V. A. — Study of modern domestic and foreign electrodes usage at main oil pipeline overhauling _____	32
Frolov V. P., Pashkov I. N., Bereznikov Yu. L., Ilina I. I., Plaunov V. P. — Soldering. Stages and lines of development (To the non-commercial partnership constituting "Lotsmanov professional solders' union") _____	40
Govorin Ye. V. — Methane-and-oxygen spraying machine for powder strengthening coating _____	44

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Fateyev A. Ye. — Some problems of domestic manufacture process intensification _____	47
--	----

FOREIGN EXPERIENCE

Belikov A. B. — The OK AristoRod™ non-coppered wire for MAG-welding _____	50
---	----

INFORMATION

Suslov An. A. — The 3 rd Specialized exhibition of nano-technologies and nano-materials "NTMEX'2006" _____	52
---	----

BIBLIOGRAPGY

Contents of the foreign journals in the field of welding _____	57
RF patents, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____	60
Abstracts of the published articles _____	62

А. А. АНТОНОВ, д-р техн. наук, **Г. Н. ЧЕРНЫШЕВ**, д-р техн. наук,
В. В. ОВЧИННИКОВ, д-р техн. наук, **Э. Р. ЗАМАЛЕТДИНОВ**, аспирант
Московский государственный индустриальный университет

Остаточные напряжения в сварных соединениях алюминиевого сплава 1460

Известно, что процесс сварки сопровождается неравномерным нагревом по сечению сварного соединения, а также структурными превращениями в металле шва и ЗТВ. Это обуславливает возникновение в сварном соединении значительных остаточных напряжений. Одновременно с этим в формировании напряженно-деформированного состояния (НДС) сварных соединений конструкций свой вклад вносят и реактивные напряжения, зависящие от конструктивных особенностей изделий и монтажных воздействий [1, 2].

Практика эксплуатации сварных конструкций из термически упрочняемых алюминиевых сплавов (1420, 1460) показывает, что наличие остаточных напряжений в сварных соединениях влияет на их работоспособность. Эти напряжения в сварных соединениях в сочетании с конструктивными концентраторами и дефектами структуры основного металла могут инициировать возникновение трещин в процессе эксплуатации сварного изделия, а также влияют на размерную стабильность и коррозионную стойкость.

Разработка и исследование методов снижения максимальных остаточных напряжений в сварных соединениях до безопасного уровня, не превышающего предела релаксационной стойкости материала [1, 3, 4], позволяет улучшить эксплуатационные характеристики изделий из термоупрочняемых алюминиевых сплавов.

В настоящее время для изготовления сварных герметичных баковых конструкций внедряется сплав 1460 системы Al—Cu—Li для замены им в ряде изделий сплава 1201 системы Al—Cu—Mn. Цель данной работы — изучение остаточных напряжений, характера их распределения в сварных соединениях, выполненных различными способами, а также разработка мер по их снижению.

При проведении исследований использовали плоские образцы размером $3,2 \times 100 \times 300$ мм, сваренные встык автоматической аргодуговой сваркой (ААрДС) вольфрамовым электродом с присадочной проволокой Sv-1217 диаметром 2 мм на режиме: скорость сварки 12—14 м/ч, ток дуги 120—130 А. Для оценки эффективности влияния режимов термической обработки на изменение остаточных напряжений в сварных соединениях, выполненных ААрДС, исследовали два режима: нагрев до 300 и 400 °С при выдержке в обоих случаях в течение 1 ч.

Для получения сравнительных данных о влиянии способа сварки на сварочные напряжения пластины из сплава 1460 сваривали электронным лучом без присадочной проволоки (скорость сварки 55 м/ч, ток луча 110—125 мА).

Известно, что при исследовании остаточных напряжений в сварных соединениях из титановых, алюминиевых и магниевых сплавов основными являются механические методы (разрушающие) [1, 5—7]. Применение же физических (неразрушающих) методов для этой группы материалов вызывает определенные трудности [6, 7].

В данной работе при исследованиях напряжений в сварных соединениях сплава 1460 применяли измерительный комплекс ДОН, предназначенный для оперативного измерения остаточных и истинных напряжений в конструкциях. В измерительном комплексе ДОН, как и в стандарте США ASTM E 837—95 (стандарт на метод измерения остаточных напряжений), проявление остаточных напряжений осуществляется высверливанием глухого отверстия, а регистрация изменений НДС выполняется не тензометрическим методом (специальными тензорозетками), а бесконтактными методами лазерной интерферометрии.

Комплекс ДОН (рис. 1) состоит из гибридного оптического блока, в который входят спекл-интерферометр (рис. 2), устройства, обеспечивающего его фиксацию

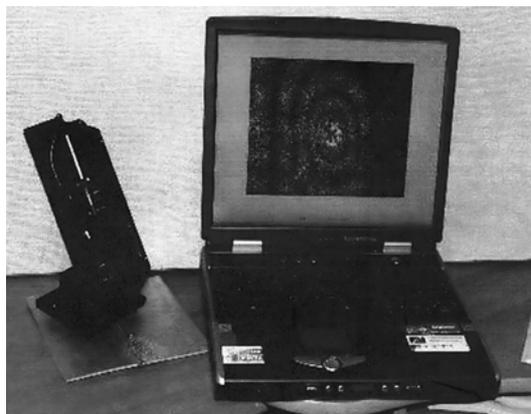


Рис. 1. Схема оптического блока комплекса ДОН

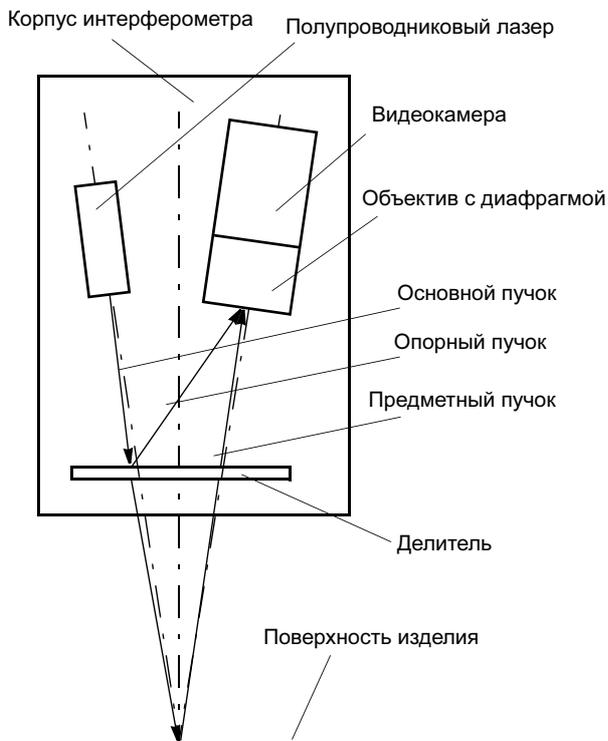


Рис. 2. Электронно-оптическая схема гибридного блока комплекса ДОН

на измеряемой поверхности, системы автономного питания лазера и видеокамеры, персонального компьютера и системы дозированного изъятия объема материала для проявления измеряемых напряжений.

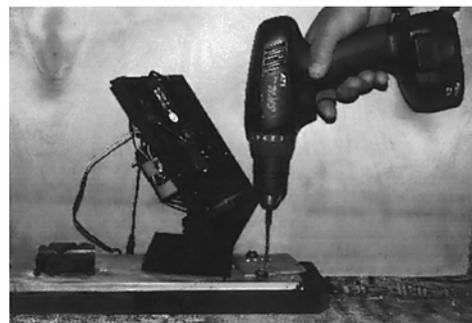
Оптическая плоскость интерферометра может быть установлена нормально к поверхности измерений либо под углом 45° . Подобное решение позволяет существенно расширить технологические возможности измерительного комплекса: варьировать точность измерений, проводить измерения в угловых сварных соединениях и на трубах малого диаметра, создавать благоприятные условия для выполнения зондирующего отверстия. Конструктивные трансформации оптического блока для измерения нормальной и наклонной составляющих вектора перемещения приведены на рис. 3.

Порядок получения информации, необходимой для определения остаточных напряжений, включает регистрацию исходных изображений поверхности (до и после возмущения), совмещение, вычитание изображений и обработку разностного изображения. После выполнения данных операций на мониторе компьютера появляется интерференционная картина поля перемещений, по которой определяют значения главных напряжений и ориентацию их осей на исследуемой поверхности [8—10].

Надежное крепление оптического блока на исследуемой поверхности обеспечивается за счет пластической деформации при внедрении трех инденторов в поверхность, на которой выполняют измерения. Продолжительность цикла измерений и обработки результатов не превышает 5 мин.



а)



б)

Рис. 3. Трансформация оптического блока для измерения нормальной (а) и наклонной (б) составляющих

Электронно-оптическая схема (см. рис. 2) измерительного комплекса включает полупроводниковый одномодовый лазер с длиной волны 640 нм и мощностью 15 мВт, техническую аналоговую видеокамеру, объектив с фокусным расстоянием 50 мм с диафрагмой, оптический делитель, формирующий опорный и предметный световые пучки. Оптические оси элементов, входящих в состав спекл-интерферометра, располагаются в одной оптической плоскости. Для обеспечения требуемого соотношения между интенсивностью предметного и опорного пучков предлагается несколько вариантов конструктивного оформления делителя. Он может быть выполнен в виде плоскопараллельной пластины или клина. Элементы интерферометра жестко закрепляют к корпусу блока. Корпус обеспечивает виброзащиту оптической системы и гарантированное внедрение в поверхность изделия опорных инденторов¹.

Методика определения по интерференционной картине поля нормальных перемещений в окрестности зондирующего отверстия, значений главных напряжений, знаков и ориентации их осей достаточно полно изложена в работах [8, 9].

При исследовании остаточных напряжений в стыковых соединениях пластин сплава 1460 толщиной 3,2 мм, выполненных электронно-лучевой сваркой (ЭЛС) и ААрДС, измерения выполняли как с лицевой стороны соединения, так и со стороны проплава (корня шва) в характерных точках, приведенных на рис. 4.

¹ Патент 49979 (РФ).

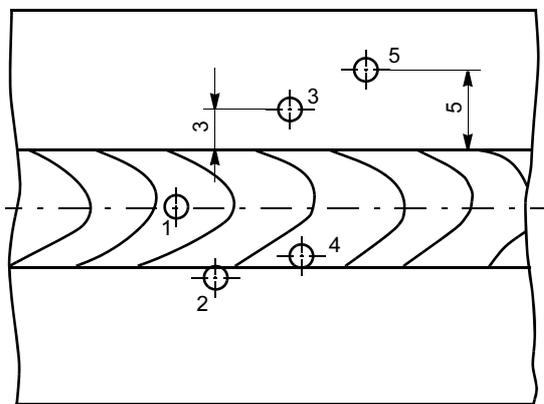


Рис. 4. Точки 1—5 замера напряжений в сварном соединении

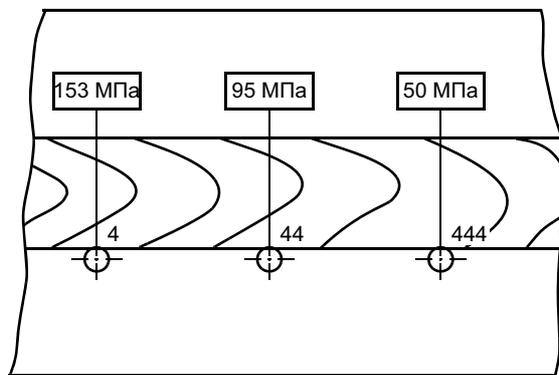


Рис. 6. Напряжения в точках 4, 44 и 444, расположенных на линии сплавления сварного соединения

Измерения напряжений в них выполняли при разных углах положения оптической плоскости интерферометра к плоскости образцов (90 и 45°).

Характерные интерферограммы полей перемещений в зоне зондирующих отверстий представлены на рис. 5. Интерференционная картина поля нормальных перемещений в окрестности зондирующего отверстия (см. рис. 5, а) позволяет получить следующую информацию: оси симметрии картины являются осями главных напряжений; главные напряжения имеют разные знаки, которые определяются по характеру примыкания интерференционной полосы к кромке зондирующего отверстия; количество интерференционных полос по осям симметрии свидетельствует о величине остаточных напряжений, которые рассчитывают по известной методике [8, 9]. На рис. 5, б приведены поля перемещений наклонной составляющей. Применение съемки при расположении оптической плоскости спекл-интерферометра под углом 45° к поверхности позволяет увеличить чувствительность метода в 1,5—2 раза по главной оси напряжения, яв-

ляющейся продолжением проекции биссектрисы интерферометра на поверхность изделия. Подобные измерения требуют предварительного знания направлений главных осей измеряемых напряжений.

Результаты измерений остаточных напряжений в стыковых соединениях сплава 1460, выполненных ААрДС и ЭЛС, приведены в таблице.

Анализ результатов показывает, что при аргодуговой сварке максимальные напряжения сосредоточены в центре шва со стороны проплава и составляют 214 МПа. По мере удаления от центра шва напряжения снижаются. При этом напряжения со стороны проплава выше, чем с лицевой стороны соединения, а протяженность зоны их распределения меньше.

При ЭЛС максимальные остаточные напряжения в сварном соединении выше, чем при аргодуговой сварке и составляют 255 МПа. Распределение остаточных напряжений с лицевой стороны соединения и со стороны проплава при ЭЛС более концентрировано в отличие от соединений, выполненных ААрДС, что объясняется различием форм сечений сварных соединений.

В процессе измерения напряжений в сварных соединениях пластин сплава 1460, полученных аргодуговой сваркой, выявлена аномалия после проведения термической обработки (300 °С, 1 ч), заключающаяся в существенном снижении напряжений в точках, расположенных на границе сплавления со стороны шва, и непостоянстве их значений по этой границе (рис. 6). Измерения проводили с лицевой стороны соединения. Выполненный до проведения замеров напряжений рентгеновский контроль соединения не выявил наличия в этой зоне по границе сплавления каких-либо дефектов. При визуальном осмотре

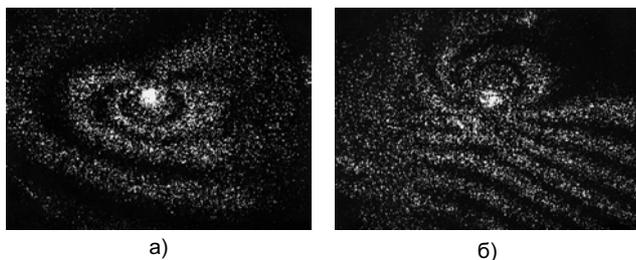
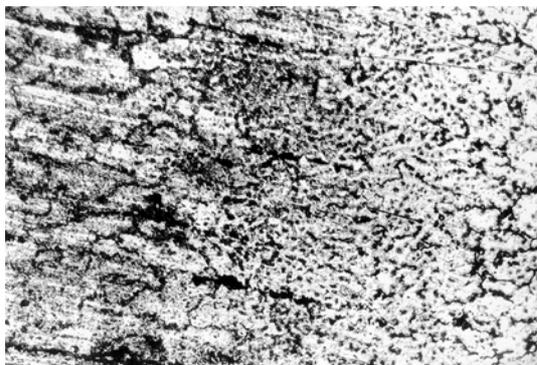


Рис. 5. Характерные интерферограммы поля перемещений нормальной (а) и наклонной (б) составляющих

Сторона соединения	Напряжение, МПа									
	ААрДС					ЭЛС				
	Точка замера									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Лицевая	90	135	153	153	35	—	255	120	115	102
Со стороны проплава	214	208	36	—	—	—	255	120	115	102



а)



б)

Рис. 7. Макро- и микроструктура сварного соединения в точке 4

также не были обнаружены дефекты в виде трещин на поверхности сварного соединения.

Металлографические исследования показали, что в точке 4 (см. рис. 6) отсутствуют какие-либо дефекты в структуре зоны сплавления соединения. Макро- (поз. а) и микроструктура (поз. б) зоны сплавления приведена на рис. 7. Видно, что в зоне сплавления присутствуют зерна с частично оплавленными границами в результате воздействия термического цикла сварки. Дефекты структуры в данной зоне не выявлены, напряжения составляли 135—150 МПа.

В точке 44 (см. рис. 6), расположенной на той же линии сплавления, уровень напряжений ниже (85—95 МПа). Металлографические исследования выявили в зоне зондирующего отверстия данной точки микрорыхлоту (рис. 8).

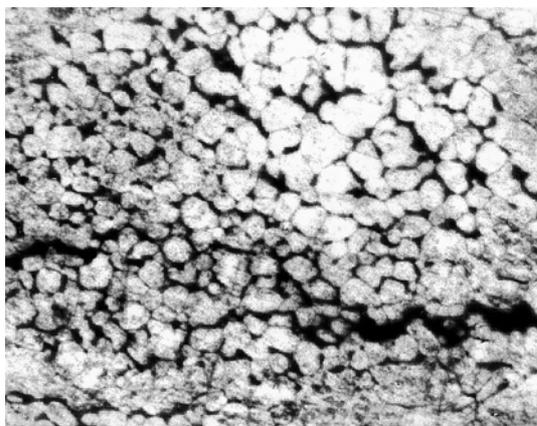


Рис. 8. Микрорыхлота в зоне точки 44. × 200

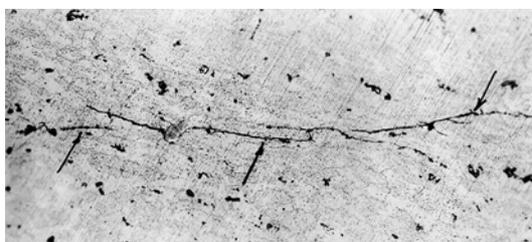


Рис. 9. Микротрещина в зоне точки 444. × 200

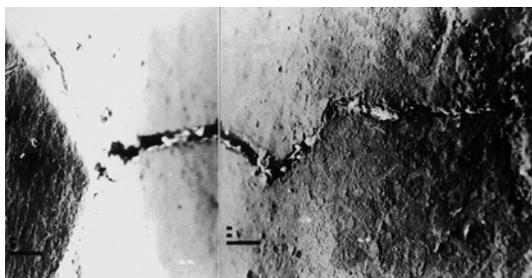


Рис. 10. Фрактограмма трещины в зоне точки 444. × 500

В точке 444 (см. рис. 6) напряжения составили 35—40 МПа. Металлографическими исследованиями установлено наличие межзеренной трещины, не выходящей на поверхность металла и не выявленной рентгеновским методом (рис. 9). Этот факт свидетельствует, что применение метода лазерной спекл-интерферометрии позволяет дополнительно судить о наличии дефекта в соединении по изменению величины остаточных напряжений и более объективно идентифицировать результаты рентгеновского контроля участков сварного соединения там, где плоскость расположения возможного дефекта (трещины) совпадает с плоскостью распространения рентгеновских лучей. В этом отношении наиболее опасной зоной является линия сплавления сварного соединения. На рис. 10 приведена фрактограмма трещины в зоне сплавления, выявленная с помощью метода лазерной спекл-интерферометрии. Причины и механизм образования подобных дефектов при сварке алюминий-литиевых сплавов заслуживают особого внимания и будут обсуждены отдельно.

После проведения термической обработки при 400 °С в течение 1 ч остаточные напряжения в сварном соединении полностью отсутствовали (рис. 11, а). Применение температур нагрева, близких к температуре искусственного старения сплава 1460 (190—210 °С), при выдержке около 1—2 ч позволяет заметно снизить величину остаточных напряжений (рис. 11, б).

Таким образом, оперативная диагностика остаточных напряжений в сварных соединениях при обработке режимов сварки и оценка эффективности послесварочных технологических воздействий по снижению уровня остаточных напряжений позволяют обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики соединения.

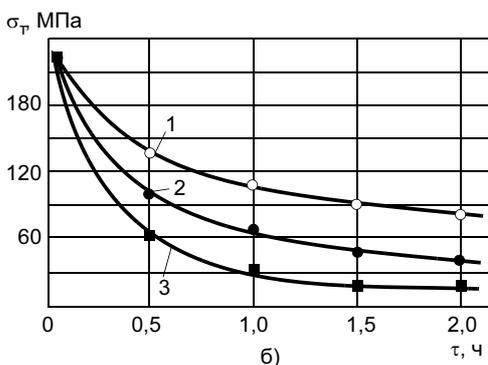
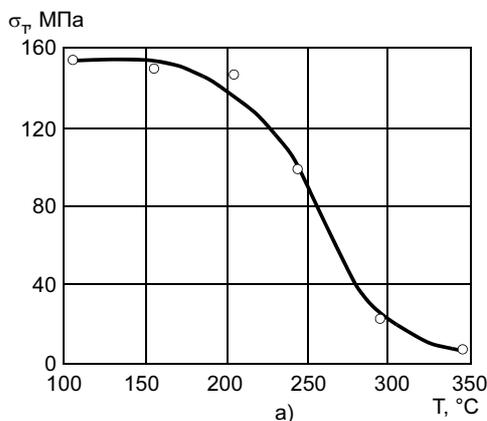


Рис. 11. Зависимость остаточных напряжений от температуры нагрева (а) и времени выдержки (б) сварного соединения сплава 1460: 1—3 — T равна 200, 210 и 220 °С соответственно

ВЫВОДЫ

1. Для оперативной диагностики остаточных напряжений при отработке технологических процессов

изготовления сварных конструкций из термоупрочняемых алюминиевых сплавов целесообразно применение комплекса ДОН.

2. Поле остаточных напряжений сварного соединения весьма чувствительно к наличию скрытых дефектов, трудно выявляемых стандартными методами.

3. Разработанный гибридный оптический блок позволяет выполнять измерения остаточных напряжений в угловых сварных соединениях и труднодоступных местах, а также увеличить чувствительность при измерении напряжений в 1,5—2,0 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров В. А., Григорьянц А. Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. Ожерблом Н. О. Сварочные деформации и напряжения. М.-Л.: Машгиз, 1950. 144 с.
3. Сагалевич В. М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1974. 248 с.
4. Брондз Л. Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. М.: Машиностроение, 1986. 181 с.
5. Биргер И. А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.
6. Вишняков Я. Д., Пискарев В. Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1989. 254 с.
7. Киселев С. Н. Газоэлектрическая сварка алюминиевых сплавов. М.: Машиностроение, 1972. 208 с.
9. Определение остаточных напряжений при помощи создания отверстий и их голографической интерферометрии / А. А. Антонов, А. И. Бобрик, В. К. Морозов, Г. Н. Чернышев // Известия АН СССР. Механика твердого тела. 1980. № 2. С. 182.
10. Антонов А. А. Определение уровня остаточных напряжений в сварных соединениях лазерной интерферометрией // Сварочное производство. 1983. № 9. С. 29—31.
11. Методика исследований остаточных сварочных напряжений с использованием голографической интерферометрии / Л. М. Лобанов, Б. С. Касаткин, В. А. Пивторак, С. Г. Андрущенко // Автоматическая сварка. 1983. № 3. С. 1—6.

УДК 621.791:621.785.532

А. В. ПЕШКОВ, инж., В. Ф. СЕЛИВАНОВ, д-р техн. наук, В. Р. ПЕТРЕНКО, канд. техн. наук
Воронежский государственный технический университет

Азотирование и его влияние на свойства титанового сплава ВТ6

При изготовлении диффузионно-сварных титановых теплообменников применяют технологическую схему [1], согласно которой сжимающее давление создается за счет разности давлений газа в межоболочковой полости теплообменника и полости термокомпрессионной печи. Межоболочковая полость теплообменника вакуумируется до раз-

режения не ниже 1,3 Па, а давление газовой среды — аргона в полости печи, составляющее не менее 10^5 Па, воспринимается непосредственно внешними поверхностями соединяемых оболочек. В процессе диффузионной сварки оболочки теплообменника на неподкрепленных участках под давлением газа деформируются —

прогибаются. Это, с одной стороны, ухудшает условия для формирования диффузионного соединения, а с другой — уменьшает сечение трактов охлаждения [2].

Деформации оболочек на неподкрепленных участках можно уменьшить путем применения двухслойных структурных композитов [2]. Однако процесс получения таких ком-

позитов вызывает большие затруднения.

Повышение сопротивления высокотемпературной деформации оболочек может быть достигнуто использованием для создания давления не аргона, а активной газовой среды, взаимодействующей с наружной поверхностью оболочек и упрочняющей ее. В качестве такой среды можно использовать азот.

Цель данной работы — установление закономерностей взаимодействия титана с азотом, а также исследование влияния азотирования на сопротивление высокотемпературной деформации титана и его служебные свойства.

Процесс взаимодействия титана с газообразным азотом при температуре выше 750 °С сопровождается формированием нитрида титана и газонасыщенных слоев [3]. В качестве интегральной характеристики физико-химического состояния поверхностных слоев титана после его взаимодействия с газами (в том числе и азотом) можно использовать понятие "охрупченный слой" [3, 4]. Последний представляет собой ту часть азотированного слоя, в котором концентрация азота $C > C_{кр}$ ($C_{кр}$ — критическая концентрация, при которой металл становится хрупким).

Исследование влияния длительности отжига в азоте особой чистоты на формирование охрупченного слоя проводили на образцах размером $2 \times 5 \times 10$ мм, изготовленных из листового сплава ВТ6. Образцы отжигали в термокомпрессионной печи при температуре 1000 °С и давлении азота $5 \cdot 10^4$, 10^5 и $3 \cdot 10^5$ Па. Перед заполнением азотом печь вакуумировали до разрежения 1,3 Па.

Глубину охрупченного слоя определяли по методике работы [5]. Образцы после азотирования разрушали изгибающим усилием, при этом на исследуемой поверхности происходило зарождение трещины и ее распространение вглубь. В строении образующегося излома выявили зону хрупкого разрушения, соответствующую распространению трещины в нитриде и охрупченной части газонасыщенного слоя металла.

В зоне максимальной деформации поверхности образца (перпендикулярно излому) наблюдали пе-

риодически распространяющиеся трещины, расположенные друг от друга на некотором расстоянии. Это расстояние зависит от глубины охрупченного слоя $\delta_{охр}$ и описывается выражением [5]

$$l_{ср} = 4,2\delta_{охр}. \quad (1)$$

Выражение (1) использовали для определения глубины охрупченных слоев на азотированных образцах. Величину $l_{ср}$ получали как усредненное значение 9—12 измерений расстояния между трещинами, образовавшимися на поверхности не менее трех испытуемых образцов.

Кинетика роста охрупченных слоев приведена на рис. 1. Видно, что в течение 60 мин на поверхности сплава ВТ6 образуется охрупченный слой толщиной $\delta_{охр} < 16$ мкм, при этом $\delta_{охр}$ практически не зависит от давления газообразного азота в исследованном диапазоне $5 \cdot 10^4$ — $3 \cdot 10^5$ Па. Кинетика роста охрупченных слоев при 950 °С может быть описана параболическим законом

$$\delta_{охр}^2 = k_p \tau, \quad (2)$$

где k_p — константа роста охрупченного слоя, равная $7,2 \cdot 10^{-2}$ мкм²/с.

В качестве характеристики сопротивления высокотемпературной деформации сплава ВТ6 использовали его коэффициент вязкости η [2].

При непороговом механизме высокотемпературной деформации, характерном для титановых сплавов с исходной глобулярной (или

равноосной мелкозернистой) структурой, при температурах до конца полиморфного превращения скорость ползучести $\dot{\epsilon}$ и напряжение P , вызывающее ее, связаны линейной (или близкой к ней) зависимостью [6, 7]:

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{\eta} P. \quad (3)$$

Значения скорости ползучести, входящей в выражение (3), получали экспериментально при испытании образцов сечением 2×5 мм и длиной 10 мм. Образцы предварительно азотировали при 950 °С и давлении 10^5 Па в течение 5, 10, 30, 45 мин, что обеспечивало образование на их поверхностях охрупченных слоев толщиной соответственно 4, 8, 11 и 13,5 мкм. Испытания на ползучесть проводили в условиях сжатия по методике работы [7] при разрежении 10^{-2} Па и температуре 950 °С в течение 15 мин. Сжимающее давление, равное 1,2 МПа, прикладывали после достижения образцом заданной температуры. По результатам замера длины образцов до и после испытаний определяли деформацию Δl , а затем вычисляли скорость ползучести $\dot{\epsilon} = \Delta l / \tau$ и коэффициент вязкости η .

Результаты исследования влияния толщины предварительно нанесенного азотированием охрупченного слоя на коэффициент вязкости сплава ВТ6 приведены на рис. 2. Эти данные, безусловно, являются относительными, так как при изменении сечения образца влияние охрупченных слоев на коэффициент вязкости сплава может быть иным. Но применительно к анализу деформации тонкостенных слоистых конструкций при их диффузионной сварке они вполне приемлемы, так как для изготовления конструкций используют листовую материал толщиной 0,8—1,0 мм.

Из приведенных результатов видно, что при увеличении толщины охрупченного слоя до 13,5 мкм коэффициент вязкости сплава ВТ6 увеличивается более чем в 10 раз по сравнению с исходным металлом, а это позволяет во столько же раз увеличить сжимающее давление при диффузионной сварке или время сварки (без увеличения накопленной деформации свариваемых

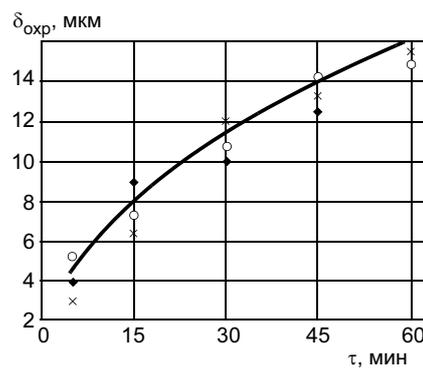


Рис. 1. Кинетика роста охрупченных слоев на поверхности сплава ВТ6 при температуре 950 °С (х, о, ◆ — давление азота соответственно $5 \cdot 10^4$, 10^5 и $3 \cdot 10^5$ Па)

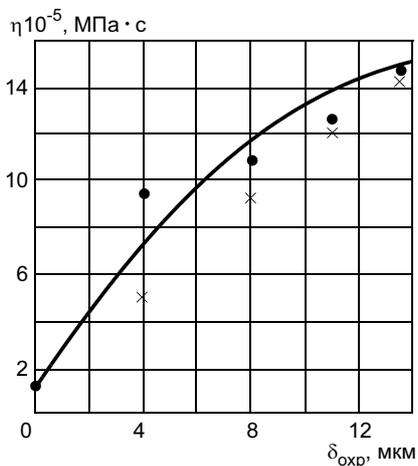


Рис. 2. Зависимость коэффициента вязкости сплава ВТ6 при температуре 950 °С от глубины азотированного слоя (● — экспериментальные значения, x — расчетные)

заготовок), что в конечном итоге приведет к повышению надежности качества соединения [2].

Увеличение коэффициента вязкости образцов после их азотирования можно объяснить, если рассматривать полученный в результате азотирования материал как слоистый композит, матрицей у которого является сплав ВТ6, а упрочнителем — поверхностный азотированный слой.

Для оценки эффективной вязкости слоистого материала можно использовать известное аддитивное уравнение, обычно применяемое для композиционных материалов

$$\eta_{сл} = a_m \eta_m + k a_y \eta_y \quad (4)$$

где $\eta_{сл}$ — эффективный коэффициент вязкости слоистого материала; η_m , η_y — коэффициенты вязкости матрицы (сплава ВТ6) и упрочнителя (азотированного слоя); a_m , a_y — относительные объемы (толщины) матрицы и упрочнителя; k — коэффициент, учитывающий взаимное расположение слоев матрицы и упрочнителя и при беспорядочном расположении упрочнителя равный 0,4—0,5.

В данном случае $\eta_m = 10^5$ МПа · с; коэффициент вязкости керамики на четыре-пять порядков выше, чем металлов [8], но при азотировании титана толщина образующегося нитрида титана TiN не превышает 1 мкм, нижележащие слои представляют ε-фазы: Ti₄N—Ti₃N и твердый

раствор азота в титане, поэтому интегральный коэффициент вязкости охрупченного слоя будет меньше, чем керамики, и его можно принять равным $\eta_y = 10^8$ МПа · с.

Относительные объемы (толщины) матрицы a_m (сплава ВТ6) и упрочнителя a_y (охрупченного азотированного слоя) будут соответственно изменяться от 0,996 до 0,987 и от 0,004 до 0,013. При расчете по выражению (4) $\eta_{сл}$ изменяется от 10^5 (отсутствии упрочняющего слоя) до $1,4 \cdot 10^6$ МПа · с (толщина упрочняющего слоя 13 мкм), что хорошо совпадает с экспериментальными полученными данными (см. рис. 2). Отличие экспериментальных результатов от расчетных значений при $\delta_{oxp} = 4$ мкм можно объяснить тем, что в этом случае доля нитридной пленки (обладающей наибольшим сопротивлением высокотемпературной деформации) в толщине азотированного охрупченного слоя составляет примерно 25 %, в то время как при $\delta_{oxp} = 13,5$ мкм — около 7 %.

Исследование влияния азотирования на механические свойства сплава ВТ6 проводили на плоских (листовых) стандартных образцах для испытаний на статический разрыв и образцах с концентратором (рис. 3) для испытаний на циклическую усталость изгибом. Образцы перед испытанием отжигали в азоте особой чистоты по вышеуказанным режимам.

При испытании образцов на одноосное растяжение влияние присутствующих на поверхности сплава охрупченных слоев на его служебные характеристики проявлялось незначительно. Во всех случаях уровень их свойств оставался не ниже допустимых для сплава ВТ6.

Сравнительные испытания на циклическую усталость проводили согласно методике работы [9] по схеме изгиба плоского образца с

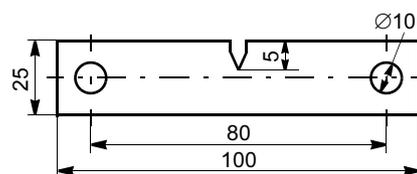


Рис. 3. Образец для сравнительных испытаний на циклическую усталость

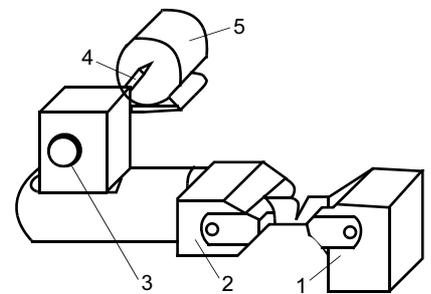


Рис. 4. Схема установки для испытания образцов на циклическую усталость

консольным креплением. При испытаниях измеряли время работы образцов до образования трещины длиной до 3 мм. Испытания листовых образцов проводили на установке, оборудованной вибратором и специальным зажимом (рис. 4). Исследуемый образец закрепляли одним концом в неподвижном 1, а другим — в подвижном 2 зажиме, внутри которого находился эксцентрик 3 (диск с грузиками), который приводили во вращение через гибкий вал 4 от электродвигателя 5. Расстояние от точки надреза образца до оси вращения эксцентрика во всех опытах оставалось неизменным.

Зарождение трещины произошло в результате постоянной вибрации подвижного зажима, свободно висящего на образце, с частотой 47 цикл/с. Момент возникновения трещины фиксировали по скачкообразному возрастанию амплитуды колебаний подвижного зажима. Автоматическое выключение установки происходило с помощью концевых выключателей, расположенных на заданном расстоянии от вибратора. Зная время работы образца до зарождения трещины и частоту вибрации, можно определить число циклов нагружения N_T образца до возникновения трещины.

Результаты сравнительных испытаний на циклический изгиб показали, что при увеличении толщины охрупченного слоя происходит уменьшение числа циклов нагружения до образования трещины. При этом значения показателей долговечности образцов находились в малоцикловой области ($N_T < 50\,000$) и убывали с увеличением толщины охрупченного слоя (рис. 5).

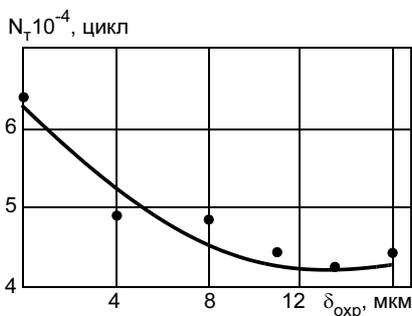


Рис. 5. Зависимость числа циклов нагружения до появления трещины от толщины охрупченного слоя при испытаниях на циклический изгиб образцов из сплава ВТ6

Поскольку усталостные трещины зарождаются в поверхностных слоях образцов, то, очевидно, наличие охрупченных слоев значительно облегчает этот процесс.

Фрактографические исследования поверхностей разрушения образцов после их испытаний на циклическую усталость выявляют в строении излома три типичные зоны. Первая, соответствующая зарождению и распространению трещины в азотированном поверхностном слое, характеризуется наличием участков со слаборазвитыми следами пластической деформации (рис. 6, а). В этой зоне микро-трещины при своем развитии сливаются в магистральную трещину, образуя на поверхности излома ступенчатый рельеф с мелкими усталостными бороздками, расположенными друг от друга на расстоянии порядка 0,1 мкм, что свидетельствует о низком запасе пластичности металла и его большей дефектности в этом месте.

Вторая зона — зона ускоренного развития трещины — имеет значительно более рельефную поверхность по сравнению с предыдущей (рис. 6, б, в), что связано с ветвлением трещины при ее распространении и наличием запаса пластичности металла. Усталостные бороздки в этой зоне отчетливо выражены и шаг между ними заметно растет по длине трещины от 0,3 мкм в начале зоны до 2 мкм в участках, прилегающих к зоне долома (см. рис. 6, в).

Третья зона — зона долома — обладает признаками статического разрушения по механизму зарождения и слияния микронесплошностей (рис. 6, г, д). По мере удаления от границы со второй зоной эти признаки становятся все более ярко выраженными и поверхность разрушения приобретает типичное чашечное строение (см. рис. 6, д), хотя размеры чашек заметно меньше тех, которые образуются на этом же сплаве, но при испытаниях на статический разрыв.

ВЫВОДЫ

1. Изменение давления газообразного азота в интервале от $5 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^5$ Па не влияет на кинетику азотирования сплава ВТ6 при температуре 950 °С.

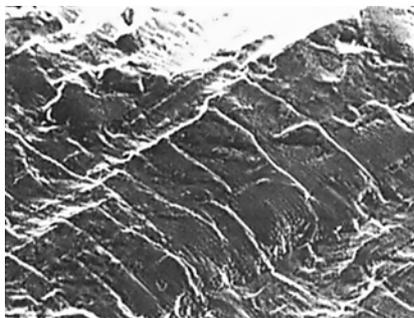
2. Предварительное азотирование листового титанового сплава толщиной 2 мм в течение 45 мин при 950 °С повышает его коэффициент вязкости при высокотемпературной деформации более чем в 10 раз, при этом циклическая усталость при 18—20 °С снижается в 0,4 раза.

3. Наблюдаемый эффект повышения сопротивления высокотемпературной деформации обусловлен рассмотрением азотированного сплава как слоистого композита.

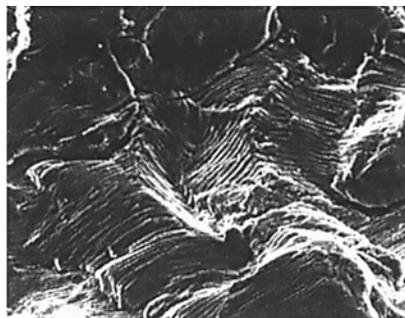
4. На основании фрактографического анализа выявлены типичные зоны распространения трещины при испытании на циклическую усталость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

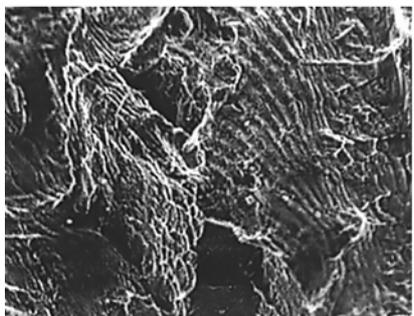
1. Анализ процесса изменения давления газа в трактах охлаждения теплообменников при диффузионной сварке в вакууме / В. Р. Петренко, Г. П. Бесплохот-



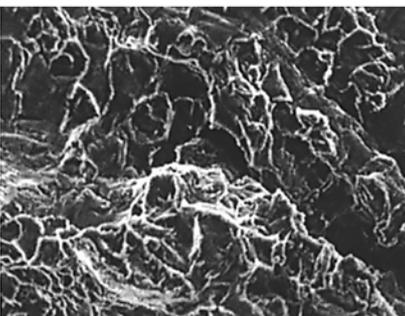
а)



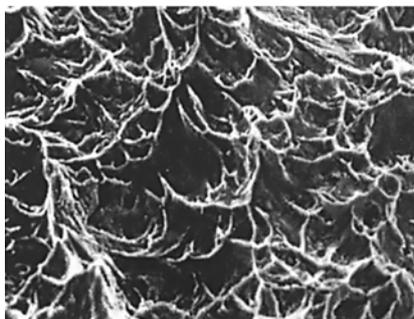
б)



в)



г)



д)

Рис. 6. Топография поверхности разрушения образцов из сплава ВТ6 после испытаний на циклическую усталость. $\times 3000$

ный, С. С. Доронкин и др. // Технология машиностроения. 2005. № 1. С. 38—41.

2. Петренко В. Р., Пешков В. В., Полевин В. Ю. Повышение прочности диффузионного соединения титановых оболочек теплообменника // Технология машиностроения. 2005. № 3. С. 56—61.

3. Киреев Л. С., Селиванов В. Ф., Пешков В. В. Взаимодействие титана с газами при нагреве в среде азота // Металловедение и термическая обработка металлов. 1994. № 4. С. 12—17.

4. Пешков В. В., Милютин В. Н. Исследование окисленного поверхностного слоя на титане после отжига // Металловедение и термическая обработка металлов. 1984. № 12. С. 43—45.

5. Определение глубины охрупченной части окисленного слоя на поверхности титана / В. В. Пешков, Г. Д. Дель, Л. М. Орлова, В. Н. Милютин // Заводская лаборатория. 1986. № 9. С. 75—77.

6. Гегузин Я. Е. Физика спекания. М.: Наука, 1967. 360 с.

7. Диффузионная сварка титана и его сплавов / А. В. Бондарь, В. В. Пешков, Л. С. Киреев, В. В. Шурупов. Воронеж: ВГУ, 1998. 256 с.

8. Соломин Н. В. Жаростойкость материалов и деталей под нагрузкой. М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. 326 с.

9. Дроздовский Б. А., Проходцева Л. В., Новосильцева Н. И. Трещиностойкость титановых сплавов. М.: Металлургия, 1983. 192 с.

УДК 621.791:004.67

**В. И. ПАНОВ, канд. техн. наук
ОАО "Уралмашзавод" (Екатеринбург)**

Универсальная методика ремонтной сварки крупногабаритных массивных конструкций тяжелого машиностроения

Ручная дуговая сварка, основоположником которой является Н. Г. Славянов [1], применяется для восстановления работоспособности массивных конструкций более 100 лет. В современное развитие ремонтной сварки значительный вклад внесли уралмашевцы В. Е. Волюшко [2], В. А. Батманов [3], К. П. Вощанов [4]. Именно они сформулировали основные требования к технологии ремонтной сварки — полное удаление дефектов, выполнение предварительного подогрева, непрерывная многопроходная сварка, проведение предварительной, промежуточной и заключительной термической обработки.

Развитие отечественного тяжелого машиностроения в 60—80-е годы прошлого столетия, возросшая потребность в проведении восстановительных работ на базовых деталях мощного оборудования потребовали новых подходов к выполнению ремонтной сварки. Годами выверенные рекомендации оказались не в полной мере приемлемыми для сварки крупногабаритных массивных конструкций тяжелого машиностроения.

Доводка такой конструкции до совершенства может производиться в течение всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ) (проектирование,

производство, монтаж, эксплуатация). При разработке нового оборудования, как правило, известны лишь общие нагрузки, а допускаемые напряжения в массивных базовых конструкциях сложной формы определяются вероятностным образом. Ошибочные решения конструктора или технолога, а также скрытый брак могут проявляться в течение длительного времени после начала работы оборудования. К этому времени структура металла и его напряженно-деформированное состояние (НДС) могут значительно отличаться от исходных. В местах появления трещин расчетные данные могут не совпадать с фактическим НДС металла. Статистика отказов набирается годами.

Прочностные расчеты выполняются исходя из условия однородности металла. Для массивных конструкций сложной формы практически неизбежно проявление масштабного фактора и, соответственно, образование "слабых" звеньев, которые могут провоцировать разрушение при нагрузках, значительно ниже расчетных. Подвергать же 100 %-ному контролю конструкции рассматриваемого класса либо технически невозможно, либо экономически нецелесообразно.

Одной из причин преждевременного выхода конструкции из

строения являются скрытые дефекты, визуальное обнаружение которых невозможно. Ультразвуковой (УЗК) и радиографический контроль в некоторых случаях дают противоречивые результаты. При монтаже опорной рамы крупнейшего шагающего экскаватора ЭШ-100.100 швы верхнего настила подвергали двойному контролю этими методами. Совпадение результатов составило 90 %. УЗК швов, выполненных электрошлаковой сваркой, колонн пресса усилием 300 МН показал результаты, не подтверждаемые анализом образцов, вырезанных из этих мест. За трещины была принята крупнозернистая структура металла ОШЗ, характерная для данного способа сварки.

И тот, и другой способы имеют ограничения. В практике Уралмашзавода были случаи проведения ремонтных работ на сварно-литых конструкциях толщиной 4000 мм, и определить фактическое расположение трещины средствами неразрушающего контроля не представлялось возможным. Сигнал затухал в толщине металла.

Нарушение процесса плавления металла приводит к порокам макроструктуры металла. Они не всегда обнаруживаются средствами неразрушающего контроля и инициируют образование усталост-

ных трещин, которые по мере своего развития переходят в хрупкие.

Известные рекомендации [2—4] относятся к ремонту оборудования, вышедшего из строя в процессе эксплуатации. Однако большой объем ремонтных работ приходится и на период изготовления конструкций. В этом случае приходится сталкиваться с ситуациями, недостаточно освещенными в научно-технической литературе, в частности:

— в сварно-литых и сварно-кованных конструкциях содержание углерода в основном металле ограничено и не должно превышать 0,34 %. Ремонтные сварочные работы приходится выполнять в местах расположения прибылей, где содержание углерода может превышать его марочное содержание в 2—3 раза;

— возможны значительные отклонения по содержанию углерода, марганца, бора, меди и других элементов в сторону увеличения. Образующиеся при сварке карбиды, подсолидусные трещины и другие неблагоприятные явления в значительной степени ослабляют границы зерен и инициируют образование холодных трещин;

— превышение содержания углерода $C_{э\text{кв}}$ более 0,6 % резко осложняет технологию изготовления

конструкций за счет обязательного подогрева и термической обработки. Ремонтной же сварке подвергаются и окончательно обработанные детали, у которых $C_{э\text{кв}} > 1,0$ % (например в стали 9Х2МФ этот показатель близок к 1,6 %).

Применение расчетно-статистических методов оценки стойкости против образования горячих и холодных трещин не оправдано [5 и др.]. Известные параметрические уравнения определения HCS, UCS, $C_{э\text{кв}}$ и др. применимы только для сталей тех марок, в химический состав которых входят концентрационные пределы изученных композиций. Они не учитывают ликвацию элементов в металле фасонных отливок. Так, при содержании серы в заданных пределах ее распределение носит крайне неоднородный характер и может достигать 4-го балла по классификации Баумана, что практически приводит к образованию горячих трещин разных видов (подкорковых и др.).

В ряде случаев невозможно выполнить требование полного удаления дефектов, например, осевая пористость практически присутствует в центральной части каждой массивной фасонной отливки. В процессе заливки металла в форму возможно осыпание стерж-

ней, и формовочная смесь в виде мелких включений может присутствовать в металле отливки. Удалять и то, и другое не имеет смысла.

Длительный производственный цикл изготовления уникальных конструкций, включающий большое число технологических операций, связан с так называемой технологической наследственностью металла. Она выражается либо в охрупчивании металла конструкции, либо в формировании неблагоприятного НДС. В процессе изготовления конструкции в каждом технологическом переделе возможно образование трещин по разным механизмам (см. таблицу).

Горячие технологические трещины могут иметь несколько направлений (русел), холодные — ответвления от основной трещины. При хрупком разрушении холодная трещина, как правило, "вязнет" в теле конструкции. При квазихрупком разрушении, наиболее часто встречающемся в процессе эксплуатации, магистральная трещина ветвится с образованием мелких трещин. Перед ее острием имеется так называемый участок рыхления, состоящий из отдельных разрывов сплошности металла, разделенных перемычками.

Стадия ЖЦИ	Тип трещин	Период развития трещин
Технологические операции: металлургического передела	Горячие: кристаллизационные, водородная коррозия, подсолидусные, подкорковые, разрывные ликвации Хрупкие разрушения Холодные трещины	В процессе технологической операции либо после ее завершения
механо-сборочного передела	Переход горячих трещин в холодные Хрупкие разрушения	В процессе выполнения операции или после ее завершения
сборочно-сварочного передела	Переход горячих трещин в холодные Холодные трещины Горячие трещины: подсолидусные, деформационные (концевые) Холодные трещины: деформационного типа, "реактивные", трещины, образование которых носит "замедленный" характер трещины синеломкости	Непосредственно в процессе операции Через 48—72 ч после завершения операции В процессе выполнения операции
Монтаж	Слоистые трещины Трещины повторного нагрева Холодные трещины Хрупкие разрушения	Инкубационный период от 2—3 сут. до 2—3 мес. В корне многопроходного шва с односторонними разделками — непосредственно в процессе сварки, в ЗТВ — инкубационный период до 12—13 мес. После завершения сварки После завершения операции В ходе выполнения операции
Первое рабочее нагружение	Холодные трещины Хрупкие разрушения	Сразу же после приложения нагрузки
Эксплуатация	Холодные трещины Хрупкие, квазихрупкие, усталостные разрушения	Инкубационный период от 3 до 50 лет

По этим и другим причинам приходится выполнять ремонтную сварку конструкции, в металле которой имеются трещины. В этом случае классическое понятие "технологическая прочность" [5], предусматривающее отсутствие трещин в металле сварного соединения, теряет смысл.

Критерии целесообразности применения подогрева и термической обработки при ремонтной сварке носят противоречивый характер (РТМ 24.941.01.74). Основным параметром считается масса наплавленного металла. В некоторых случаях выполнять эти операции рекомендуется уже при наплавке 5 кг и более. Естественно, при сварке в разделку нестандартной формы большой толщины и значительной протяженности, когда расход электродов составляет десятки, а в некоторых случаях и сотни, килограммов, воспользоваться такими данными не представляется возможным, так же, как и провести предварительный подогрев и термическую обработку.

Накоплено достаточно экспериментальных и научных данных о том, что при определенных условиях эти операции могут вызвать образование трещин или развитие существующих трещин. При локальном предварительном подогреве и местной термической обработке массивных конструкций сложной формы вероятность образования трещин исключительно велика [10—12].

В атомной энергетике и других отраслях разработаны обоснованные требования к качеству металла многопроходных швов, в том числе и после ремонтной сварки. Для тяжелой промышленности эта проблема далека от своего решения. В руководящих документах Уралмашзавода и других предприятий в основу допустимого количества пор и их размеров, шлаковых включений и т. п. положены требования Госгортехнадзора РФ, что для ведомственных конструкций является неоправданно жестким, а порой и невыполнимым условием, особенно если ремонтную сварку выполняют в полевых условиях, когда прокатка покрытия электродов или их просушка невыполнимы.

Таким образом, ремонтная сварка уникальных конструкций является слабоструктурированной проблемой, а ее выполнение в подавляющем большинстве случаев является риском.

Цель данной работы — разработка уникальной методики выполнения ремонтных работ с минимальным риском на массивных конструкциях индивидуального тяжелого машиностроения. Ее концепция заключается в следующем. Технологию ремонтной сварки необходимо разрабатывать с учетом реального состояния металла конструкции. Процесс восстановления ее работоспособности должен свести к минимуму дальнейшее охрупчивание металла.

Структура методики, ее логическая организация, методы и средства достижения поставленной цели представлены ниже.

Разработка феноменологических, физических, статистических и других моделей развития повреждаемости металла, подвергаемого сварке, ее перехода в трещины, развития трещины и ее останковки

Феноменологическая модель отказа (разрушения) массивной конструкции сложной формы в процессе ее жизненного цикла представлена в виде

$$O = (K, M, T_n, T_{pc}, П, P_1, Mo, P_2, П_n, P_3, Э, P_4), \quad (1)$$

где K — конструктивный фактор; M — металл конструкции; T_n — технологическая наследственность металла; T_{pc} — технология ремонтной сварки; $П$ — производственный фактор; P_1 — ремонтные работы по устранению технологических дефектов; Mo — монтаж; P_2 — ремонтные работы на монтажной площадке; $П_n$ — первое рабочее нагружение машины (оборудования); P_3 — устранение образовавшихся при этом трещин; $Э$ — накопление повреждаемости в процессе эксплуатации; P_4 — восстановительные работы на вышедшей из строя конструкции.

Конструктивный фактор, особенно если деталь представляет фасонную отливку, значительно влияет на движение жидкого металла при разливке, процессы кристаллизации, образование дефектов металлургического характера (спаев, осевой пористости и др.), неравномерное распределение серы и водорода и т. д.

Диагностика основного металла массивных конструкций

Феноменологическая модель оценки состояния металла, подвергаемого ремонтной сварке, имеет вид

$$M = (M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6), \quad (2)$$

где M_1 — условия распространения теплоты в конструкции сложной формы; M_2 — НДС; M_3 — структурно-фазовое состояние; M_4 — механические свойства; M_5 — распределение водорода; M_6 — вид дефекта, природа его образования; M_7 — характеристика актов акустической эмиссии в процессе выполнения технологической операции или эксплуатации.

Наличие элементов разной толщины создает градиент температур при технологических операциях, связанных с теплотой, что решающим образом влияет на формирование НДС и поведение водорода.

Из-за разности в скоростях охлаждения в конструкциях сложной формы в тонких элементах остаточные напряжения на 15—17 % выше, чем в толстых сечениях. В "тепловых" узлах, охлаждаемых в последнюю очередь, наиболее вероятно образование горячих трещин.

В металле базовых конструкций, эксплуатируемых в течение долгого времени, происходит необратимое деформационное старение, резко снижающее ударную вязкость. Это явление наиболее характерно для базовых деталей прессового оборудования.

Установлено, что при ударной вязкости основного металла $KCU = 35 \text{ Дж/см}^2$ и ниже вероятность хрупких разрушений при сварке велика. С другой стороны, остаточные сварочные напряжения могут настолько повысить первую критическую температуру хрупкости и

вызвать хрупкие разрушения сварных соединений, выполненных из сталей, относящихся к классу хорошо свариваемых и не склонных к синеломкости. В этих случаях технология ремонтной сварки должна гибко регулировать НДС:

$$P = [A_n, \sigma_{\text{осн}}], \quad (3)$$

где A_n — ударная вязкость; $\sigma_{\text{осн}}$ — остаточные технологические напряжения.

Базовые детали прокатного, прессового, дробильного и другого оборудования изготавливают из среднеуглеродистых сталей 25Л, 30Л и 35Л. Анализ химического состава и механических свойств 628 плавок показал, что исходное значение ударной вязкости в зависимости от химического состава можно определить как

$$KCU_{20}^{\circ\text{C}} = 89,3 - 78,4C - 200,9S. \quad (4)$$

Остаточные напряжения можно определить из работы [13].

Систематизация дефектов основного металла и их вероятного расположения и распределения в массивных фасонных отливках — станинах прокатных станов, корпусах дробилок, козырьках шагающих экскаваторов и т. п., крупнотоннажных поковках (валках для горячей и холодной прокатки и др.) — позволяет прогнозировать вероятность развития существующих трещин или образования новых под влиянием термомодеформационных циклов сварки или эксплуатационных нагрузок. Создан банк данных по особенностям амплитуды сигналов акустической эмиссии — их интенсивности — при всех технологических операциях производственного цикла изготовления конструкций [15].

Наличие трещины в основном металле не всегда характеризует его предельное состояние. Живучесть конструкции определяется временем слияния отдельных расположенных трещин в общую трещину. На основе изучения поведения трещин под влиянием технологических операций или рабочих нагрузок трещины в основном металле разделены на "малые" и магистральные. Первые названы по аналогии с короткими (малыми) трещинами [16]. К ним отнесены поверхностные трещины глубиной до 2—3 мм,

трещины, расположенные в местах ветвления квазихрупких магистральных трещин или на участке рыхления, и др. В этом случае режимы сварки должны быть такими, чтобы обеспечить их полный провар.

В отличие от малых трещин наличие перед сваркой не удаленных магистральных трещин требует конструкторско-технологических решений, предупреждающих их дальнейший рост.

Диагностика металла сварного соединения

Одним из проявлений технологической наследственности является поведение трещин в процессе их удаления механическим путем. Съем металла представляет сложный термомодеформационный процесс, в результате которого в обрабатываемом слое детали создаются напряжения на уровне предела прочности, что может вызвать даже хрупкие разрушения. При удалении горячих трещин происходит их переход в холодные с последующим их развитием в процессе удаления металла. Возможно образование и холодных трещин. В обоих случаях холодные трещины также отнесены к малым трещинам, их глубина не превышает 1,5 мм. К этому разряду трещин отнесены и трещины, образующиеся на поверхности кромок разделок, выполненных газокислородной резкой или воздушно-дуговой строжкой.

Разработка методик и образцов для изучения трещиностойкости металла швов большой толщины, выполненных различными способами сварки

Многопроходный шов является наиболее вероятным местом образования трещин. Сварка "жестких" проб типа ЦНИИТСа, различных проб типа "круглой заплаты" и др. позволяет лишь фиксировать факт образования трещины или ее отсутствия. Для изучения наступления предельного состояния металла многопроходного шва, определения момента образования трещины, ее движения и остановки разработана серия легко деформируемых образцов¹.

С этой же целью модернизирована проба ЦНИИТМАШа, в частности за счет увеличения толщины деформирующего шва от 24 до 80 мм. Это позволило изучить кинетику образования, развития и торможения не только поперечных, но и продольных трещин в процессе сварки металла большой толщины [17].

Образование трещин и их развитие фиксировали аппаратурой, работающей на принципе акустической эмиссии (АЭ), вихревых токов, измерением деформаций и напряжений.

В отличие от известных технологических проб выполненные разработки позволили оценивать технологическую прочность металла сварных соединений большой толщины, выполненных различными способами ручной многопроходной сварки (горкой, каскадом, поперечной горкой и др.) [17], разработать новые приемы [17], рассчитать предельные значения пластических деформаций в окрестности трещиноподобных несплошностей и др.

Влияние деформаций и напряжений рассмотрено отдельно.

При многопроходной сварке V-разделок массивных конструкций при наличии угловых деформаций наиболее слабым местом с точки зрения вероятности образования трещин является корень шва. В этом случае их появление вызвано термомодеформационным старением металла корня, концентрацией остаточных напряжений и водорода.

Образование так называемых "усов" в корне шва разделок типа "в замок" вызвано увеличением зазора между стыкуемыми заготовками по мере выполнения сварки по высоте.

Деформационные трещины образуются непосредственно в процессе сварки. Возникновение трещин под влиянием напряжений носит замедленный характер (см. таблицу).

Многопроходные швы большой протяженности выполняют блоками. Многократные циклы нагрев — охлаждение позволяют рассматривать процессы накопления повреждаемости в наплавленном металле

¹ А. с. 587961 (СССР).

как малоцикловую усталость. В качестве гипотезы накопления повреждения принят линейный закон Паллмгрена—Майнера [18].

В процессе сварки исчерпание пластичности металла корня шва путем знакопеременного нагружения за N проходов пропорционально отношению N_i/N (N_i — число проходов, после выполнения которых возможно образование трещины):

$$\begin{aligned} \Pi_{н.м} &= \frac{N_{t1}}{N} + \frac{N_{t2}}{N} + \dots + \frac{N_{tq}}{N} = \\ &= \sum_{i=1}^q \frac{N_i}{N} = 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Предельное состояние металла корня шва оценивается по величине относительной деформации

$$\varepsilon_{отн} = (l_q - l_1)/l_1, \quad (6)$$

где l_q , l_1 — деформации металла корня шва первого блока после сварки q -го блока и растяжения металла корня шва первого блока соответственно.

Исходя из предположения, что полная энергия накопления повреждения равна работе при статическом растяжении, т. е. $\varepsilon_{отн} = E_p$, ее определили, используя типовую идеализированную диаграмму пластичности [19] с учетом механических свойств металла корня шва.

Воздействие термических циклов сварки на ЗТВ определили путем моделирования на установке ИМЕТ-1 и быстродействующем dilatометре системы Малевского—Васильева. Это позволило все марки сталей ферритно-перлитного класса, применяемые в деталях, узлах и конструкциях Уралмашзавода (около 120 марок), разбить на шесть групп и построить характерные диаграммы анизотермического распада аустенита, структурные диаграммы, показывающие содержание феррита, мартенсита и бейнита, и диаграммы конечных механических свойств металла участка перегрева [20] при различных скоростях охлаждения. В качестве типовых примеров взяты стали 35Л, 09Г2С, 20Х2М, 38Х2Н3М, 9Х2МФ и 14Х2ГМР.

Сварку конструкций из низкоуглеродистых низколегированных термически упрочненных сталей 14Х2ГМР, 12ГН2МФАЮ и др.

выполняли на режимах, не превышающих величину погонной энергии свыше 3000 Дж/см, иначе возможно снижение ударной вязкости на участке высокого отпуска. Комплексное влияние толщины свариваемого изделия, погонной энергии, температур предварительного подогрева и отпуска на этот показатель определяли согласно работе [21].

При сварке без термической обработки

$$\begin{aligned} Y &= 54,46 + 0,864X_1 - 6,81X_2 - \\ &- 13,45X_3 + 2,60X_1X_2 - \\ &- 4,65X_2X_3 + 0,236X_1X_2X_3, \end{aligned} \quad (7)$$

где Y — ударная вязкость, Дж/см²; X_1 — толщина металла, мм; X_2 — погонная энергия, Дж/см; X_3 — температура предварительного подогрева, °С.

При сварке с последующей термической обработкой

$$\begin{aligned} Y &= 35,2 - 7,575X_1 - 7,962X_2 - \\ &- 3,575X_3 - 1,537X_1X_2 + \\ &+ 4,0X_1X_3 - 0,826X_2X_3 - \\ &- 1,36X_1X_2X_3, \end{aligned} \quad (8)$$

где Y — ударная вязкость, Дж/см²; X_1 — толщина металла, мм; X_2 — температура предварительного подогрева, °С; X_3 — температура отпуска, °С.

Дефекты металла сварных соединений массивных конструкций, подвергнутых ремонтной сварке

Спаи, ужимины, заковы и другие поверхностные дефекты отливок и поковок, подрезы по линии сплавления являются трещиноподобными дефектами. Их влияние на вероятность образования трещин зависит от относительной деформации металла в процессе сварки в окрестности трещиноподобного дефекта $\varepsilon_{отн}$, радиуса острия дефекта r и остаточных сварочных напряжений $\sigma_{осч}$:

$$P = (\varepsilon_{отн}, r, \sigma_{осч}). \quad (9)$$

На основе многолетнего анализа образцов квалификационных испытаний построены статистические модели многопроходных швов пор, шлаковых включений, несплавлений и подрезов в металле. Произведено их ранжирование по размерам, распределение которых соответствует закону Вейбулла.

При несквозных разделках в наплавленном металле содержание пор до 30 % и шлаковых включений до 10 % не оказывает влияния на прочность конструкции.

Наиболее опасным дефектом в металле многопроходного шва с точки зрения образования трещин в процессе сварки и их последующего роста в процессе других технологических операций следует признать шлаковые включения остроугольной формы.

Обильная пористость, характерная для сварки электродами с влажным покрытием, может играть роль стопперов, тормозящих развитие трещин.

При подрезах по линии сплавления с радиусом острия более 0,5 мм образование трещин маловероятно.

Несплавления между валиками и по кромкам не влияют на образование трещин. Они представляют собой разрывы сплошности и могут тормозить развитие трещин.

Трещины прижога, образовавшиеся на поверхности многопроходного шва в процессе снятия усиления слесарным путем, также отнесены к малым трещинам и удалению не подлежат.

Техническая система "Восстановление работоспособности конструкции с поврежденным металлом"

Схема технической системы приведена на рис. 1.

Модель принятия решения выполнения ремонтной сварки [22] имеет вид

$$\langle t, s, x, k, p, r \rangle,$$

где t — постановка задачи; s — множество решений; k — множество критериев; x — оценка критериев; p — система предпочтений лица, принимающего решение; r — решающее правило.

Под постановкой задачи понимается нахождение предпочтительного решения в конкретных условиях выполнения ремонтных работ, обеспечивающего длительную работоспособность восстановленной конструкции.

Множество s представляет альтернативные варианты решений (порядок выполнения швов, ре-



Рис. 1. Техническая система "Восстановление работоспособности конструкции с поврежденным металлом"

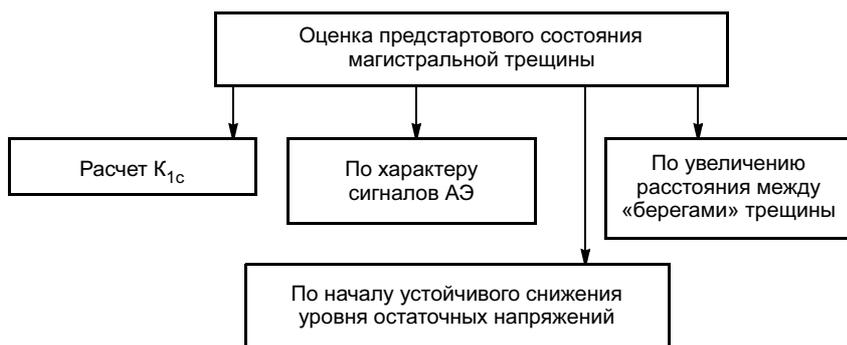


Рис. 2. Мониторинг поведения трещины в металле массивной конструкции

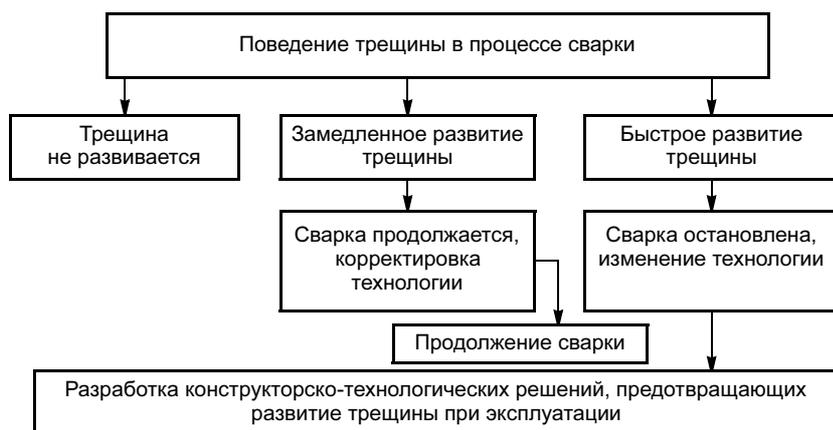


Рис. 3. Мониторинг поведения трещины в основном металле в процессе восстановительных работ

гулирование НДС и др.), с помощью которых можно выбрать оптимальный вариант.

Каждое решение оценивается по критериям $k_1, k_2, k_3, k_4, \dots, k_n$, под которыми понимаются механические свойства, структурно-фазовый состав и др.

В теории принятия решений при наличии многих факторов [23] считается, что каждое лицо, принимающее решение, имеет некоторую систему предпочтений p . Под ней понимают совокупность представлений, основанных на выполнении аналогичных задач. Сложность заключается в том, что применительно к конструкциям рассматриваемого класса подобные случаи либо отсутствуют, либо имеют свои специфические особенности, требующие нетривиального подхода [24].

Решающее правило r представлено в виде конструкторской документации и разработанной в соответствии с ней технологии ремонтной сварки.

Мониторинг металла восстанавливаемой и восстановленной конструкции

Как отмечено выше, для прямого наблюдения за поведением металла в процессе ремонтной сварки и последующей эксплуатации совместно с ЦНИИМ (Екатеринбург) создана специальная аппаратура, работающая на использовании эффекта акустической эмиссии (АЭ), вихревых токов и других эффектов.

Мониторинг включает два аспекта. Первый из них предусматривает фиксацию образования отдельных разрозненных трещин как в процессе выполнения технологической операции, так и при работе оборудования, их слияние в магистральную трещину и начало движения последней (рис. 2) и поведение удаленных трещин в основном металле в процессе сварки (рис. 3).

Разработаны универсальные конструкторско-технологические решения восстановления работоспособности массивных конструкций с поврежденным металлом на основе ремонтной сварки и оценки исходной прочности металла сварных соединений уникальных конструкций.

Работы, выполненные на Уралмашзаводе, крупнейших отечественных и зарубежных металлургических комбинатах, горнодобывающих и других предприятиях с использованием универсальной методики, показали, что срок службы восстановленных конструкций не меньше, чем вновь изготовленных.

ВЫВОДЫ

1. Разработана универсальная методика восстановления работоспособности массивных конструкций при любой поврежденности металла и значительных отклонениях от заданного химического состава.

2. Для уменьшения градиента температуры в массивной конструкции сложной формы предпочтительно выполнять ремонтную сварку без предварительного подогрева и последующей термической обработки.

3. Удаление трещин в металле массивных конструкций не является обязательным условием во всех случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Славянов Н. Г.* Труды и изобретения. Пермь, 1988. 299 с.
2. *Волынько В.* Сварка в ремонтном деле. Свердловск — М.: ОГИЗ, 1933. 112 с.

3. *Батманов В. А.* Сварка в ремонтном деле. Вып. 2. Сварка стали. Свердловск: Машгиз, 1951. 107 с.

4. *Вошанов К. П.* Ремонт оборудования сваркой. М.: Машгиз, 1969. 216 с.

5. *Макаров Э. Л., Якушин Б. Ф.* Свариваемость и ее показатели // Сварка и свариваемые материалы. Свариваемость материалов. М.: Металлургия, 1991. Т. 1. С. 120—150.

6. *Панов В. И.* Водород в металле толстостенных сварных конструкций. Ч. 1. Водород в металле толстостенных заготовок сварных соединений // Сварочное производство. 1991. № 7. С. 10—12.

7. *Панов В. И.* Водород в металле толстостенных сварных конструкций. Ч. 2. Поведение водорода при многопроходной дуговой сварке // Сварочное производство. 1992. № 3. С. 13—15.

8. *Нельсон Г. Г.* Водородное охрупчивание // Охрупчивание конструкционных сталей и сплавов. М.: Металлургия, 1988. С. 256—333.

9. *Гельд П. В., Рябов Р. А.* Водород в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1975. 272 с.

10. *Панов В. И.* Предварительный подогрев сварных конструкций тяжелого машиностроения // Тяжелая промышленность. 1993. № 4. С. 14—17.

11. *Панов В. И.* Проблемные вопросы термической обработки сварных конструкций тяжелого машиностроения // Тяжелая промышленность. 1993. № 7. С. 11—18.

12. *Панов В. И.* Влияние температур подогрева и термообработки на остаточные напряжения // Сварочное производство. 1992. № 10. С. 13—15.

13. *Панов В. И., Сулейманов М. А., Писаренко С. М.* Технологические напряжения в толстостенных изделиях // Надежность крупных машин. Свердловск: НИИТЯЖМАШ, 1990. С. 84—94.

14. *Оптнер С.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 269 с.

15. *Панов В. И., Иевлев И. Ю.* Области применения эффекта акустической эмиссии при изготовлении сварных конструкций // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1992. № 1. С. 77—80.

16. *Анохин А. А., Козлов В. И.* Экспериментальные методы оценки трещиностойкости в области малых трещин // Заводская лаборатория. 1990. № 3. С. 57—61.

17. *Панов В. И.* Оценка технологической прочности способов многопроходной сварки металла большой толщины // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1991. № 3. С. 48—53.

18. *Коллинз Дж.* Повреждение металла в конструкциях. Анализ, предположение, предотвращение. М.: Мир, 1984. 624 с.

19. *Кириллов Е. А., Панов В. И., Сумрин С. Г.* Свариваемость сталей, применяемых в тяжелом машиностроении // Сварочное производство. 1990. № 3. С. 16—18.

20. *Винокуров В. А.* Сварочные деформации и напряжения. М.: Машиностроение, 1965. 236 с.

21. *Панов В. И.* Влияние технологических факторов на технологическую прочность участка разупрочнения ЗТВ сварных соединений // Сварочное производство. 1988. № 3. С. 14—15.

22. *Панов В. И.* Основные положения диагностики разрушения крупных конструкций тяжелого машиностроения ПО "Уралмаш" // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1993. № 3. С. 87—96.

23. *Гафт М. Г.* Принятие решений при многих критериях. М.: Знание, 1979. 64 с.

24. *Ерыпалов Е. С., Панов В. И.* Технология сварки крупногабаритных конструкций из термоупрочненных сталей в зимних полевых условиях // Сварочное производство. 1980. № 12. С. 17—19.

УДК 621.791.76.039:678.029.43

**Н. П. СТАРОСТИН, д-р техн. наук, О. А. АММОСОВА, аспирант
Институт проблем нефти и газа СО РАН (Якутск)**

Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды.

Математическое моделирование теплового процесса¹

Одной из основных причин, сдерживающих широкое применение полиэтиленовых (ПЭ) труб в регионах с холодным климатом, является отсутствие надежной технологии их сварки при низких температу-

рах окружающей среды (ОС). Согласно нормативным документам, существующая технология контактной сварки ПЭ труб оплавлением позволяет проводить сварочные работы при температуре окружающей среды от -15 до 30 °С. Для определенности сварку при 20 °С назовем сваркой при нормальных условиях.

Прочность сварного соединения во многом определяется тепловым режимом процесса. Температур-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-08-96000-р.

ное поле на этапе оплавления и скорость охлаждения в ЗТВ на этапе осадки существенно влияют на формирование надмолекулярной структуры материала сварного шва. При сварке ПЭ трубы в условиях низких температур величина первичного и вторичного грата, давление, скорость и величина осадки, продолжительность выдержки под давлением в основном зависят от теплового состояния, при котором проводятся технологические операции сварки. Таким образом, сварку ПЭ труб при низких температурах ОС можно осуществить, обеспечив такое же температурное поле на этапе оплавления и такой же темп остывания на этапе осадки, как и при допустимых температурах ОС.

Наиболее полное исследование теплового процесса можно провести путем математического моделирования, используя одномерное уравнение теплопроводности [1]. В работе [2] исследовано нестационарное температурное поле при сварке полимерных труб с использованием двумерного уравнения теплопроводности без учета теплоты фазового перехода. Расчеты по одномерной модели с применением аналитического решения [3] показывают, что учет поглощенной (выделившейся) теплоты при оплавлении (отвердевании) обеспечивает более точное определение температурного поля. Кроме того, на этапе осадки часть расплавленного материала выдавливается наружу, образуя грат, и свариваемые трубы укорачиваются. При расчете скорости охлаждения обычно влияние образовавшегося грата на температурное поле не учитывают, как и уменьшение длины трубы на величину осадки.

В данной работе приведены методика выбора режимов оплавления ПЭ труб при температурах ОС ниже нормативных на основе математического моделирования тепловых процессов с учетом теплоты фазового перехода, а также методика расчета скорости остывания с учетом влияния грата и величины осадки на динамику температурного поля в трубе.

Задача определения нестационарного температурного поля в стенке трубы на этапе оплавления сводится к решению следующей системы уравнений:

$$c_1(T)\rho_1(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_1(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_1(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right),$$

$$T < T_{\phi};$$

$$c_2(T)\rho_2(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_2(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_2(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right),$$

$$T > T_{\phi};$$

$$0 < t \leq t_m; r_1 < r < r_2; 0 < z < l, \quad (1)$$

где $c(T)$ — коэффициент теплоемкости материала трубы; $\rho(T)$ — удельная плотность; $\lambda(T)$ — коэффициент теплопроводности; t — время; t_m — время расчета; r, z — цилиндрические координаты; T_{ϕ} — температура фазового перехода; индексы "1", "2" — обозначение твердой и жидкой фаз материала трубы соответственно.

Распределение температуры в трубе в начальный момент времени однородно и равнозначно температуре окружающей среды T_0 (начальное условие):

$$T(r, z, 0) = T_0. \quad (2)$$

На одном торце трубы задается температура нагревательного элемента T_H в режиме нагрева:

$$T(r, 0, t) = T_H \quad (3)$$

или условие отсутствия теплового потока (условие симметрии температурного поля) в режиме остывания

$$\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0} = 0. \quad (4)$$

Учитывая низкую теплопроводность полиэтилена, примем, что на некотором удалении от зоны сварки температура трубы не изменится на протяжении всего времени протекания процесса. Таким образом, на другом торце трубы задается условие

$$T(r, l, t) = T_0. \quad (5)$$

На внутренней и внешней поверхностях трубы происходит конвективный теплообмен с ОС

$$\lambda_1 \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=r_1} = \alpha(T(r_1, z, t) - T_0); \quad (6)$$

$$\lambda_2 \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=r_2} = -\alpha(T(r_2, z, t) - T_0). \quad (7)$$

На границе оплавления выполняется условие Стефана

$$(\lambda_1 \text{grad } T - \lambda_2 \text{grad } T, \text{grad } \Phi) - L\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0, \quad (8)$$

где $\Phi(r, z, t)$ — уравнение положения границы раздела фаз в момент времени t ; L — удельная теплота фазового перехода.

Задача (1)–(8) решается численно методом спланирования коэффициентов [4], т. е. сводится к решению следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\tilde{\lambda}(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\tilde{\lambda}\frac{\partial T}{\partial z}\right);$$

$$0 < t \leq t_m; r_1 < r < r_2; 0 < z < l, \quad (9)$$

$$T(r, z, 0) = T_0; \quad (10)$$

$$T(r, 0, t) = T \text{ или } \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0} = 0; \quad (11)$$

$$T(r, l, t) = T_0; \quad (12)$$

$$\tilde{\lambda} \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=r_1} = \alpha(T(r_1, z, t) - T_0); \quad (13)$$

$$\tilde{\lambda} \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=r_2} = -\alpha(T(r_2, z, t) - T_0), \quad (14)$$

где коэффициенты теплоемкости и теплопроводности записывают следующим образом:

$$= \begin{cases} c_1\rho_1, & T \leq T_{\phi} - \Delta; \\ 0,5(c_1\rho_1 + c_2\rho_2) + \frac{L\rho}{2\Delta}, & T_{\phi} - \Delta \leq T \leq T_{\phi} + \Delta; \\ c_2\rho_2, & T \geq T_{\phi} + \Delta; \end{cases}$$

$$\tilde{\lambda} = \begin{cases} \lambda_1, & T \leq T_{\phi} - \Delta; \\ 0,5(\lambda_1 + \lambda_2), & T_{\phi} - \Delta \leq T \leq T_{\phi} + \Delta; \\ \lambda_2, & T \geq T_{\phi} + \Delta. \end{cases}$$

Расчеты проводили при следующих данных: наружный диаметр трубы $d_1 = 63,0$ мм; внутренний — $d_2 = 57,2$ мм; длина трубы $l = 0,1$ м; $\lambda_1 = 0,46$ Вт/(м·К); $\lambda_2 = 0,24$ Вт/(м·К); $\rho_1 = 950$ кг/м³; $\rho_2 = 800$ кг/м³; $c_1 = 2000$ Дж/(кг·К); $c_2 = 2400$ Дж/(кг·К); $T_{\phi} = 128$ °С; $L = 157$ кДж/кг; $\Delta = 10$ °С [5].

Температурные поля и скорости остывания для различных условий ОС сравнивали для части трубы в окрестности свариваемой кромки, ограниченной изотермой с температурой, близкой температуре размягчения материала трубы. Такую область, полученную для исследуемых труб при нормальных условиях, назовем областью сравнения температурных полей. Выбор границы данной области обусловлен тем, что при температурах выше температуры размягчения происходят структурные изменения в материале. Предполагается, что при температурах ниже температуры размягчения структура полимерного материала не изменяется и, соответственно, при остывании его прочностные свойства остаются неизменными [6].

На рис. 1 приведено распределение температуры по толщине стенки трубы в момент времени $t = 110$ с при $T_0 = -40$ °С. Температурное поле достаточно однородно по толщине, следовательно, управляя продолжительностью оплавления, можно добиться близости температурных полей на этапе оплавления при 20 и -40 °С.

Анализ изменения во времени распределений температуры по длине трубы (рис. 2) также показывает, что на этапе оплавления температурные поля в рассматриваемой зоне трубы при -40 и 20 °С могут быть сближены увеличением продолжительности нагрева. Продолжительность контакта нагревательного инструмента и кромки трубы выбирают из условия достижения определенной глубины проплавления. Рекомендуемые продолжительности оплавления торцов для ПЭ труб низкого давления с различными толщинами приведены в работе [1]. Например, для сварки труб из полиэтилена ПЭ 80 ГАЗ SDR11 63 × 5,8 (ГОСТ Р 50838—95) рекомендуемая в нормальных

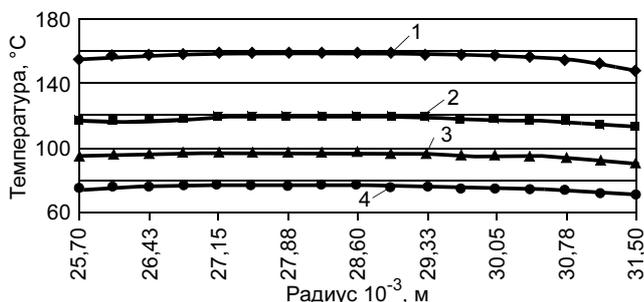


Рис. 1. Распределение температуры по толщине стенки трубы на расстоянии z от нагревательного элемента в момент времени $t = 110$ с при температуре ОС -40 °С: 1—4 — z равно 1, 2, 3 и 4 мм соответственно

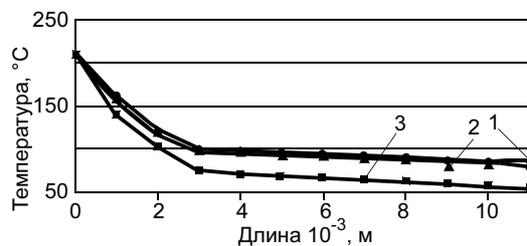


Рис. 2. Распределение температуры по длине трубы в различные моменты времени: 1 — $t = 55$ с, $T_0 = 20$ °С; 2 — 110 с, -40 °С; 3 — 55 с, -40 °С

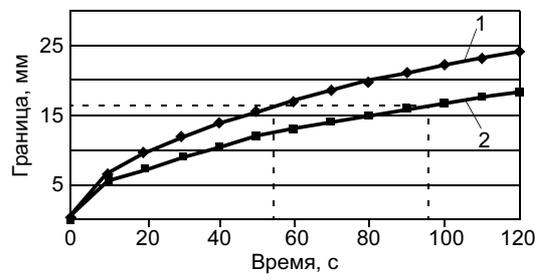


Рис. 3. Изменение границы проплавления при различной температуре ОС: 1, 2 — T_0 равна 20 и -40 °С соответственно

условиях продолжительность оплавления составляет 55 с. При этом расчетная глубина проплавления составит 1,63 мм. Согласно расчетам, такая же глубина проплавления достигается при продолжительности оплавления 96 с при -40 °С (рис. 3). При этом температурные поля в области сравнения температурных полей практически совпадают.

Таким образом, методика выбора режимов оплавления ПЭ труб при температуре ОС ниже нормативных сводится к определению продолжительности процесса оплавления, обеспечивающего глубину проплавления, соответствующую рекомендуемой продолжительности при нормальных условиях.

Рассмотрим этап осадки (рис. 4), при которой осуществляется соприкосновение оплавленных кромок и воздействие определенным давлением. Время, затрачиваемое на удаление нагревательного инструмента и до смыкания оплавленных труб (технологиче-

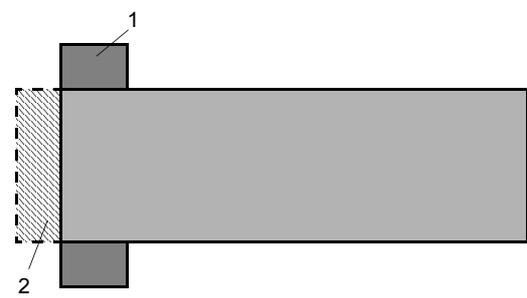


Рис. 4. Стенка трубы (разрез) на этапе осадки: 1 — грат; 2 — область, уходящая в грат

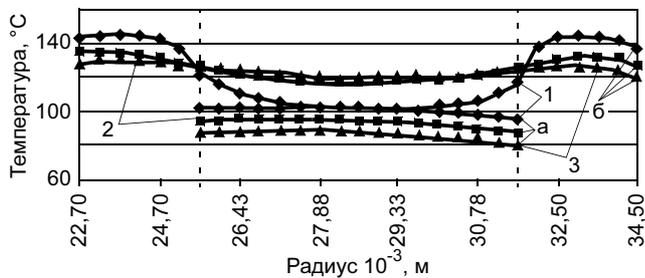


Рис. 5. Распределение температуры по толщине стенки трубы при $T_0 = -40^\circ\text{C}$ в различные моменты осадки с учетом грата (а) и без него (б): 1—3 — t равно 3, 60 и 120 с соответственно

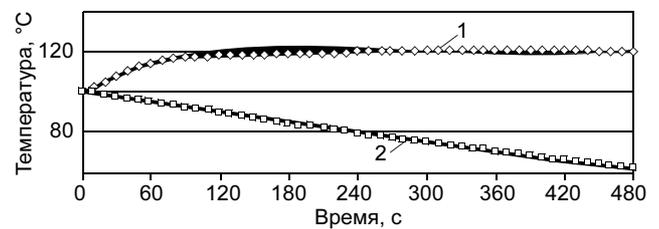


Рис. 6. Распределение температуры во времени при осадке в точке $(r, z) = (30,05; 2,7)10^{-3}$ м при $T_0 = -40^\circ\text{C}$ с учетом грата (1) и без него (2)

ская пауза), согласно нормативным документам, составляет 3 с. Для труб из полиэтилена ПЭ 80 ГАЗ SDR11 $63 \times 5,8$ (ГОСТ Р 50838—95) рекомендуемая продолжительность осадки составляет 8 мин. Так как технологическая пауза несравнимо меньше продолжительности осадки, то в расчетах ею можно пренебречь, так же, как и образованием вогнутого мениска при отделении инструмента вследствие адгезии расплавленного полимера. Полагаем, что при приложении давления осадки труба укорачивается. Для рассматриваемой трубы укорочение, составляющее 2,6 мм, получено расчетным путем и подтверждено экспериментально при сварке ПЭ труб в нормальных условиях.

При сближении расплавленных поверхностей происходит течение расплава в грат (см. рис. 4, область 1). Поскольку при этом вытекающий расплав смешивается, будем полагать распределение температуры в грате равномерно распределенным. Осредненная температура в грате

$$T_r = \frac{2\pi}{V} \int_0^{\xi} \int_{r_1}^{r_2} rT(r, z) dr dz, \quad (15)$$

где V — объем расплава, вытекающего в грат.

В начале процесса остывания распределение температуры в оставшейся части трубы такое же, как в конце этапа оплавления.

Расчет динамики температурного поля в стенке трубы с гратом проводили, решая двумерную задачу Стефана с учетом изменения его формы с граничными условиями вида (4)—(8). На свободных боковых поверхностях грата задавали граничные условия III рода, на торце грата, как и на торце трубы, — условие симметрии (4). В расчетах высота и длина грата составляли по 3 мм.

На рис. 5 и 6 представлены распределения температуры по толщине стенки трубы и изменения температуры в точке $(r, z) = (30,05; 2,7)10^{-3}$ м во времени с учетом грата и без него при температуре ОС -40°C . Результаты расчета показывают существенное влияние грата на температурное поле стенки трубы в окрестности зоны сварки и его изменение во времени.

При исследовании процесса остывания трубы на этапе осадки для обеспечения близости температурных полей при сварке при низких температурах ОС и нормальных условиях необходимо в математической модели теплового процесса учитывать влияние грата на кинетику температурного поля в окрестности сварного соединения.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны комплекс программ и методика оперативного расчета оптимального режима сварки для температуры окружающей среды ниже нормативной.
2. Определен оптимальный режим контактной сварки полиэтиленовых труб для температуры окружающей среды: температура нагревательного элемента 210°C , давление при оплавлении $0,02$ МПа, продолжительность осадки 96 с, давление осадки $0,15$ МПа.
3. При исследовании процесса остывания необходимо учитывать влияние грата на температурное поле в окрестности сварного соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сварка полимерных материалов*: Справочник / К. И. Зайцев, Л. Н. Мацюк, А. Г. Богдасhevский и др. М.: Машиностроение, 1988. 312 с.
2. *Старостин Н. П., Аммосова О. А.* Выбор режима сварки полиэтиленовых труб при низких температурах на основе моделирования теплового процесса // Вестник Якутского государственного университета им. М. К. Аммосова. 2006. Т. 3. № 1. С. 63—66.
3. *Тихонов А. Н., Самарский А. А.* Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 735 с.
4. *Самарский А. А., Моисеенко Б. Д.* Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1965. Т. 5. № 5. С. 816—827.
5. *Исследование кристалличности и термостабильности в трубах, полученных из различных видов полиэтилена* / М. И. Горюловский, Е. В. Калугина, А. Н. Иванов, Ф. К. Сатдинова // Пластические массы. Структура и свойства. 2005. № 4. С. 9—12.
6. *Трещиностойкость сварных стыковых соединений полиэтиленовых труб* / А. К. Родионов, Ф. И. Бабенко, Н. А. Коваленко и др. // Материалы. Технологии. Инструменты. 2003. Т. 8. № 3. С. 19—20.

Е. И. КУРЬЯНИНОВА, аспирант, В. А. ЕРОФЕЕВ, канд. техн. наук
Тульский государственный университет

Оптимизация технологических параметров лазерной газопорошковой наплавки на основе математического моделирования

Долговечность деталей машин и механизмов в основном определяется химическим и физическим состоянием поверхностных слоев, упрочнение которых значительно повышает ресурс работы деталей. Одним из наиболее прогрессивных методов упрочнения является нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности деталей.

Лазерная газопорошковая наплавка позволяет управлять формой наплавляемого валика и получать особо тонкие покрытия с минимальным припуском на механическую обработку с толщиной наплавляемых слоев от 0,1 до 5 мм. Благодаря высокой эффективности процесса энергозатрат, экономичному использованию дефицитного присадочного материала этот метод успешно применяется в машиностроении [1].

Одной из важных задач при разработке технологий лазерной порошковой наплавки является обеспечение стабильно высокого качества наплавленных поверхностей, в том числе гарантированное получение размеров наплавленных валиков в пределах допуска. Необходимость решения этой задачи вызвана, с одной стороны, желанием продлить срок эксплуатации объектов и снизить издержки на техническое обслуживание, а с другой — повысить жизнеспособность объектов при сохранении уровня надежности при эксплуатации.

К сожалению, неизбежны отклонения параметров наплавки, которые возникают как следствие случайных отклонений от нормы внешних факторов и внутренней нестабильности процесса. К ним относятся нестабильность работы оборудования и погрешности его настройки. Оценка влияния этих факторов на формирование наплавленных валиков позволит обоснованно выбирать оборудование, назначать контроль параметров и допуски на них, а также определять режим наплавки, оптимальный по стабильности процесса.

Современный уровень прикладных математических разработок [2] позволяет решить некоторые из этих проблем на основе компьютерной имитации, заменяющей наплавку натуральных образцов с оценкой устойчивости процессов наплавки к возмущениям.

Модель процесса лазерной наплавки разработана [3] на основе численного решения уравнения энергии (1) и уравнения поверхности (3). Схема процесса в декартовой прямоугольной системе координат приведена на рис. 1.

Уравнение энергии описывает изменение энтальпии под действием луча лазера:

$$-\rho v \frac{\partial H}{\partial x} = \text{div}[\lambda(T) \text{grad } T], \quad (1)$$

где ρ — плотность среды; v — скорость наплавки; H — энтальпия; $\lambda(T)$ — коэффициент теплопроводности, зависящий от температуры; T — температура.

Воздействие луча описывается граничным условием

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} = \varepsilon I_L + I_P - h(T - T_0), \quad (2)$$

где ε — поглощательная способность поверхности ванны, учитывающая влияние порошковой присадки; I_L — распределение интенсивности лазерного излучения по поверхности ванны расплава; I_P — интенсивность источника, учитывающая теплоту падающих частиц порошка на ванну расплава; h — коэффициент теплоотдачи.

Форма поверхности расплава определяется из уравнения равновесия давлений [4, 5]:

$$p_\sigma + p_{\text{час}} + p_g + p_{\text{вн}} = 0, \quad (3)$$

где p_σ — капиллярное давление, зависящее от кривизны поверхности расплава; $p_{\text{час}}$ — давление частиц порошка, зависящее от скорости и расхода; p_g — гидростатическое давление; $p_{\text{вн}}$ — внутреннее давление, которое определяется из условия соответствия количества наплавленного металла количеству порошка, попавшего в ванну расплава.

Из решения уравнения (1) определяется температура поверхности и границы ванны расплава, форма поверхности — из решения уравнения (3). Процедура численного решения уравнений реализована в виде компьютерной программы.

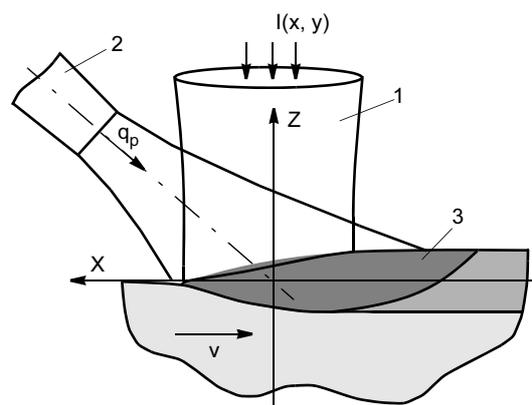


Рис. 1. Схема лазерной порошковой наплавки: 1 — лазерный луч; 2 — сопло подачи порошка; 3 — ванна расплава

Эта компьютерная модель учитывает теплофизические свойства металла и технологические параметры лазерной установки, а именно: размер лазерного луча, мощность лазера, состав и скорость подачи защитного газа, размер и скорость подачи присадочного порошка.

Совпадение результатов компьютерной имитации (рис. 2) с экспериментальными данными обеспечивается двумя эмпирическими коэффициентами, один из которых корректирует угол разлета порошка из сопла, а другой — коэффициент поглощения излучения лазера поверхностью расплава, на которую падают частицы порошка.

Решение технологических задач на основе компьютерной имитации. При разработке технологии необходимо решить следующие задачи: определить значение параметров, при которых формируется валик заданного размера, оценить стабильность формирования и обоснованно назначить допуски на параметры процесса.

Исходными данными при определении мощности и диаметра луча, скорости наплавки и расхода порошка являются высота и ширина наплавляемого валика. При этом необходимо обеспечить минимальную глубину проплавления.

Производительность процесса ограничена мощностью лазера. Кроме того, чрезмерное увеличение мощности приводит к закипанию металла и плохому формированию валика. На слишком малых мощностях прилипание порошка прекращается.

При диаметре луча более 2 мм ширина валика практически равна диаметру. Высота валика обеспечивается расходом порошка. Изменение скорости наплавки возможно в узких пределах, так как ее увеличение приводит к резкому уменьшению высоты наплавленного валика, а уменьшение — к перегреву металла в зоне обработки.

Моделирование не позволяет прямо определить параметры процесса по заданным размерам валика. Целесообразно преобразовать модель в систему линейных уравнений, связывающих искомые параметры с заданными размерами валика в области предполагаемых значений. Для этого необходимо выполнить не-

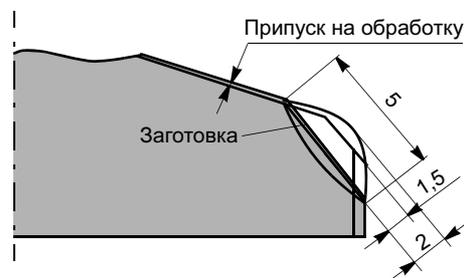


Рис. 3. Профиль наплавляемого клапана двигателя внутреннего сгорания

сколько имитаций, используя метод планирования эксперимента Бокса— Вилсона [6].

Рассмотрим решение этой задачи при наплавке рабочей поверхности выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания (рис. 3). Необходимо определить скорость наплавки, мощность лазера, диаметр луча на поверхности и расход порошка для получения наплавленного валика из порошка ВКЗ на подложку из стали 20ХН4ФА. Требуется получить валик шириной 5 мм и высотой 2 мм.

Согласно рекомендациям работы [7], определяем диапазон варьирования искомых параметров процесса: мощности лазерного излучения P , скорости наплавки v и подачи порошка Q (табл. 1).

План выполнения имитации (матрица линейного плана с откликом) и результаты приведены в табл. 2.

Затем, используя компьютерную модель, рассчитаем размеры валика при параметрах по плану табл. 2, подставляя вместо "–1" минимальное, а вместо "+1" максимальное значения фактора (см. табл. 1).

Результаты имитации показывают, что размеры шва соответствуют заданным значениям, максимальная температура металла не превышает температуру кипения. Также не зафиксировано возникновение наплывов. Это позволяет определить коэффициенты регрессии

$$b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji} \bar{y}_i, \quad (4)$$

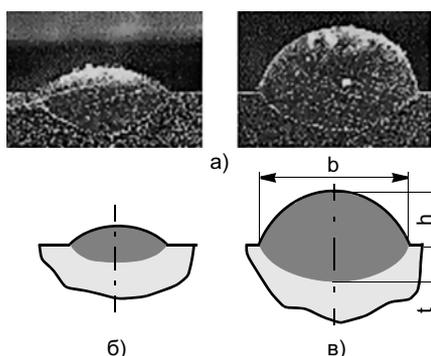


Рис. 2. Сравнение результатов эксперимента (а) и расчета (б, в) при скорости наплавки 0,9 (б) и 0,3 (в) м/мин (ND:YAG-лазер мощностью 4 кВт с диаметром луча 4 мм, расход порошка 10 г/мин, сплав AlSi10Mg)

Таблица 1

Фактор	Параметры наплавки		
	P , кВт	v , см/с	Q , г/мин
z_{i0}	4,0	0,85	9,5
Δz	1,0	0,35	0,5
–1	3,0	0,50	9,0
+1	5,0	1,20	10,0

Обозначения: z_{i0} — среднее значение i -го фактора; Δz — интервал изменения фактора от среднего до максимального/минимального его значения; "–1", "+1" — минимальное и максимальное условные значения фактора соответственно.

x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_2x_3	x_3x_1	$x_1x_2x_3$	Ширина	Высота	Глубина
+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	3,528	2,668	0,569
+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	4,998	2,362	0,909
+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	4,996	0,945	0,941
+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	5,592	0,973	1,320
+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	4,058	2,761	0,587
+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	5,040	2,627	0,833
+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	5,164	1,146	0,883
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	5,667	1,087	1,213
Среднее значение								4,880	1,821	0,907

где j — номер коэффициента; i — номер строки; n — количество имитаций, равное 8.

Определим коэффициенты линейных уравнений, перейдя к натуральным величинам:

$$b = 0,355 + 0,44P + 1,351v + 0,204Q;$$

$$h = 2,472 - 0,059P - 2,237v + 0,168Q;$$

$$t = 0,277 + 0,162P + 0,52v - 0,056Q.$$

Подставив размеры наплавки $b = 5$ мм, $h = 2$ мм, $t < 1,5$ мм и решив полученную систему уравнений, определим необходимые параметры наплавки: $P = 4$ кВт, $v = 1$ см/с, $Q = 10$ г/мин. Глубина проплавления при этом составит 0,7 мм.

Оценка стабильности процесса. При реализации технологии наплавки неизбежно отклонение параметров от номинала. Целью оценки стабильности является определение рассеяния размеров валика.

Анализ стабильности процесса проведем, используя статистические методы планирования эксперимента, которые позволяют рассчитывать рассеяние размеров шва как коэффициентов уравнения регрессии.

Рассмотрим решение этой задачи при наплавке рабочей поверхности выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания. Оценим влияние семи параметров, приведенных в табл. 3. Значение, на которое изменяется параметр, принимаем равным погрешности S_i , обусловленной нестабильностью работы оборудования и его настройкой. Оптимальный насыщенный план первого порядка для семи показателей с откликом приведен в табл. 4.

Используя компьютерную модель, выполним имитацию по плану табл. 4 и по формуле (4) вычислим погрешности, которые вносят различные параметры в стабильность размеров наплавляемого валика. Результаты представлены на рис. 4.

На диаграмме видно, что в данном случае стабильность размеров валиков сильно зависит от фоку-

Таблица 3

Параметр x_i	$x_{i,0}$	S_i	Метод оценки отклонения
Мощность луча P , кВт	4	$\pm 0,1$	Паспортные данные лазера
Диаметр луча на поверхности d_l , мм	4	$\pm 0,1$	То же
Скорость наплавки v , см/с	1	$\pm 0,05$	По частоте вращения электродвигателя механизма
Расположение сопла подачи порошка по высоте h_s , мм	15	± 2	Погрешность позиционирования
Смещение сопла подачи порошка вдоль направления скорости наплавки S_m , мм	0	± 1	То же
Расход порошка Q , г/мин	10	± 1	Погрешность механизма подачи порошка
Расширение струи порошка β , °	15	± 2	То же

сировки лазерного луча и стабильности системы подачи порошка, а именно, от позиционирования сопла подачи порошка относительно луча лазера и угла расширения струи порошка.

Таким образом, анализ стабильности позволяет определить пути повышения качества наплавки. В данном случае для улучшения качества наплавленной поверхности необходимо повысить стабильность фокусировки луча и системы подачи порошка.

Оценка вероятности получения наплавки требуемого качества. Допуски на значения параметров. Обычно требования к качеству преимущественно носят качественный характер: отсутствие наплывов, пор, раковин, трещин. Дефекты возникают при

Таблица 4

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	b , мм	h , мм	t , мм
-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	5,552	2,830	1,287
+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	5,449	2,131	1,644
-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	6,364	2,619	1,872
+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	6,712	2,038	2,054
-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	5,455	0,961	1,894
+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	5,775	2,815	1,422
-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	7,162	2,348	1,696
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6,622	1,611	2,032

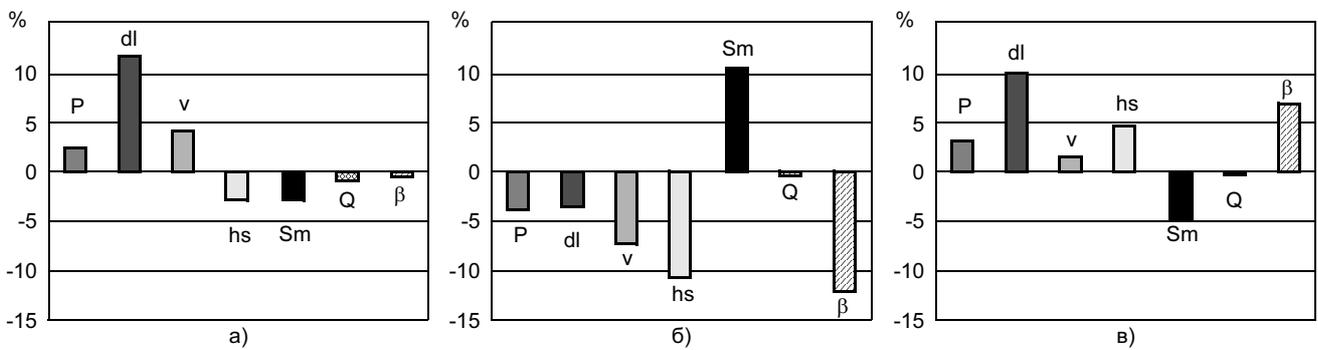


Рис. 4. Величина рассеяния ширины (а), высоты (б) и глубины (в) валика, вносимая погрешностью различных параметров

определенных соотношениях между количественными показателями качества наплавки.

Например, наплыв возникает, когда высота наплавленного валика превышает половину его ширины. Эти количественные показатели позволяют оценивать вероятность возникновения дефектов наплавки путем сравнения номинального значения и рассеяния параметров с предельно допускаемыми величинами соответствующих показателей качества.

Определим вероятность получения высоты наплавки не менее 1,5 мм ($h_{b\min} = 1,5$ мм, номинальная $h_0 = 2$ мм). Вероятность наплавки достаточной высоты, заданной конструктором,

$$p_{h\max} = 0,5 + \Phi\left(\frac{h_0 - h_{b\min}}{S_h}\right) = 0,5 + \Phi\left(\frac{0,5}{0,5113}\right) = 0,8413 = 84,13 \%$$

Аналогично рассчитаем вероятности обеспечения качества наплавки по другим критериям (табл. 5).

Несмотря на то, что вероятности обеспечения качества по отдельным факторам достаточно велики, общая вероятность получения бездефектной наплавки, определенной как произведение вероятностей для отдельных факторов, недостаточна.

Обоснование требований к оборудованию и определение допусков. Недопустимо большая вероятность возникновения дефектов указывает на необходимость использования оборудования с более высокой стабильностью. Эта проблема сводится к задаче расчета допусков на параметры оборудования.

Чтобы получить общую вероятность соответствия показателей качества, равную общепринятому значению 95 %, необходимо рассмотреть, какие технологические параметры вносят наибольшую погрешность в стабильность наплавки.

Таблица 5

Параметр	Значение, %
Вероятность:	
минимально допустимой высоты наплавки	84,13
заданной глубины проплавления	99,38
Коэффициент перемешивания (не превысит значение 50 %)	98,61
Общая вероятность получения бездефектной наплавки	82,44

Для этого необходимо определить допустимый уровень S_x рассеяния параметров, при котором выполняется соотношение

$$S_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \min[(k_i S_i)^2, S_x^2]},$$

где S_0 — допустимое рассеяние размера валика; k_i — коэффициент, связывающий рассеяние параметра S_i с рассеянием размера валика.

Параметры, для которых $k_i S_i > S_x$, являются критическими, при выборе оборудования для них должен быть определен допуск.

Наибольшую погрешность в получение наплавки требуемого качества вносит нестабильность высоты наплавленного валика. Для получения высокой стабильности данного параметра допустимое значение рассеяния $S_x < 0,17$.

Нестабильность системы подачи порошка превышает допустимый уровень рассеяния параметров, и стабильность системы подачи порошка должна быть улучшена. Допуск на угол расширения струи порошка β должен составлять $D_\beta = \pm 1^\circ$. Также желательно назначить допуск на расположение системы подачи порошка по высоте hs , который составит $D_{hs} = \pm 1,5$ мм, и допуск на смещение центра струи порошка Sm , который должен составлять $D_{Sm} = \pm 0,5$ мм.

Таким образом, компьютерное моделирование позволяет заменить эксперименты, которые выполняют в лабораториях при отработке технологии наплавки. Применение статистических методов обработки данных к результатам имитации позволяет решать типовые задачи проектирования технологии наплавки: определять режим наплавки, оценивать стабильность процесса, вероятность бездефектного формирования валика и обоснованно выбирать допуски на параметры оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Физико-математическая модель процесса лазерной газопорошковой наплавки на основе решения системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса и равновесия давлений на поверхности расплава, реализованная в виде компьютерной программы, позволяет оценивать показатели формирования валика при заданных технологических факторах.

2. Удовлетворительная точность воспроизведения процесса достигается при введении в модель эмпирических коэффициентов, характеризующих разлет порошка и коэффициент поглощения излучения.

3. Разработанная методика позволяет определять режим наплавки, оценивать стабильность процесса, вероятность бездефектного формирования валика и обоснованно выбирать допуски на параметры оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асташкевич Б. М., Зиновьев Г. С. Упрочнение и восстановление лазерной наплавкой клапанов дизелей // Сварочное производство. 1995. № 11. С. 2—4.

2. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1999. 270 с.

3. Судник В. А., Ерофеев В. А., Радай Д. Компьютерное моделирование лазерного нанесения порошковых покрытий // Лазерные технологии и средства их реализации. С.-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 2000. С. 50—57.

4. Ерофеев В. А. Прогнозирование качества электронно-лучевой и лазерной сварки на основе компьютерного моделирования. Тула: ТулГУ, 2002. 140 с.

5. Ерофеев В. А. Решение задач оптимизации технологии на основе компьютерного моделирования процесса сварки // Сварочное производство. 2003. № 7. С. 19—26.

6. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Пер. с англ. В. Д. Скаржинского. М., 1973. 960 с.

7. Лазерная техника и технология. В 7 кн.: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А. Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1987.

УДК 621.792.05:620.17

Т. Н. ПЕЩЕРОВА, инж.
(ООО "Петер Лакке"),
Г. В. КОЗЛОВ, д-р хим. наук
(МГТУ "Станкин")

Зависимость прочности клеевых соединений от конструктивных особенностей и технологических параметров их формирования

Клеевые соединения чаще всего выполняют на основе высокомолекулярных веществ — полимеров, которые делятся на два класса — термопласты и реактопласты. Термопласты состоят из длинных цепных или разветвленных макромолекул, а реактопласты представляют собой сшитые полимеры в виде трехмерных сеток.

Реактопласты (и изделия из них) получают в процессе отверждения, при котором жидкие реакционноспособные полимеры низкой молекулярной массы (олигомеры или смолы) необратимо превращаются в твердые, неплавкие и нерастворимые полимеры. При нагревании реактопластов только некоторые из них приобретают эластичные свойства. Текучестью реактопласты не обладают. Процесс их отверждения из олигомеров сопровождается химической реакцией между реакционноспособными группами олигомеров или между олигомерами и специальными реагентами — отвердителями. Как правило, отверждение протекает при нагревании или облучении реакционной массы ультрафиолетовым светом и другими лучами высокой энергии. В результате отверждения происходит уменьшение объема олигомера между субстратами (рис. 1), которое называют химической или реакционной усадкой.

Формирование клеевых соединений обычных конструкций (рис. 1, г) сопровождается усадкой ε отверждения ($\varepsilon = \Delta V/V_1$, где V_1 — исходный объем жидкого клея; $\Delta V = V_2 - V_1$, V_2 — объем отвержденного клея)

и сближением субстратов на расстояние ΔH ($\Delta H = H_1 - H_2$, где H_1, H_2 — соответственно высота клеевого шва исходного и отвержденного). Конструкционные особенности клеевых соединений (рис. 1, а—в) могут затруднить усадку клеев. В случае реактопластов последняя может достигать 10 % их объема и проявиться полностью или частично в появлении в клеях растягивающих напряжений или увеличении воздушных включений. Например, у клеевых соединений с неподвижными (для сближения и реализации

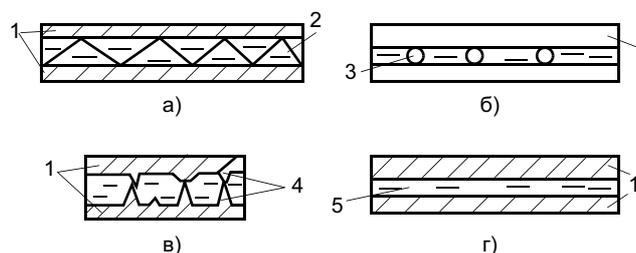


Рис. 1. Схемы конструкций клеевых соединений, в которых сближение субстратов 1 затруднено (а—в), и обычная конструкция клеевого соединения 5 (г): а, б — электропроводящие соединения за счет металлической сеточки 2 и прутков проволоки 3; в — "голодное" клеевое соединение, когда при усадке клея субстраты упираются друг в друга по микровыступам шероховатостей 4

ΔH , т. е. $H = \text{const}$) при формировании субстратами (см. рис. 1) клей при усадке затекает в шов.

В модели¹ клеевого шва, находящегося между неподвижными субстратами, при температуре сшивки $t_{\text{сш}}$ за время усадки τ клей должен затечь в глубину шва на расстояние L_1 (за счет разности давлений окружающего воздуха p_1 и в глубине клеевого шва ($p_1 - K\varepsilon$)):

$$L_1 = \sum_1^m 0,5\varepsilon' \sqrt{KH^2\tau'(i-0,5)/12\eta_i}, \quad (1)$$

где m — число промежутков времени отверждения τ клея; ε' — часть реакционной усадки клея, равная ε/m ; K — модуль объемной упругости клея; $\tau' = \tau/m$; η_i — вязкость клея в i -й промежуток времени, принятая для каждого τ' постоянной.

Для эпоксидных клеев $K \approx 2 \cdot 10^9$ Па, исходная вязкость η_0 изменяется от 0,2 до 8 Па·с, ε — от 0,05 до 0,1 и в точке гелеобразования реализуется до 0,7 ε , вязкость при этом достигает значения 10^5 Па·с, а текучесть теряется, τ изменяется от 60 до 300 с, тогда

$$L_1 = 30H \div 220H. \quad (2)$$

Так как у клеевых швов $H = 30 \div 150$ мкм, то клеи должны затекать в глубину швов на 0,9—33 мм. Согласно экспериментальным исследованиям, при $H \leq 300$ мкм затекания клеев в глубину швов не происходит. Поэтому в идеальных клеевых швах должны появиться усадочные напряжения

$$\sigma_y = K\varepsilon_H = 3 \cdot 10^9(0,05 \div 0,1) = 150 \div 300 \text{ МПа}, \quad (3)$$

где ε_H — нереализованная усадка клеев.

К усадочным напряжениям σ_y следует добавить температурные напряжения σ_T , возникающие вследствие нереализованной термической усадки ε_T при охлаждении клеев от температуры стеклования до комнатной (18—20 °С) температуры ($\varepsilon_T \approx 0,01$):

$$\sigma_T = K\varepsilon_T \approx 3 \cdot 10^7 \approx 30 \text{ МПа}. \quad (4)$$

Тогда с учетом формул (3) и (4) напряжения в отвержденном клее клеевого шва могут достичь следующих значений:

$$\sigma_{y+T} \approx \sigma_T + \sigma_y \approx 180 \div 330 \text{ МПа}. \quad (5)$$

Полученные значения остаточных напряжений сопоставимы с теоретической прочностью на разрыв эпоксидных полимеров и превосходят их реальную прочность (60—80 МПа). В этом случае клеевые швы должны разрушиться. Но так как разрушения не происходит, то и напряжения в клеях, равные $K\varepsilon_H + K\varepsilon_T$, не образуются. Следовательно, необходимо найти такой механизм усадки клеев, который устраняет данное противоречие.

¹ Пещерова Т. Н. Моделирование реакционной усадки связующего клеевого шва ньютоновским течением // 7-я научн. конф. МГТУ "Станкин" и Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ "Станкин" — ИММ РАН по математическому моделированию и информатике. М.: МГТУ "Станкин", 2004. С. 186—189.

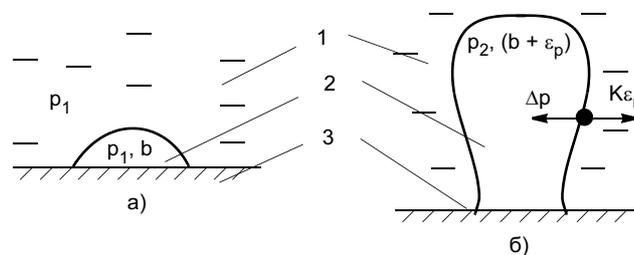


Рис. 2. Схема исходного объема пузырька воздуха в клеевом шве (а) и расширения его объема за счет усадки клея (б): 1 — клей; 2 — пузырек воздуха; 3 — субстрат

Известно, что в клеевых швах всегда имеются воздушные включения, находящиеся, в частности, во впадинах микрошероховатостей субстратов. Допустим, что в единице объема исходного клея между неподвижными субстратами суммарный объем воздушных включений равен b . Тогда при $t_{\text{сш}}$ и нахождении клея в текучем состоянии (до реализации усадки, равной 0,7 ε) в процессе реакционной усадки воздушные пузырьки должны расширяться (рис. 2).

К моменту гелеобразования 0,7 ε в воздушных пузырьках и клее установится равновесие

$$-\Delta p = \sigma, \quad (6)$$

где Δp — уменьшение давления в пузырьках воздуха, равное $p_2 - p_1$ (p_2 — конечное давление воздуха); σ — напряжение в клее, равное $K\varepsilon_H$ ($\varepsilon_H = \varepsilon - \varepsilon_p$, где ε_p — реализованная часть усадки клея).

Учитывая закон Бойля, для единицы объема клея получим

$$p_1 b = p_2 [\varepsilon + b]. \quad (7)$$

Вычислим p_2 и Δp из формулы (7):

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 b / (\varepsilon_p + b), \\ p_2 - p_1 &= (p_1 b - p_1 \varepsilon_p - p_1 b) / (\varepsilon_p + b) = \\ &= -p_1 \varepsilon_p / (\varepsilon_p + b). \end{aligned} \quad (8)$$

Учитывая выражения (6) и (8), получим

$$K\varepsilon_H = p_1 [\varepsilon_p / (\varepsilon_p + b)]. \quad (9)$$

Так как в формуле (9) в квадратных скобках знаменатель всегда больше числителя, то правая часть равенства всегда меньше p_1 : $K\varepsilon_H < p_1$. Следовательно, в клеевых швах после отверждения при $t_{\text{сш}}$ возникнут напряжения $K\varepsilon_H$, величина которых будет меньше p_1 ,

т. е. меньше 10^5 Па. Из формулы (9) найдем

$$\varepsilon_H = (p_1 / K) [\varepsilon_p / (\varepsilon_p + b)], \quad (10)$$

где $(p_1 / K) = 10^5 / 1,5 \cdot 10^9 = 6,75 \cdot 10^{-5}$.

Учитывая, что величина в квадратных скобках меньше единицы, получим $\varepsilon_H < 6,75 \cdot 10^{-5}$, следовательно, $\varepsilon_p \approx \varepsilon$. Другими словами, практически вся усадка клея превращается в прирост объема воздушных включений, а напряжения σ , полученные по формуле (9), так малы ($\varepsilon_H K < 10^5$ Па)

$$\sigma_y < 0,1 \text{ МПа}, \quad (11)$$

что не могут разрушить клеевые швы. С другой стороны, использование этих напряжений в уравнении (1) вместо $K\varepsilon$ дает значения L_1 примерно в 1000 раз меньше, чем ранее полученные по формуле (2), а именно $L_1 = (0,1 \div 10^{-2})H$. Поэтому в проведенных экспериментах не наблюдалось затекания клея в глубину клеевых швов с неподвижными субстратами.

На рис. 3 приведена зависимость адгезионной прочности от толщин швов на сдвиг клеевых соединений сталь—сталь с эпоксидным клеем (время отверждения 3 ч при 150 °С; давление склеивания $p_{ск} = 0,15 \div 1,00$ МПа). Видно, что при $H < 15$ мкм прочность клеевых соединений резко снижается. Такие соединения называют "голодными" клеевыми соединениями, полагая, что в них недостаточно клея для полного смачивания субстратов и большие значения остаточных напряжений.

Для уточнения механизма влияния конструктивных особенностей на их прочность экспериментально исследовали модель клеевого соединения в виде стеклянных пластин размером $12 \times 9 \times 0,13$ см, сближение которых в процессе реакционной усадки клея ограничивали петлей из тонкой проволоки диаметром 0,27 мм, находящейся между пластинами (рис. 4).

Эксперименты показали, что в исходном клее пузырьки воздуха в процессе отверждения клеевых швов укрупнялись в большие по сечению полости (до 80—90 % от площади контакта связующего со стеклом), имеющие форму очень тонких линз. Эти "линзы" образовывались на границе раздела фаз клей—верхняя пластина. Таким образом, в клеевых соединениях, полученных с ограничением усадки отверждения клеев, возникает ослабляющий фактор в виде воздушных полостей.

Для клеевых соединений металлов с малыми значениями H усадки клеев при отверждении может ограничиваться по двум причинам. Во-первых, сближение субстратов ограничивается их непараллельностью и выступами микрошероховатостей, во-вторых, малы расстояния L_1 , на которые клей может затекать в клеевые швы вследствие малых значений в них напряжений σ согласно формуле (11).

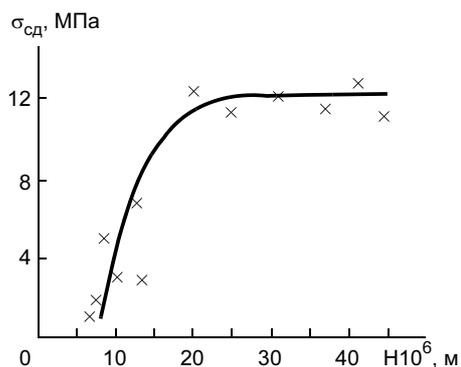


Рис. 3. Зависимость адгезионной прочности на сдвиг $\sigma_{сд}$ стальных клеевых соединений от толщины клеевых швов на основе эпоксидного клея

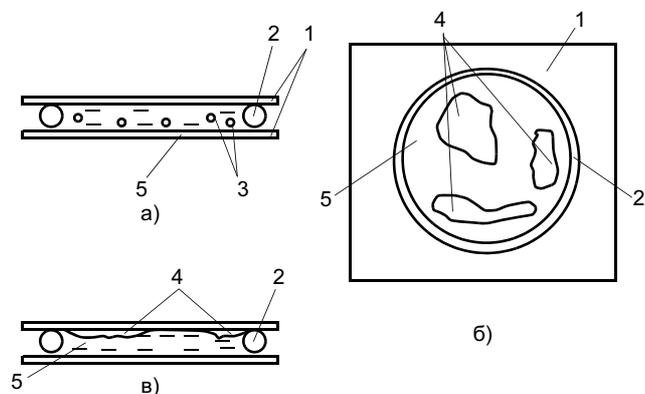


Рис. 4. Схема клеевого соединения двух стеклянных пластин 1, соединенных эпоксидным клеем 5, усадка которого ограничена проволокой 2: а — до отверждения, вид сбоку; б, в — после отверждения, вид сверху и сбоку соответственно; 3 — воздушные пузырьки; 4 — воздушные полости — "линзы"

При $H < 10$ мкм микровыступы субстратов могут упереться друг в друга и их дальнейшее сближение, вызываемое реакционной усадкой клея, прекратится. Экспериментально установлено, что как только при формировании под давлением клеевого соединения металл—связующее—металл между пластинами появлялся электрический контакт, то его прочность после отверждения значительно снижалась — до единиц мегапаскалей и менее ("голодное" клеевое соединение) (в этом заключается неразрушающий метод контроля клеевых соединений). В таких случаях значения H часто были соизмеримы с высотой микровыступов склеиваемых металлических поверхностей.

Для увеличения прочности клеевых соединений, в которых затруднена усадка сшивки связующих, необходимо при их отверждении повышать давление окружающей газовой среды. Вычисления показывают, что должна быть корреляция между величиной этого давления и прочностью клеевых соединений, а для достижения теоретических значений прочности клеевых соединений при малых H давление должно составлять сотни атмосфер.

ВЫВОДЫ

1. В клеевых соединениях, конструкции которых ограничивают сближение субстратов при реакционной усадке клеев, последняя практически полностью реализуется за счет образования в клеевых швах воздушных полостей (дефектов), уменьшающих прочность соединений.

2. В случае металлических субстратов и очень тонких клеевых швов предложен неразрушающий метод контроля — изменение электрического сопротивления клеевых швов.

3. Для увеличения прочности клеевых соединений, конструкции которых ограничивают сближение субстратов при реакционной усадке клеев, их отверждение проводят при больших значениях давления окружающей газовой среды.

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, **В. Г. ПИЧАК**, инж., **В. С. РОМАНЮК**, инж.,
И. С. КУЗЬМИН, инж.
(ИЭС им. Е. О. Патона),
И. С. БУКИН, инж.
("АВИСМА" — филиал ОАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА", Березники, Россия)

Полуавтомат блочно-модульной конструкции для сварки, наплавки и резки

Задачи, решаемые с помощью оборудования для механизированных дуговых процессов — полуавтоматов, постоянно расширяются. Наряду с новыми технологическими задачами растет круг проблем, связанных с условиями использования оборудования, режимами его работы, удобством обслуживания и наладки. Полуавтоматы постоянно совершенствуются, их конструкции все более приспособляются к работе в конкретных условиях. При этом, как правило, разработчики и производители стремятся с каждой новой задачей представить потребителям новые модели полуавтоматов, что обусловлено следующими причинами:

— изначальное отсутствие у разработчиков и производителей концепций блочно-модульного принципа конструирования с использованием базовой модели;

— слабый анализ перспектив рынка оборудования, ориентация лишь на сегодняшние запросы сварочного и других производств;

— отсутствие новых технических и технологических решений по механизированной дуговой сварке, наплавке и резке, в том числе связанных с проблемами энерго- и ресурсосбережения, решение которых выдвигается в виде первоочередных задач.

В предыдущее десятилетие была усовершенствована концепция создания полуавтоматов по блочно-модульному принципу конструирования на основе базовой модели [1]. Были разработаны полуавтоматы типа ПШ107, с успехом внедренные в сварочном производстве и различных отраслях промышленности [2, 3].

Длительный опыт эксплуатации полуавтоматов ПШ107 на различных процессах и в разных условиях эксплуатации и обслуживания производств позволил сделать обобщающие выводы:

— блочно-модульная конструкция полуавтомата ПШ107 с использованием базовой модели полностью себя оправдывает как на этапах изготовления с изменением модификации, так и при эксплуатации в условиях разнообразных производств;

— все разработанные и используемые при необходимости основные и дополнительные узлы и системы полуавтоматов типа ПШ107 разных модификаций

соответствуют своему технико-технологическому назначению и показателям надежности;

— именно блочно-модульный принцип конструирования с использованием базовой модели полуавтомата ПШ107 позволил впервые широко осуществить комплексное внедрение и длительную эксплуатацию полуавтоматов на сложных в техническом и организационном отношении производствах, в частности электролизном производстве магния ("АВИСМА") и алюминия (Таджикский алюминиевый завод).

Следует отметить, что любая самая совершенная разработка не может быть идеальной во всех отношениях, тем более что круг задач постоянно изменяется, как и менталитет сварщиков-операторов и обслуживающего персонала, которые все более полагаются на возможности оборудования, а не на свой профессиональный опыт.

Все полученные при эксплуатации полуавтомата ПШ107, в том числе и при его комплексном внедрении, результаты дают основание для дальнейшего совершенствования полуавтоматов данного типа с учетом выявленных недостатков, пожеланий и предложений пользователей, выработанных после длительной эксплуатации разных модификаций оборудования на конкретных объектах и в определенных климатических и рабочих условиях. Так, полуавтоматы типа ПШ107, предназначенные для сварки, наплавки и резки самозащитными порошковыми электродными проволоками, в большинстве случаев эксплуатируются вне цеховых условий и подвергаются воздействию погодных условий во все времена года. Другие полуавтоматы этого типа, применяемые на металлургических предприятиях, подвергаются воздействию достаточно высоких температур, часто перемещаются к различным объектам, что отражается на выборе, настройке и поддержании режимов работы.

На основании полученного опыта как разработчика, так и эксплуатирующих предприятий определены некоторые недостатки полуавтоматов типа ПШ107 и мероприятия по их улучшению, в частности:

— при наличии на предприятиях современных источников сварочного тока с дистанционным управле-

нием и регулированием или при необходимости комплектования полуавтоматов такими источниками (например для сварки сплавов алюминия) отпадает необходимость во внутреннем коммутаторе сварочного тока, что может еще более упростить и удешевить конструкцию полуавтомата;

— значительные диапазоны регулирования сварочного тока для ряда случаев, когда полуавтомат используется на одних и тех же технологических процессах, но с большим разнообразием режимов, например, сварка на одном и том же предприятии — комбинате по производству магния — тонколистовых алюминиевых емкостей проволокой диаметром 1,2 мм и алюминиевых шин проволоками диаметром 2,4—3,0 мм. Поскольку процесс сварки алюминия весьма чувствителен к отклонениям скорости подачи проволоки, аналогично системы задания скорости также слишком чувствительны для качественного выполнения подобных работ, в частности в условиях монтажа и при ограничениях во времени;

— необходимость увеличения тока дугового процесса на 10—20 % по отношению к номинальному току для повышения производительности труда при сварке, наплавке и резке порошковыми электродными проволоками диаметром более 3,0 мм;

— необходимость усиления узла крепления шлангового держателя и увеличения его длины в модификации полуавтомата для сварки сплавов алюминия.

Следует отметить отсутствие претензий к системе подачи в части механических преобразователей-редукторов, механизма прижима, а также надежности полуавтоматов.

С учетом вышеизложенного на основе достигнутых результатов и дальнейших разработок в направлении совершенствования полуавтоматов блочно-модульной конструкции разработана новая модель полуавтомата. Используя эту модель как базовую, можно не только получить имеющиеся модификации полуавтомата ПШ107 [1], но и расширить их номенклатуру.

Прежде всего в конструкции полуавтомата предусмотрена установка электроприводов нескольких типов: традиционного транзисторного электропривода полуавтомата ПШ107В с обратной связью от тахогенератора и обратными связями по параметрам дугового процесса (используется в любых модификациях полуавтоматов) и упрощенных транзисторных автоколебательных электроприводов с обратной связью от тахогенератора [4] (применяются в полуавтоматах, где не требуется стабилизация параметров сварочного процесса, но существенное значение имеет стабильность тока сварки — при сварке сплавов алюминия, резке металлов значительных толщин).

Кроме указанных технических возможностей электроприводов весьма важными являются их стоимость и надежность. И только оптимальная совокупность технических и экономических характеристик определяет выбор нужного электропривода для комплектования выбранной модификации полуавтомата.

Еще одним важным требованием к выбору узлов для полуавтоматов блочно-модульной конструкции с

использованием разработанной базовой модели является их техническое разнообразие. Основным отличием новой базовой модели полуавтомата блочно-модульной конструкции типа ПШ2107 от известной и хорошо себя зарекомендовавшей в различных отраслях промышленности и на разных процессах сварки, наплавки и резки модели полуавтомата ПШ107В и ее модификаций является существенное увеличение гибкости ее структуры с разработкой новых узлов и систем для комплектования. Если ранее предусматривалось разнообразие в конструкциях системы подачи (разные типы роликов, шланговых держателей, преобразователей движения, систем управления), то в новой конструкции полуавтомата такое разнообразие предусмотрено для регулируемых электроприводов, схем управления источником сварочного тока и адаптации к разным конструктивным решениям. При этом возможно исключение систем измерения сварочного тока и напряжения дуги с соответствующими изменениями в комплектовании приборами (вольтметром, шунтом), системами их коммутации. Это частично связано с расширяющимся применением источников сварочного тока, в которых эти системы встроены, а их выходы выведены на внешние разъемы. Следует отметить, что в концепции построения новой модели полуавтомата ПШ2107 полностью сохранены все необходимые потребителю модификации полуавтомата ПШ107В, в частности возможность его работы с любым источником сварочного тока, включая и не имеющих дистанционного управления и регулирования.

Модификации полуавтомата ПШ2107 содержат и новые разработки:

— систему регулирования механизированной дуговой сваркой в углекислом газе с короткими замыканиями дугового промежутка, где в качестве обратной связи используется скажность процесса переноса электродного металла, что позволяет существенно расширить диапазон свариваемых материалов, стабилизировать горение дуги;

— систему регулирования механизированной дуговой сваркой с поддержанием оптимальной зависимости $I_{CB} = f(U_{CB})$ (где I_{CB} , U_{CB} — ток и напряжение сварки) при определенном значении начального напряжения $U_{CB} = 15$ В, что позволяет существенно снизить потери электродного металла на угар и разбрызгивание и придать шву товарный вид, а также осуществить настройку режима одной ручкой, упрощая задачи для технологов и сварщиков;

— новую систему регулирования скорости подачи электродной проволоки (тока сварки) с дополнительным введением переключения диапазона регулирования для ряда диаметров алюминиевой электродной проволоки (1,2, 1,6, 2,0, 2,4 и 3,0 мм). При этом экспериментально установлены необходимые диапазоны регулирования для каждой из проволок с обеспечением минимально возможной чувствительности регулятора, что в значительной мере упрощает настройку режимов работы полуавтомата для сварки сплавов алюминия;

— оригинальную и простую систему автоматического возбуждения дуги без применения высокочас-

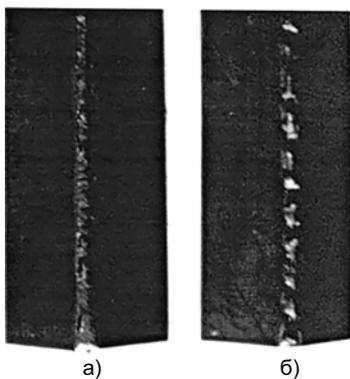


Рис. 1. Образцы вертикальных угловых соединений, выполненных полуавтоматами ПШ-2107 (а) и А547Ум (б)



Рис. 2. Полуавтомат ПШ2107 для сварки алюминиевых сплавов

тотных генераторов (осцилляторов), в частности, при сварке металлоконструкций из сплавов алюминия электродными проволоками повышенных диаметров (не менее 3,0 мм), что позволяет исключить дополнительные операции, обеспечить качественное начало сварного соединения и, что самое главное, применять полуавтомат ПШ2107 как локальный сварочный инструмент в сварочных автоматах, установках, системах устройств малой механизации.

Модификация полуавтомата ПШ2107 с системой автоматического возбуждения дуги была применена при создании автоматизированного комплекса для многопроходной сварки толстолистовых (толщиной 50,0 мм) алюминиевых шин в системах энергоснабжения магниевых электролизеров. Такая сварка впервые с успехом осуществляется в условиях монтажа на действующих объектах в строго ограниченном по требованиям технологии производстве временном интервале.

Модификации полуавтомата ПШ2107 с системой регулирования по скважности и при оптимальном соотношении параметров дугового процесса приме-

няли в сочетании с устройствами малой механизации (автоматическое перемещение шлангового держателя полуавтомата) при сварке электродными проволоками диаметром 1,0—1,2 мм вертикальных угловых соединений тонколистовых стальных металлоконструкций толщиной 1,0—2,0 мм (рис. 1).

На рис. 2 приведен новый полуавтомат ПШ2107. Шланговый держатель для подачи алюминиевой электродной проволоки, выполненный на основе серийного держателя, выпускаемого заводом механического оборудования (г. Ильница), имеет усиленные механические узлы для стыковки с механизмом подачи полуавтомата и существенно увеличенную длину, что повышает надежность и удобство эксплуатации полуавтомата в целом [5]. Новый держатель успешно прошел испытания при сварке разными по механическим свойствам электродными проволоками на различных режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев В. А., Пичак В. Г. Новое модульное оборудование для дуговой механизированной сварки, наплавки и резки плавящимся электродом // Сварочное производство. 1997. № 7. С. 32—36.
2. Применение полуавтоматов блочно-модульной конструкции типа ПШ107 для сварки, наплавки и резки сталей и алюминия / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, В. Г. Пичак и др. // Автоматическая сварка. 2004. № 4. С. 32—37.
3. Современное механизированное дуговое оборудование для сварки сплавов алюминия и сталей для выполнения специальных работ в ОАО "АВИСМА — титано-магниевый комбинат" / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, И. А. Сизиков и др. // Сварка и контроль — 2004. Пермь, 2004. С. 217—222.
4. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф. Выбор оборудования для механизированной дуговой сварки, наплавки и резки // Автоматическая сварка. 2000. № 2. С. 50—55.
5. Полуавтомат для дуговой сварки плавящимся электродом алюминия и его сплавов / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, А. А. Рогаткин и др. // Автоматическая сварка. 1997. № 11. С. 51—56.

УДК 621.791:006

В. А. КРОШКИН, канд. техн. наук, **В. И. КУРИЛО**, инж.
ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры", Волгоград

Новые нормативно-технические документы по сварке сплавов на железоникелевой и никелевой основе и ремонту отслоений двухслойных сталей

ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры" совместно с ОАО "ВНИИНЕФТЕМАШ" и ОАО "НИИХИММАШ" в 2006 г. разработал для заводов газонефтехимического машиностроения и нефтеперерабатывающих заводов два новых нормативно-технических документа по сварке

и ремонту сосудов, аппаратов и трубопроводов, которые содержат необходимые дополнения к базовым НТД (ОСТ 26-291 94, 26.260.3—2001, 26.260.480—2003, СТП 26.260.486—2005, ОСТ 26-01-858—94).

СТО 00220368-008—2006 "Изготовление деталей

и узлов из коррозионно-стойких сплавов на железоникелевой и никелевой основе, разнородных соединений и двухслойных сталей с плакирующим слоем из сплавов 06ХН28МДТ, ХН65МВ и Н70МФВ-ВИ. Типовой технологический процесс".

Стандарт содержит рекомендации по заготовительным операциям, холодной гибке, правке (калибровке) обечаек и штамповке днищ. Приведены режимы нагрева, выдержки и охлаждения при штамповке заготовок днищ из коррозионно-стойких сплавов. Отмечены особенности сварки деталей и узлов из сплавов на железоникелевой и никелевой основе.

Приведены наиболее часто применяемые импортные марки сплавов и сварочные материалы — аналоги отечественных.

Стандарт включает рекомендации по выбору оптимальных форм разделки свариваемых кромок, требования к сборке, последовательности, режимам и технологии аргонодуговой сварки, ручной дуговой сварки, автоматической сварки под флюсом.

Приведены требования по сварке и термической обработке разнородных соединений. В стандарте впервые даны рекомендации по сварке разнородных соединений сплавов с теплоустойчивыми ста-

лями типа 12ХМ и 15Х5М, ферритными сталями 08Х13, 08Х17Т, 15Х25Т, сплавами на железоникелевой основе.

Документ содержит рекомендации по контролю качества и исправлению дефектов сварных соединений.

СТО 00220368-009—2006 "Ремонт отслоений плакирующего слоя из коррозионно-стойких сталей и сплавов, выявленных в процессе изготовления двухслойных листов и биметаллических аппаратов с основным слоем из углеродистых, низколегированных и хромомолибденовых сталей. Типовой технологический процесс".

Стандарт определяет порядок контроля отслоений, способы и подробную технологию их ремонта, включая ремонт электрозаклепками, шпоночными швами, методом наплавки, а также комбинированным методом. Даны рекомендации по выбору способов ремонта и условий их применения.

В документе изложены требования к контролю качества мест ремонта отслоений. Приведены импортные аналоги отечественных основных и сварочных материалов.

По вопросу приобретения новых НТД следует обращаться по адресу: 400005, Волгоград, пр. Ленина 90Б, ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры", контактный тел./факс: (8442)-23-35-93.

реклама

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА
ФОРСАЖ
INVERTER

НА ТОК
125А 160А 250А 315А 500А

- ★ РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА (ММА)
- ★ МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА (MIG/MAG)
- ★ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА (TIG)

производим поставку оборудования, аттестованного НАКС

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РЯЗАНСКИЙ
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД

390000, Рязань,
ул. Семинарская, 32. ГРПЗ
тел.: (4912) 29-84-53 (многоканальный)
факс: (4912) 29-85-16
e-mail: info@grpz.ru
www.grpz.ru

ТЕХНОЛОГИЯ XXI
сварки века

Публикуется на правах рекламы

Д. А. ЗАВАЛИНИЧ, инж.

(ОАО "Черномортранснефть", Новороссийск),

О. И. СТЕКЛОВ, д-р техн. наук

(РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина),

О. В. ДЗЮБА, инж., В. Г. ЛОЗОВОЙ, инж.

(ООО НПЦ "Сварочные материалы", Краснодар),

В. А. ЩЕГОЛЕВ, инж. (ОС СК "ТехноТЭК", Москва)

Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов

Электроды общего назначения, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 9466—75, широко применяют в России и странах СНГ для сварки металлоконструкций. Однако данный ГОСТ не учитывает специфику сварки и ремонта нефтепроводов, что не позволяет целенаправленно применять электроды без специальной их проверки и аттестации. Такая аттестация в России импортных и отечественных электродов в системе АК "Транснефть" проводится в институте ВНИИСТ (Москва), а в системах РАО "Газпром" и "Стройтрансгаз" — в институте ВНИИГАЗ (Москва). Дополнительно аттестуемые для ремонта и трубопроводного строительства отечественные электроды испытывают на соответствие их требованиям Ростехнадзора согласно РД 03-613-03. Такая перекрестная система аттестации ужесточает оценку и гарантирует большую объективность результатов испытаний.

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

В данной работе обобщен опыт капитального ремонта магистральных трубопроводов с использованием импортных и отечественных электродов, на основании которого приводятся нижеследующие рекомендации.

Выбор сварочного материала для каждого конкретного случая их применения осуществляется в зависимости от:

— класса прочности и типоразмера свариваемых труб;

— требований к механическим свойствам сварных соединений, выполненных с их использованием;

— условий прокладки нефтепровода и наличия специальных требований к сварным соединениям;

— сварочно-технологических свойств сварочных материалов конкретных марок;

— схемы организации сварочно-монтажных работ и требуемого темпа их выполнения.

В табл. 1 приведен указатель регламента электродов согласно РД 153-006-02 для сварки стыков

труб нефтепроводов в зависимости от их класса прочности.

При сварке стыков труб из сталей различных групп прочности сварочные материалы необходимо выбирать исходя из следующих требований:

— при различных значениях толщин стенок — по трубе более высокого класса прочности;

— при одинаковых значениях толщин стенок стыкуемых труб — по трубе менее высокого класса прочности.

Из табл. 1 следует:

— для выполнения корневого слоя шва стыков труб из сталей с 1-й по 4-ю групп прочности необходимо применять электроды с основным покрытием, соответствующие по классификации ГОСТ 9467—75 типу Э50А (Е7016 согласно классификации стандарта AWS А5.1), либо электроды с целлюлозным покрытием типа Э42А и Э46А по ГОСТ 9467—75 (Е6010 согласно классификации стандарта AWS А5.1 и Е6010+);

— для сварки "горячего прохода" (первого заполняющего слоя при сварке корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием) применяют следующие типы электродов с целлюлозным покрытием:

- типа Э42А или Э46А согласно ГОСТ 9467—75 (тип Е6010 по классификации стандарта AWS А5.1 и Е6010+), для выполнения "горячего прохода" стыков труб 1- и 2-й групп прочности;
- типа Э50А согласно ГОСТ 9467—75 (тип Е7010 по классификации стандарта AWS А5.1 и Е6010+), для выполнения "горячего прохода" стыков труб 3-й группы прочности.

Сварочные материалы для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва должны обеспечивать равнопрочность металла шва с основным металлом, и для их выполнения в России преимущественно используют следующие электроды с основным покрытием (см. табл. 1):

- типа Э50А согласно ГОСТ 9467—75 (тип Е7016 или Е7018 по классификации стандарта AWS А5.1), для сварки стыков труб 1- и 2-й групп прочности;

Таблица 1

Область применения	Покрытие, тип по ГОСТ 9467—77, обозначение по AWS A5.1 и A5.5	Группа прочности свариваемой стали, нормативный предел прочности, МПа
Сварка корневого слоя шва	Основное, Э50А, E7016	1—4 до 637
	Целлюлозное, Э42А, Э46А, E6010	
Сварка "горячего прохода"	Целлюлозное, Э42А, Э46А, E6010	1, 2 до 530
	Целлюлозное, Э50А, E7010	3 от 539 до 588
Сварка заполняющих и облицовочного слоев шва	Основное, Э50А, E7016, E7018	1, 2 до 530
	Основное, Э60, E8018, E8016, E8015	3 от 539 до 588
	Основное, Э70, E9018	4 637
	Целлюлозное, Э42А, Э46А, E6010	1 до 490
	Целлюлозное, Э50А, E7010	2 от 490 до 530
	Целлюлозное, Э55, E8010	от 530 до 550
	Целлюлозное, Э60, E9010	3 от 539 до 588

- типа Э60 согласно ГОСТ 9467—75 (тип E8016 или E8018 по классификации стандарта AWS A5.5), для сварки стыков труб 3-й группы прочности;
- типа Э70 согласно ГОСТ 9467—75 (тип E9016 или E9018 по классификации стандарта AWS A5.5), для сварки стыков труб 4-й группы прочности.

Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва могут быть использованы и электроды с целлюлозным покрытием. Но при этом обязательным условием является разработка и согласование соответствующих технологических карт и инструкций по сварке применительно к каждому конкретному объекту строительства, аттестационные испытания технологии сварки, специальная подготовка и аттестация сварщиков. При этом необходимо применять следующие электроды с целлюлозным покрытием:

- типа Э42А или Э46А согласно ГОСТ 9467—75 (тип E6010 по классификации стандарта AWS A5.1 и E6010+), для сварки стыков труб 1-й группы прочности;

- типа Э50А согласно ГОСТ 9467—75 (тип E7010 по классификации стандарта AWS A5.1), для сварки стыков труб 2-й группы прочности;
- типа Э55 согласно ГОСТ 9467—75 (тип E8010 по классификации стандарта AWS A5.5), для сварки стыков труб с прочностью от 530 МПа (класс прочности трубной стали K54) до 550 МПа (класс K56);
- типа Э60 согласно ГОСТ 9467—75 (тип E9010 по классификации стандарта AWS A5.5), для сварки стыков труб 3-й группы прочности.

Перечень аттестованных и рекомендованных РД 153-006-02 электродов с основным покрытием для ручной дуговой сварки неповоротных и поворотных стыков труб из сталей различных прочностных групп и их изготовители приведены в табл. 2, а электродов с целлюлозным покрытием — в табл. 3.

В ОАО "Черномортранснефть" проведены также испытания новых электродов ЛБ-52TRU (ТУ 1272-018-01627014—2002) производства ООО НПЦ "Сварочные материалы". Они сертифицированы Морским Регистром судоходства РФ, Lloyd's Register (Великобритания) и DNV (Норвегия). Разнотолщинность покрытия электродов диаметром 3,0 мм находилась в пределах 0,04—0,08 мм, диаметром 4,0 мм — 0,06—0,10 мм. При падении с высоты 1 м на чугунную плиту покрытие электродов обоих диаметров не разрушалось. Сварочно-технологические свойства электродов проверяли при сварке корневого, заполняющего и облицовочного слоев соединения "катушек" труб размером 530 × 9 и 720 × 10 мм из стали 17ГС1. Рентгеновский контроль не выявил недопустимых дефектов. Шлак легко удалялся из разделки. Обратный валик корневого шва был без подрезов, с минимальными перепадами между чешуйками, внутренняя (лицевая) поверхность корневого валика — без наплывов и большой выпуклости. Облицовочный слой — мелкочешуйчатый и отвечал самым высоким требованиям.

При представленном качестве изготовления электроды ЛБ-52TRU составят серьезную конкуренцию лучшим зарубежным образцам трубных электродов, резко уменьшив импортную в них зависимость стран СНГ при значительно меньшей их цене. Испытания электродов ЛБ-52TRU в Тюменском учебном центре ОАО "Сибнефтепровод" подтвердили заключение испытаний ОАО "Черномортранснефть".

При аттестации технологии сварки трубопровода Россия — Турция "Голубой поток" на участке 56—92-й км были испытаны новые российские целлюлозные электроды "Кубань 6010" и "Кубань 7010" соответственно серии E6010 и E7010 по AWS A5.1. Электродами "Кубань 6010" диаметром 4,0 мм выполняли сварку корневого шва пробного стыка плетей труб размером 1420 × 18,7 мм, а электродами "Кубань 7010" диаметром 4,0 мм — "горячего прохода" этого стыка. Параллельно производили сварку корневого шва и "горячего прохода" такого же стыка электродами "Fleetweld 5P+" диаметром 4,0 мм. Заполнение разделки и облицовочный слой в том и другом случаях выполняли самозащитной проволокой NR-202 (фирма Lincoln Electric, США). Установили,

Номер по порядку	Назначение	Электрод	Диаметр, мм	Фирма-производитель
1	Для сварки и ремонта корневого слоя шва и выполнения подварочного слоя стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно (1—4-я группы)	ЛБ-52У	2,6; 3,2	Kobe Steel (Япония)
2		Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	2,5; 3,2	Bohler-Thyssen Schweisstechnik (Германия)
3		ОК 53.70	2,5; 3,2	ESAB AB (Швеция)
4		ОК 53.70	2,5; 3,0	"ЕСАБ-СВЭЛ" (Россия, Санкт-Петербург)
5		ОК 53.70*	2,5; 3,0	"СИБЭС" (Россия, Тюмень)
6		Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	2,5; 3,2	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
7		Линкольн 16П (Lincoln 16P)	2,5; 3,2	Lincoln Electric (США)
8		МТГ-01К	2,5; 3,0	Сычевский электродный завод (Россия, Сычевка)
9		ЛБ-52TRU	3,0**	ООО НПЦ "Сварочные материалы" (Россия, Краснодар)
10	Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 530 МПа включительно (1- и 2-я группы)	ЛБ-52У	3,2; 4,0	Kobe Steel (Япония)
11		Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Schweisstechnik (Германия)
12		ОК 53.70	3,2; 4,0	ESAB AB (Швеция)
13		ОК 53.70	3,0; 4,0	"ЕСАБ-СВЭЛ" (Россия, Санкт-Петербург)
14		ОК 53.70*	3,0; 4,0	"СИБЭС" (Россия, Тюмень)
15		Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
16		Линкольн 16П (Lincoln 16P)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
17		МТГ-01К	3,0	Сычевский электродный завод (Россия, Сычевка)
18		МТГ-02	4,0	
19		ОК 48.04	3,0; 4,0	"СИБЭС" (Россия, Тюмень)
20		ЛБ-52TRU	3,0; 4,0***	ООО НПЦ "Сварочные материалы" (Россия, Краснодар)
21	ОК 48.04*	3,2; 4,0	ESAB AB (Швеция)	
22	Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности от 539 до 588 МПа (3-я группа)	ОК 74.70	3,2; 4,0	ESAB AB (Швеция)
23		Линкольн 18П (Lincoln 18P)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
24		Кессель 5520 Мо (Kessel 5520 Mo)	3,2; 4,0	Bohler Schweisstechnik Deutschland (Германия)
25		ОК 74.70*	4,0	"СИБЭС" (Россия, Тюмень)
26		МТГ-03	3,0; 4,0	Сычевский электродный завод (Россия, Сычевка)
27		Шварц-3К Мод (Schwarz-3K Mod)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Schweisstechnik (Германия)
28	Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности 637 МПа	ОК 74.78*	4,0	ESAB AB (Швеция)

¹ Сварку подварочного слоя рекомендуется выполнять электродами № 1—8 диаметром 3,0, 3,2 или 4,0 мм.
* Электроды ОК 53.70, ОК 74.70 ("СИБЭС"), ОК 48.08 и ОК 74.78 могут быть допущены к применению только после их периодической аттестации в установленном порядке.
** Свидетельство НАКС № АЦСМ-15-00036 (ВНИИСТ) от 01.02.2006 г.
*** Свидетельство НАКС № АЦСМ-15-00032 (ВНИИСТ) от 01.02.2006 г.

Назначение	Электрод	Диаметр, мм	Фирма-производитель
Для сварки корневого слоя шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 588 МПа (1—3-я группы) и "горячего прохода" стыков труб с нормативным пределом прочности до 530 МПа (1- и 2-я группы)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
Для сварки "горячего прохода" стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 588 МПа (3-я группа), заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности от 490 до 530 МПа (1- и 2-я группы)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	4,0	Lincoln Electric (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 490 МПа (1-я группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности до 530 МПа (1- и 2-я группы)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	3,2; 4,0	Lincoln Electric (США)
Для сварки "горячего прохода", заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 530—550 МПа (К54—К56)	Шилд Арк 80 (Shield Arc 80)	4,0	Lincoln Electric (США)
Для сварки "горячего прохода", заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 539—588 МПа (3-я группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	4,0; 5,0	Bohler-Thyssen Welding (Австрия)

что по технологическим показателям электроды "Кубань 6010" и "Кубань 7010" превосходят электроды "Fleetweld 5P+". К их достоинствам следует отнести и меньший допустимый огарок при сварке в сравнении с импортными электродами, что обеспечивает экономии дорогих целлюлозных электродов. Радиографический контроль не выявил в стыках недопустимых дефектов. По общему мнению специалистов и сварщиков, при освоении промышленного выпуска электродов "Кубань 6010" и "Кубань 7010" и их аттестации во ВНИИСТ и ВНИИГАЗ они с полным основанием найдут широкое применение при сварке трубопроводов, обеспечат ввиду значительно меньшей стоимости экономию средств в трубопроводном строительстве и снижение импортной зависимости в целлюлозных электродах.

Определенный интерес представляет экспериментальная оценка сварочно-технологических свойств импортных электродов для трубопроводного строительства, показатели механических свойств выполненных

ими сварных соединений, данные по химическому составу наплавленного металла, полученные по результатам аттестационных испытаний электродов и обобщения опыта их применения в организациях АК "Транснефть" при сварке неповоротных стыков трубопроводов различных диаметров, толщин стенок и условий сборки. Данные, хотя и носят справочный характер, могут служить ориентировочными для разработчиков сварочных материалов России и стран СНГ, специалистов и сварщиков всех трубопроводных организаций.

Сварочно-технологические свойства электродов с основным покрытием диаметром 3,2 мм для сварки корневого слоя шва приведены в табл. 4.

Химический состав и механические свойства наплавленного металла электродов с основным покрытием для сварки корневого, заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей 1- и 2-й групп прочности приведены в табл. 5.

Таблица 4

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

Примечание. Экспертную оценку проводили при принятом эталоне — электроде ЛБ-52У (Cobe Steel, Япония).

Электрод, тип по ГОСТ и AWS	Химический состав на- плавленного металла	Механические свойства металла шва					
		Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение, %	Поперечное сужение, %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² , при температуре, °С	
						-20	-40
ЛБ-52У Э50А Е7016	0,08 С, 0,86 Мн, 0,64 Si	563	447	24	65	40	40
"Линкольн Электрик" 16П Э50А Е7016	0,07 С, 1,15 Мн, 0,60 Si	530	417	29	70	88	48
Феникс К50Р Мод Е7016	0,07 С, 1,28 Мн, 0,51 Si	520	418	28	63	73	47
OK 53.70 Э50А Е7016	0,05 С, 1,34 Мн, 0,29 Si	524	420	32	75	121	59
5520Р Мод Е7018	0,05 С, 1,07 Мн, 0,56 Si	525	410	27	76	72	35
OK 48.04* Э50А Е7018	0,06 С, 1,15 Мн, 0,50 Si	504	418	30	79	90	55
* Сварка только заполняющих слоев.							

Сварочно-технологические свойства электродов с целлюлозным покрытием диаметром 4,0 мм для сварки корневого слоя шва приведены в табл. 6.

Механические свойства наплавленного металла электродов с целлюлозным покрытием для сварки корневого, заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей 1—2-й групп прочности приведены в табл. 7.

Опыт сварки АК "Транснефть" позволяет выделить также ряд технологических особенностей применения электродов с основным и целлюлозным покрытиями при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.

Сварка корневого слоя шва электродами с основным покрытием осуществляется постоянным током прямой или обратной полярности при минимально возможной длине дуги.

Лучшие результаты достигаются при прямой полярности, что позволяет повысить проплавляющее действие дуги, обеспечив более полное проплавление кромок по сравнению с током обратной полярности.

При соблюдении рекомендуемых условий сборки (зазор и притупление) по периметру стыка сварка током обратной полярности также обеспечивает качественное выполнение корневого слоя, однако проплавляющее действие дуги при этом ниже, чем при сварке током прямой полярности. Проплавление на обратной полярности можно повысить изменением угла наклона электрода (ближе к перпендикулярному к поверхности трубы), увеличением тока на 10—20 А, уменьшением амплитуды поперечных колебаний при заполнении корня шва. Рекомендуемые для основных электродов значения сварочного тока при выпол-

Таблица 6

Сварочно-технологические свойства	Электрод				
	Фокс Цель	Тиссен Цель 70	Флитвелд 5П+	Пайпвелд 6010	Кобе 6010
Пролаивающая способность дуги, формирование обратного валика	5	5	5	4	5
Форма обратного валика	5	5	5	5	4
Отсутствие склонности к образованию непроваров и подрезов	5	5	5	4	4
Отсутствие склонности к образованию продольной плоскости в обратном валике	5	5	5	5	3
Склонность к "залипанию" дуги в процессе сварки	4	4	5	3	3
Примечание. Экспертную оценку проводили при принятом эталоне — электроде Fox Cel (Bohler, Австрия).					

Электрод, тип по ГОСТ и AWS	Типичные механические свойства металла шва					
	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение, %	Поперечное сужение, %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² , при температуре, °С	
					-20	-40
Фокс Цель Э46 E 6010	495	425	26	66	65	—
Флитвелд 5П+ Э46 E6010	520	410	29	67	72	46
Пайпвелд 6010 Э42 E6010	450	360	30	58	45	30
Пайпвелд 7010 Э50 E7010	565	435	25	57	48	27
Тиссен Цель 70 Э46 E6010	505	385	25	61	25	13

нении корневого слоя шва постоянным током обратной полярности приведены в табл. 8.

При толщине стенки трубы до 7 мм для наложения корневого слоя шва необходимо использовать только электроды диаметром 2,5 мм, при большей толщине стенки трубы — электроды диаметром 3,0—3,2 мм.

Сварка корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием осуществляется методом сверху-вниз постоянным током обратной или прямой полярности от источников питания, имеющих специальные характеристики.

Применение тока прямой полярности позволяет уменьшить вероятность образования подрезов и исключить образование вытянутой полой поры в обратном валике.

Для труб диаметром 530 мм и выше с толщиной стенки больше 7 мм при сварке корневого слоя шва следует использовать целлюлозный электрод диаметром 4,0 мм.

Сварка "горячего прохода" выполняется только током обратной полярности.

Величина тока при сварке зависит от конкретной марки и диаметра электрода, толщины стенки свариваемой трубы, пространственного положения при сварке и навыков сварщика. Рекомендуемые значения сварочного тока для сварки корневого слоя шва и "горячего прохода" электродами с целлюлозным покрытием диаметром 4,0 мм приведены в табл. 9.

Техника манипулирования электродом при наложении корневого слоя шва способом сверху-вниз — без колебательных движений при опирании втулочки электрода на свариваемые кромки. При этом в свариваемых

Таблица 8

Диаметр электрода, мм	Ток, А, при сварке в пространственном положении		
	нижнем	вертикальном	потолочном
2,5	50—80	70—90	80—90
3,2	80—90	80—100	90—110

Таблица 9

Электрод	Корневой слой		"Горячий проход"	
	Полярность	Ток, А	Полярность	Ток, А
Флитвелд 5П	-(+)	130—150	==	150—170
Флитвелд 5П+	-(+)	120—140	==	140—160
Тиссен Цель 70	-(+)	130—160	==	170—190
Пайпвелд 6010	-(+)	120—140	==	140—160
Фокс Цель	=(+)	120—150	==	150—180

Обозначения. "=" (+) — постоянный ток прямой (обратной) полярности.

ваемых кромок образуется отверстие (технологическое окно) размером, соответствующим диаметру электродного стержня.

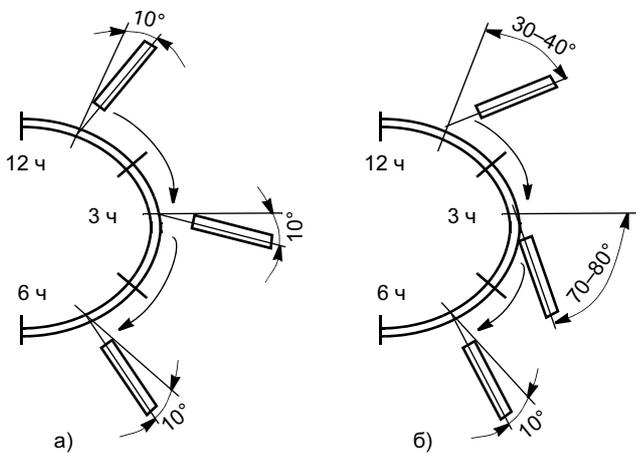
Скорость сварки должна быть максимально возможной (14—18 м/ч), позволяющей избежать прожогов и формировать валик шва над технологическим окном.

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

Угол наклона электрода в месте сварки составляет 10° к вертикали (см. рисунок, поз. а). При этом легко формируется валик шва. При большем угле (свыше 10°) образуется отверстие овальной формы большего размера, что приводит к нарушению процесса образования валика стабильного размера.

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

Для обеспечения качества сварного шва после завершения сварки корневого слоя требуется шлифовка,



Угол наклона электрода при сварке электродами с целлюлозным покрытием: а — корневой слой; б — "горячий проход"

раскрывающая зашлакованные подрезы (карманы) и снимающая чрезмерную выпуклость валика шва.

Сварка "горячего прохода" должна осуществляться не позднее 5 мин после окончания сварки корневого слоя шва. Это связано с тем, что для сварных швов, выполненных электродами с целлюлозным покрытием, характерно высокое содержание диффузионного водорода, увеличивающего опасность образования холодных трещин в металле шва и ЗТВ. В связи с высокой скоростью диффузии водорода в различные потенциально опасные для зарождения трещин участки ЗТВ диффузионно-подвижный водород должен быть незамедлительно удален из металла корневого слоя шва.

В связи с этим "горячий проход" необходимо выполнять непосредственно после окончания сварки корневого слоя шва.

Таким образом, основной целью выполнения "горячего прохода" являются удаление диффузионно-подвижного водорода из металла предыдущего слоя и выплавление шлака из карманов, раскрытых после шлифовки корневого слоя шва.

Особенность техники сварки "горячего прохода" заключается в следующем:

— сварку необходимо выполнять на максимально допустимом для конкретной марки электродов сварочном токе;

— электрод не должен опираться на свариваемые кромки, его необходимо отделить от сварочной ванны на короткое время, а затем погрузить в ванну в месте нижней границы кратера. При этом электроду придается вращательное движение при переменной длине дуги, позволяющее выплавить шлак из зоны сварки. Угол наклона электрода зависит от пространственного положения сварки и составляет в вертикальном положении (3 ч) 70—80°, в горизонтальном — 30—40° и потолочном 10° (см. рисунок, поз. б).

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

Основные дефекты, возникающие при сварке корневого слоя шва и "горячего прохода" электродами с целлюлозным покрытием, приведены в табл. 10.

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

К основным сварочно-технологическим характеристикам относятся:

- проплавляющая способность электродов и способность выплавлять дефекты предыдущего слоя;
- производительность наплавки;
- отделимость шлака;
- мелкочешуйчатость шва;
- технологичность электрода при сварке облицовочного слоя;
- коэффициент разбрызгивания.

Сварку заполняющих слоев следует осуществлять без перерывов. При этом необходимо контролировать межслойную температуру, которая должна находиться в пределах 20—120 °С.

Послойную зачистку слоев необходимо выполнять шлифмашинками с круглыми металлическими щетками. Облицовочный слой должен иметь выпуклость высотой 1—3 мм. Ширина облицовочного слоя определяется шириной раскрытия кромок плюс 1,0—1,5 мм перекрытия основного металла с каждой стороны.

Основным требованием к электродам для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва по механическим свойствам соединений является обеспечение

Таблица 10

Дефект	Причины возникновения дефекта
Непровар по кромкам в корневом слое	Мал зазор между кромками Велико притупление Наличие смещения кромок Низкий ток Высокая скорость сварки
Подрез в корневом слое	Велик зазор между кромками Большой ток Слишком длинная дуга Неправильная техника сварки Полярность тока
Образование продольной плоскости в обратном валике (усадочные раковины)	Слишком мал зазор (дегазация затруднена интенсивным растворением наплавленного металла в металле основы) Слишком велик зазор между кромками
Шлаковые включения между корневым слоем и "горячим проходом"	Недостаточно сошлифована выпуклость шва Остался шлак в "карманах" Слишком низкий ток Неправильный угол наклона электрода
Пористость при сварке "горячего прохода"	Слишком большая выпуклость корневого слоя шва Остался шлак в "карманах" Слишком высокий ток Слишком длинная дуга

Электрод, тип по ГОСТ и AWS	Химический состав наплавлен- ного металла	Типичные механические свойства металла шва					
		Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение, %	Попереч- ное суже- ние, %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² , при температуре, °С	
						-20	-40
Кессель 5520 МоЭ60 E8018-A1	0,08 С, 1,2 Мн, 0,3 Si, 0,5 Мо	640	523	24	66	—	38
ОК 74.70 Э60 E8016-03	0,07 С, 1,43 Мн, 0,41 Si, 0,38 Мо	625	525	27	72	79	51
Линкольн 18П Э6 E8018-0	0,05 С, 1,33 Мн, 0,3 Si, 0,77 Ni, 0,32 Мо	645	535	27	71	85	66
Шварц 3К Мод Э60 E8015-A1	0,08 С, 1,20 Мн, 0,30 Si, 0,45 Мо	620	530	23	68	53	39

Таблица 12

Показатель	Электрод								
	ОК 53.70	Линкольн 16П	Феникс К50Р	ОК 48.04	Кессель	ОК 74.70	Линкольн 18П	Шварц 3К Мод	ВСФ-65М
	Сварочный ток 160 А				Сварочный ток 180 А				
Производительность наплавки, кг/ч	1,34	1,27	1,45	1,54	1,50	1,40	1,65	1,50	1,42

равнопрочности металла шва с основным металлом. Это означает, что фактический предел прочности металла шва должен быть не ниже нормативного временного значения прочности свариваемой трубной стали, обозначенного в соответствующих технических условиях на трубы или детали трубопроводов.

Дополнительным требованием является обеспечение требуемого уровня вязкопластических свойств, если к сварным соединениям конкретного нефтепровода таковые предъявляются.

Химический состав наплавленного металла и механические свойства металла шва электродов с основным покрытием для сварки заполняющих и облицовочных слоев стыков труб из сталей повышенной прочности (3-я группа) приведены в табл. 11.

Производительность наплавки электродов для сварки заполняющих слоев стыков труб 1—3-й групп прочности электродами диаметром 4,0 мм приведена в табл. 12.

Приведенные в табл. 4—11 данные свидетельствуют о том, что обычно электроды с наиболее высоким баллом по сварочно-технологическим свойствам имеют при этом довольно низкий уровень вязкопластических свойств металла шва. В свою очередь, высокие значения ударной вязкости металла шва, характерные для электродов некоторых марок, не сочетаются с такими же показателями по сварочно-технологическим свойствам. Таким образом, выбор электродов должен осуществляться исходя из конкретных задач и усло-

вий ремонта, вида прокладки нефтепровода, климатических условий проведения работ, наличия или отсутствия специальных требований к сварным соединениям нефтепровода по уровню вязкопластических свойств (например ударной вязкости) и др.

Сварку заполняющих слоев следует выполнять без перерывов. При этом необходимо контролировать межслойную температуру, которая должна находиться в пределах 20—120 °С.

Послойную зачистку слоев следует выполнять шлифмашинками с круглыми металлическими щетками.

Облицовочный слой должен иметь выпуклость высотой 1—3 мм. Ширина облицовочного слоя определяется шириной раскрытия кромок плюс 1,0—1,5 мм перекрытия основного металла с каждой стороны.

Реализация приведенных данных по выбору электродов для строительства и капитального ремонта магистральных нефтепроводов, реконструкций по особенностям их применения в сочетании с обязательной аттестацией сварщиков и жестким контролем качества соединений позволяет организациям АК "Транснефть" с высокой гарантией проводить безаварийную эксплуатацию нефтепроводов в России и за рубежом.

Авторы надеются, что приведенный анализ использования современных электродов при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов в системе АК "Транснефть" будет полезным для отечественных разработчиков сварочных электродов.

**В. П. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, И. Н. ПАШКОВ, д-р техн. наук,
Ю. И. БЕРЕЗНИКОВ, канд. техн. наук, И. И. ИЛЬИНА, канд. техн. наук,
В. П. ПЛАУНОВ, канд. техн. наук**

Пайка. Этапы и направления развития (к образованию некоммерческого партнерства "Союз профессиональных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова")

Развитие пайки в первой половине XX века

Известный человечеству с древнейших времен способ соединения металлов — пайка — получил широчайшее распространение во всем мире. В начале XX века развитие автомобилестроения и авиационной техники значительно расширило области применения пайки. Ювелирное производство перестает быть приоритетной областью ее приложения. Пайка становится прогрессивным технологическим процессом, в частности, в массовом производстве радиаторов, бензиновых баков, свечей зажигания, электроламп, элементов авто- и авиаприборов.

В период Первой мировой и гражданской войн пайкой восстанавливали стальные и медные трубопроводы, охлаждающие рубашки цилиндров, кулачковые валики ("сварены на медь"), стальные картеры авиамоторов в тыловых и войсковых подвижных мастерских.

В 1925 г. утверждаются первые стандарты на серебряные и медно-цинковые припои. Прогресс в развитии пайки начался с разработкой в 1929 г. Ф. А. Цандером первого реактивного двигателя, при изготовлении многих узлов которого использовалась пайка. Основой двигателя ОР-1 послужил сопловой аппарат паяльной лампы, ставшей родоначальницей советских реактивных двигателей. В период с 1934 по 1939 г. С. Н. Лоцманов разработал основы теории и практики пайки алюминиевых сплавов.

Сергей Николаевич Лоцманов (02.04.1906—20.01.1984) — выходец из многодетной семьи потомственных уральских металлургов в восьмом поколении. С 13 лет работал на Верх-Исетском заводе, учился в землеустроительном техникуме и почти семь лет работал по этой специальности. С 1930 по 1933 гг. обучался и затем преподавал в Ленинградской авиационно-технической школе им. К. Е. Ворошилова. Одним из его увлечений была рационализаторская и изобретательская работа, которая стала его университетом в области изобретательства. С. Н. Лоцманов являлся активным участником группы по изучению реактивного движения (ЛЕНГИРД). Именно тогда он пришел к мысли о необходимости проведения исследований по пайке металлов.

В 17-м томе отечественной технической энциклопедии (1932 г.) помещена статья "Теория процесса паяния", содержащая начала металловедения пайки. Однако достоинства пайки использовались в узко ограниченных областях техники. Пайка, по мнению руководителей промышленности, являлась процессом устаревшим, ремесленным, отсталым, непродуцибельным.

В 1934 г. постановлением Совета труда и обороны было предусмотрено максимальное внедрение сварки в основных отраслях промышленности, в том числе и авиации, и организация кафедр сварки во всех металлургических и машиностроительных институтах страны.

В одной из первых монографий по сварке авиационных материалов, изданной в 1939 г., М. В. Поплавко обобщает

отечественный и зарубежный опыт пайки сталей различных классов с помощью меди в диссоциированном аммиаке. Автор отмечает высокие показатели этого прогрессивного процесса и распространенность его в авиапромышленности ряда стран.

Во второй половине 30-х годов советские ученые В. П. Вологдин и М. Г. Лозинский разработали новую технологию скоростной высокопрочной пайки авиационных деталей и боеприпасов при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ). Уже в 1941 г. в лаборатории В. П. Вологодина был создан станок-автомат для пайки ТВЧ в вакууме свечей зажигания двигателей внутреннего сгорания [1].

В 1934 г. С. Н. Лоцманова зачислят в ВВИА им. Н. Е. Жуковского. На кафедре технологии металлов, организованной профессором П. Н. Львовым, он планирует проводить эксперименты по пайке. Главным направлением исследований явилась идея профессора Н. В. Гевелинга о целесообразности применения алюминия и его сплавов в авиации, сдерживаемого отсутствием флюса и припоя, позволяющих надежно паять алюминиевые конструкции.

С. Н. Лоцмановым были разработаны припой, флюс и технология пайки алюминиевых сплавов. Работа была апробирована в 1939—1940 гг. и позволила в годы Великой Отечественной войны возвращать в строй силами полевой ремонтной службы ежедневно в среднем до 2500 самолетов.

В научных трудах М. В. Поплавко и С. Н. Лоцманова показано, что сварка и пайка не исключают, а дополняют друг друга в достижении качества и оперативности работ в экстремальных ситуациях.

В 1950 г. С. Н. Лоцманову присуждают Государственную премию, а в 1951 г. он защищает кандидатскую диссертацию и становится достойным преемником методологии и научно-педагогической школы профессоров П. Н. Львова и Н. В. Гевелинга [1, 2].

Роль С. Н. Лоцманова в развитии ракетно-космической техники

Послевоенное время было ознаменовано бурным развитием науки и техники, подъемом всех отраслей народного хозяйства. Начали решать задачу по использованию атомной энергии и осуществлять мечту человека о полете в космос. В 1947 г. руководством ВИАМ принято предложение С. Н. Лоцманова о создании в лаборатории сварки направления по разработке припоев и флюсов, которым он руководил 10 лет.

В статье сборника, посвященного 50-летию юбилею ВВИА им. Н. Е. Жуковского, С. Н. Лоцманов написал: "Исследования по изысканию новых способов высокопрочной пайки металлов были продолжены рядом моих учеников, защитивших диссертации в области пайки. Первым был Виктор Петрович Фролов. Затем последовали Р. Е. Есенберлин, Р. А. Ульянов, А. Г. Каримов, В. А. Горохов, Я. М. Каневский, А. Т. Лысенко, диссертации которых были посвящены разработке технологии ремонта боевой техники с примене-

нием высокопрочной пайки, а также изысканию припоев, газозавых сред и новых способов пайки алюминиевых, магниевых и титановых сплавов".

Становление технологии пайки в ракетно-космической технике связано с созданием мощных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), обеспечивших приоритетный для страны запуск в космос с 1957 г. первых искусственных спутников Земли и первый полет Ю. А. Гагарина в космос в 1961 г.

В 1947—1950 гг. во время проведения стендовых и летных испытаний двигателей РД-100 и РД-101, в которых широко использовались высокопрочные коррозионно-стойкие стали, обнаруживали дефекты в виде трещин в сварных соединениях многих агрегатов, в том числе бака "Т", цветного трубопровода, рамы, распылителя, клапанов и др. Особенно опасными были трещины с внутренней и наружной сторон форсуночных головок камер сгорания, неоднократно приводящие к аварийному исходу испытаний. В общей сложности более 130 двигателей не выдержали испытаний из-за разрушения сварных швов [3].

В 1950 г. в ОКБ "Энергомаш" для проработки комплекса научно-технологических проблем была организована специальная лаборатория по пайке под руководством В. П. Глушко. Сложность стоящих перед коллективом задач заключалась в том, что "методы пайки не соответствовали требованиям ракетного производства: для сплавов, применяемых в ЖРД, отсутствовали высокотемпературные припои и надежные методы защиты от окисления в процессе пайки, не было специализированного термического оборудования, обеспечивающего равномерный нагрев крупногабаритных изделий сложной формы. Отсутствовали сведения о характере взаимодействия припоев и защитных атмосфер с конструкционными материалами и о надежности работы паяных соединений. Эти и многие другие вопросы безотлагательно требовали решения" [4].

Экспериментальные и плановые задания по сварке и пайке узлов ЖРД в период с 1947 по 1975 г. возглавлял главный металлург, лауреат Ленинской премии, канд. техн. наук К. М. Поляков. В 1956 г. в Научно-исследовательском институте технологии машиностроения (НИИТМ) была организована лаборатория пайки, научным руководителем которой стал С. Н. Лоцманов.

Создание первой специализированной лаборатории под руководством С. Н. Лоцманова положило начало формированию научной школы пайки конструкционных материалов в СССР.

В сравнительно короткое время было сконструировано и изготовлено уникальное, принципиально новое технологическое оборудование для пайки узлов ЖРД, разработаны теория легирования припоев, составы и методы изготовления высокотемпературных жаро- и коррозионно-стойких припоев в виде фольги, покрытий, организовано их промышленное производство и внедрение.

В этих работах принимали активное участие Московский институт стали и сплавов, Всероссийский институт легких сплавов, ИМЕТ им. А. А. Байкова, ВИАМ, ЦНИИЧермет, Московский завод по обработке цветных металлов и др.

Претерпевает бурное развитие и служба пайки в ОКБ В. П. Глушко, из которой вышли ученые и специалисты В. В. Бондарев, Г. А. Григорьев, Ю. Л. Красулин, В. А. Кузнецов, А. Я. Куфайкин, Л. А. Маркович, В. В. Сагалович, А. Н. Чадов, М. В. Шибалов и В. Н. Семенов, получивший впоследствии диплом на открытие по результатам исследований трещинообразования в жидком металле при пайке высоколегированных сплавов.

В результате проведенных работ был осуществлен переход на применение пайки вместо сварки при разработке всей последующей номенклатуры двигателей. В настоящее время большая партия ЖРД-180, не имеющих аналогов в мире, по контракту поставляется в США.

С. Н. Лоцманов, А. И. Каркер, Н. С. Шнякин и др. были удостоены в 1966 г. Ленинской премии за работы по внедрению пайки при изготовлении ЖРД.

Большая группа ученых-паяльщиков в сотрудничестве с С. Н. Лоцмановым начала разработку основ теории и технологии пайки современных конструкционных материалов, на их счету были десятки внедренных изобретений. Среди них Ю. И. Березников, В. М. Гостенина, В. А. Ермолов, О. Г. Кудашов, Н. М. Петренко, Н. Н. Сирченко, И. К. Скляр, А. А. Сулов, Г. П. Теслин, И. П. Чекунов, О. П. Шлыков и др. [4, 5].

С середины 50-х годов новым направлением научной деятельности В. П. Фролова и С. Н. Лоцманова стала разработка решетчатых крыльев под руководством проф. С. М. Белоцерковского. Требовалось освоить изготовление новых аэродинамических поверхностей, имеющих ряд неоспоримых преимуществ перед монопланными крыльями.

После проведения совместных исследований в 1961 г. вышла в свет первая монография, авторами разделов по выбору конструкционных материалов и вариантам технологии изготовления решетчатых крыльев были С. Н. Лоцманов и В. П. Фролов.

А. Д. Надирадзе, С. П. Королев, Л. В. Люльев, Б. И. Шавырин, С. П. Непобедимый и другие выдающиеся ученые впервые применили новые конструкции крыльев при создании ракетных, оперативно-тактических и космических систем, не имеющих аналогов в мире. Более 20 крупных разработок не утратили и поныне своего значения [6].

Особо следует отметить создание станции сверхдально-го обнаружения и перехвата воздушных целей общей массой 5000 т, изготовленной из алюминиевого сплава пайкой.

В начале 60-х годов были разработаны основы теории пайки алюминиевых сплавов в вакуумных печах [7] для изготовления ряда ответственных узлов ракетно-космической техники: теплообменных аппаратов систем терморегулирования, теплоотводящих элементов приборных узлов, крыльчатых турбонасосных агрегатов, волноводов и др. Этот процесс впоследствии нашел широкое применение при изготовлении теплообменников в транспортной и сельскохозяйственной технике, нефтегазовой и химической промышленности, компрессоростроении, медицине и других отраслях [8].

Создание комитета пайки секции сварки при НТО Машпром

15—16 декабря 1960 г. в Политехническом музее на научно-техническом совещании по пайке металлов под эгидой Секции сварки ЦП НТО Машпрома были заслушаны и обсуждены 17 докладов специалистов ведущих отраслей страны, посвященных новым направлениям технологического обеспечения основ создания новейшей техники.

В преамбуле решения научно-технического совещания [9] отмечалось: "В США имеется ряд фирм, проводящих научные исследования по пайке и готовящих специалистов в этой области. В СССР нет ни одного научно-исследовательского института пайки и нет ни одного вуза или техникума, который бы выпускал специалистов по пайке, не считая МАТИ, где курс пайки читается, но в недостаточном объеме". Поэтому в постановляющей части решения указывалось: "В связи с острым недостатком специалистов по пайке просить министра Высшего образования СССР т. Елютина В. П., министра специального и среднего образования РСФСР т. Столетова В. Н., председателя Госкомитета СМ СССР по профессиональному техническому образованию т. Зеленко Г. И. организовать подготовку специалистов по пайке в вузах, техникумах и ремесленных училищах".

Данное решение было разослано во все заинтересованные правительственные учреждения и ответственным лицам. Директор ИЭС им. Е. О. Патона, академик АН СССР Б. Е. Патон эту идею в беседе с С. Н. Лоцмановым поддер-

жал, как логическую и обоснованную. Однако решение вызвало неоднозначную реакцию Госкомитета по науке и технике: предложили "прекратить заниматься не своим делом". Тем не менее позитивную роль это решение сыграло. Были открыты специализации на четырех кафедрах 44 технических вузов СССР.

В 1961 г. был организован Комитет пайки Секции сварки при НТО Машпром. Его председателем единогласно избрали С. Н. Лоцманова, а заместителем — В. П. Фролова, который с 1973 г. по настоящее время и осуществляет это руководство. С 1967 по 2002 г. работе Комитета пайки активно содействовала ведущий специалист МДНТП и ЦРДЗ общества "Знание" РФ Н. Б. Певзнер.

Совместно с МДНТП ежегодно проводились в разных городах СССР научно-технические семинары и конференции с изданием сборников. Начали издаваться учебники, справочники, монографии по пайке. Более активно подключился к работам по пайке ИЭС им. Е. О. Патона. В журналах "Сварочное производство", "Заводская лаборатория" и др. публиковались материалы по пайке.

Организация кафедры пайки в Тольяттинском политехническом институте (ТПИ)

Всесоюзный заочный машиностроительный институт (ВЗМИ) вошел в число четырех вузов, где была введена специализация по пайке металлов. В 1964 г. И. Е. Петрунин, ученик С. Н. Лоцманова, назначается на должность проректора вуза по научной работе. По его инициативе в высшей школе страны в начале 60-х годов была введена специализация по пайке, подготовка аспирантов в этой области, выпущены в свет многочисленные методические разработки, учебная и справочная литература, а также разработана научная терминология пайки [1, 2]. Так, в 1966 г. издан первый в стране учебник для технических вузов С. Н. Лоцманова и И. Е. Петрунина "Пайка металлов".

Следует отметить важную роль в исследованиях, выпуске монографий и последующих трудов, опубликованных в периодических изданиях, одного из активных членов Комитета пайки С. В. Лашко, защитившей докторскую диссертацию в 1965 г. С 1969 по 1974 г. она становится заведующим первой и единственной в стране кафедрой "Оборудование и технология пайки" в ТПИ.

Работы С. В. Лашко [10, 11] посвящены физике металлов, металловедению, технологии сварки и пайки.

В последующие годы руководство кафедрой и обеспечение ее научно-педагогической деятельности осуществляли д-р техн. наук Б. Н. Перевезенцев, а затем канд. техн. наук А. Ю. Краснопевцев.

Научные школы и центры исследований

Характерный стиль школы С. Н. Лоцманова заключался прежде всего в применении при решении той или иной проблемы эвристических методов, построенных на использовании правил, аналогий, приемов упрощений, обобщающих опыт экспериментатора, технолога и металловеда, специалиста в физической химии и электротермии, эксплуатационника-испытателя и авиаремонтника, хорошо знакомого со спецификой предприятий, производящих и восстанавливающих оборонную технику. С течением времени в исследованиях стали играть все более заметную роль методы математического моделирования реальных явлений и процессов, протекающих при пайке.

С середины 50-х и до конца 90-х годов несколько независимых научных школ активно вели исследования по созданию новых титановых сплавов и разработке эффективных процессов пайки перспективных материалов.

В области ремонта и производства боевой техники проводились исследования в ВВИА им. Н. Е. Жуковского и НИИТМе с участием С. Н. Лоцманова, д-ра техн. наук И. И. Корнилова

и д-ра техн. наук М. В. Мальцева, Ф. Ф. Соколова, И. К. Складорова и др.

В области авиапромышленности проводили работы в ВИАМе, НИАТе, затем в ТПИ д-ра техн. наук Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко, Б. Н. Перевезенцев.

В решении данной проблемы принимали активное участие коллективы других научных школ: МАТИ им. К. Э. Циолковского (Г. Д. Никифоров, А. Ф. Нестеров, В. В. Редчиц, Ю. С. Долгов, М. И. Оларин, В. И. Григорьевский, В. В. Маханек и др.); ИМЕТ им. А. А. Байкова (А. Я. Шиняев, В. В. Бондарев, В. С. Михеев, И. И. Корнилов); МВТУ им. Н. Э. Баумана (В. М. Ямпольский, В. М. Неровный); Государственном техническом университете (Ростов-на-Дону) (А. А. Чуларис, В. М. Томашевский, М. М. Михайлов) и др.

В итоге во многих случаях полученные результаты превышали зарубежные достижения и являлись уникальными. Так, в НИИД решена задача транспортировки лазерного луча к любому месту пайки с помощью гибкого световода на стационарных лазерных установках "Квант". Светолучевые установки с мобильными горелками в виде дуговых ксеноновых ламп мощностью до 10 кВт, разработанные в МАТИ им. К. Э. Циолковского, позволяют механизировать технологические процессы пайки и сварки, не нарушая экологию окружающей среды [2, 8].

Новые лаборатории пайки

В апреле 1969 г. в НИИ "Криогенмаш" была создана лаборатория пайки, функционирующая одновременно на двух территориях: на Лужниковской набережной и в подмосковной Балашихе.

Предстояло освоить изготовление теплообменных аппаратов из коррозионно-стойких сталей специальных ребристых алюминиевых теплообменников для мощных установок по разделению воздуха.

Заместителем начальника лаборатории был назначен Е. И. Сторчай, который вместе с Н. С. Барановым, Ю. Ф. Шейным и др. приступил к исследованиям в Балашихе, а в Москве вместе с руководителем подразделения работала Ю. И. Березников, Ф. Л. Конопелько, Ю. Г. Александров.

За короткое время после проведения исследований и экспериментальных работ были изготовлены новые конструкции паяных теплообменников, каких еще не было в мире. Новизна разработок была подтверждена 20 авторскими свидетельствами на изобретения.

В настоящее время лаборатория пайки в ОАО "Криогенмаш" под руководством д-ра техн. наук Е. И. Сторчая является головным центром по разработке не имеющего аналогов в мире оригинального оборудования и новых технологических процессов изготовления изделий широкой номенклатуры [19].

На базе созданной С. Н. Лоцмановым лаборатории пайки действующая в настоящее время лаборатория в ОАО "Гелий-маш" проводит исследования по пайке материалов. Имя С. Н. Лоцманова — основателя этого подразделения — не забыто до сих пор.

Пайка на службе научно-технического прогресса

В период с 60-х годов до конца XX столетия в нашей стране бурно развивалась, существенно опережая ведущие индустриальные страны, высокотемпературная пайка неорганических диэлектриков с металлами в электронной промышленности. Разработанные припои и технологии позволили организовать выпуск вакуумно-плотных узлов диаметром от 0,5 до 250 мм. Металлокерамические узлы обеспечивали работу при напряжении 200 кВ при любых токовых нагрузках. Диапазон рабочих температур: от 4 до 1300 К, а для отдельных узлов до 1900—2200 К, механическая прочность 500 кН, а диагностические вводы выдерживали давление до 1200 МПа при температуре 1070—1120 К [8].

На основе выполненных разработок были реализованы в промышленности сверхмощные СВЧ-приборы для

радиолокации, тиратроны для ядерного синтеза, лазеры, в том числе с ядерной накачкой, новые виды вооружений [8, 12, 13].

За указанный период опубликовано более двух десятков книг, несколько тысяч статей, созданы руководства и справочные материалы по технологии изготовления, конструированию и расчетам металлокерамических паяных узлов [14].

Не менее значительные успехи достигнуты в области пайки в атомной энергетике. Разработаны и внедрены паяные конструкции для элементов активных зон транспортных и космических ядерных энергетических установок, реакторов и объектов специального назначения [15].

Высокотемпературная пайка кроме областей спецтехники широко используется в производстве бытовой и торгово-промышленной холодильной техники, кондиционеров, отопителей, обогревателей и различного рода водопроводной арматуры, а также при изготовлении велосипедов, рамы которых паяются латунными припоями.

Во ВНИИАВТОГЕНМАШе, ВНИИ инструмента и ВНИИ твердых сплавов были созданы уникальные технологические процессы и специализированное оборудование для различных способов пайки различных материалов и конструкций, в том числе инструмента различного назначения [16—18]. Например, под научным руководством Г. А. Асиновской на Кировоканском заводе "Автогенмаш" было организовано производство паяных конструкций горелок и резаков объемом до 15 млн шт. в год. При этом экономия серебра составила 1 т в год.

Разработана технология пайки полупроводников на основе халькогенидов сурьмы и висмута с теплообменниками из меди и алюминия, которая позволила значительно повысить эффективность термоэлектрического теплового насоса и снизить массу изделия за счет замены основы теплообменника с меди на алюминий.

Новизна выполненных разработок защищена 57 авторскими свидетельствами, запатентована в США, Англии, ФРГ и Франции [7].

Особо следует отметить работы А. Н. Парфенова по низкотемпературной пайке оловянно-свинцовыми припоями в производстве изделий радиоэлектронной аппаратуры, приборостроении.

Преимущества процесса пайки позволили создать с ее использованием ряд ответственных объектов в химическом, транспортном и тяжелом машиностроении, приборостроении, станкостроении, радиоэлектронной и электротехнической промышленности, в авто- и тракторостроении, легкой и пищевой промышленности и других отраслей.

С применением индукционной пайки и припоев на железной основе в механизированном производстве, разработанных И. Е. Петруниным и его соратниками, изготовлены крупные металлические конструкции:

— элементы стальных опор (вместо сварки) линий электропередач (ЛЭП-500) с более высокой прочностью и долговечностью;

— соединения труб из стали 12X18H9T диаметром от 219 до 426 мм с применением припоев на железо-марганцевой основе при повышенных зазорах, что обеспечило более высокую долговечность в сравнении со сваркой;

— тепловые электронагреватели для компенсаторов объема атомных станций на Армянской АЭС, диагностических кассет на Райнсбергской АЭС (Германия) и Нововоронежской АЭС;

— соединения труб нефтяного сортамента диаметром 219—426 мм при толщине стенок от 12 до 20 мм, причем в ходе обсадки семи скважин использовано около 8 км паяных труб.

Значительные достижения в разработке новых технологий и материалов для производства паяных конструкций определялись заинтересованностью министерств, осуществлявших целевое финансирование отраслевых НИИ. Од-

нако такие узкоотраслевые интересы приводили к разобщенности специалистов, порою работавших над одними и теми же задачами, дублированию и децентрализации исследований, которые лишь частично нейтрализовались программами ГКНТ и Координационным советом при ИЭС им. Е. О. Патона. Отсутствие межотраслевой организации (института или государственного научного центра пайки) тормозило развитие пайки в целом, принося ущерб экономике страны.

Претворение идей С. Н. Лоцманова в отечественной науке и технике

С. Н. Лоцманов является автором 150 изобретений, более 70 справочников, учебников, монографий, научных публикаций. Им подготовлены 45 кандидатов и докторов наук.

Широта планов, смелость мысли, заряд энергии, колоссальная работоспособность притягивали к нему учеников и последователей. Трудно назвать те или иные задачи в области пайки, в решении которых не принимал бы участие сам Сергей Николаевич или его коллеги и сподвижники. Ему удалось под силу претворить в жизнь многие свои мечты, однако непреодолимой осталась стена бюрократических преград на пути к созданию государственного центра пайки.

На научно-технических конференциях и семинарах по пайке, проходящих в последние годы, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук В. П. Фролов — ученик и продолжатель научно-педагогической и общественной деятельности С. Н. Лоцманова — все свои выступления заканчивал одинаково: "Пока мы живы давайте приложим все силы для образования института пайки. Это особенно важно в связи с исполняющимся в 2006 г. 100-летием со дня рождения Сергея Николаевича Лоцманова".

В структуре крупного предприятия ОАО "Мосэнергоремонт" в 2006 г. на хозрасчетной основе образован НИИ пайки (НИИП) России. Директором института назначен академик Русской академии, почетный энергетик СССР, канд. техн. наук И. Е. Петрунин. Основное направление работ института — дальнейшее развитие производства и ремонта крупногабаритных конструкций пайкой припоями на железной основе.

Организационные работы по созданию некоммерческого партнерства "Союз профессиональных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова" (НП "СПП им. С. Н. Лоцманова") возглавил профессор кафедры порошковой металлургии "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского, д-р техн. наук И. Н. Пашков (Адрес НП "СПП": 109383, Москва, ул. Полбина, 45. Интернет Paika.ru, e-mail paika@mail.ru).

Структура НП "СПП" включает совет партнерства, который возглавляет канд. техн. наук Ю. И. Березников. Образованы восемь комитетов: "Авиация, космос"; "Образование"; "Технология машиностроения, инструмент"; "Пайка алюминия и криогенное производство"; "Радиоэлектроника, низкотемпературная пайка"; "Реакторостроение"; "Материаловедение"; "Физико-химические основы технологических процессов". В каждый из комитетов вошли известные ученые-специалисты.

Основными задачами НП "СПП", объединившего в настоящее время два вуза ("МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского и Тольяттинский государственный университет), ООО "МИФИ-АМЕТО" и ЗАО "АЛАРМ", являются:

— объединение усилий ученых и специалистов, работающих в области пайки, для ее развития. Систематизация теоретических и экспериментальных исследований, а также практического приложения пайки в различных областях техники;

— способствование сохранению и приумножению прошлого научного наследия, воспитанию нового поколения специалистов-паяльщиков, расширению и совершенствованию образовательной системы, подготовке молодых специалистов по пайке в вузах страны;

— создание экспериментальной базовой лаборатории, оснащение ее современным оборудованием для обучения студентов и проведения исследовательских работ;

— инициирование, постановка, координация и планирование актуальных теоретических (в том числе фундаментальных) и прикладных исследований в области пайки. Участие в выполнении федеральной целевой программы "Национальная технологическая база";

— планирование и решение вопросов стандартизации в области пайки;

— популяризация достижений в области пайки, проведение семинаров, конференций с опубликованием докладов. Организация периодического издания, отражающего передовой опыт в области пайки, других смежных технологических процессов и деятельность НП "СПП".

Перечисленные направления работы НП "СПП" не охватывают многих других аспектов деятельности, в частности в регионах РФ и по актуальным федеральным программам.

Таким образом, очевидно, что теоретические исследования, изобретения и технологические процессы ученого-новатора, основателя отечественной научно-педагогической школы пайки С. Н. Лоцманова являются базовой основой и ярким примером для новых поколений не только специалистов-паяльщиков, но и работников других областей знаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов В. П. О развитии научно-педагогической школы С. Н. Лоцманова в области производства и ремонта аэрокосмической техники // Роль процессов пайки в создании новой техники. М.: ЦРДЗ, 1996. Ч. 1. С. 31—50.
2. Современное состояние и перспективы развития пайки / В. П. Фролов, И. Ю. Маркова, В. К. Ерошев и др. // Пайка. Современные технологии, материалы, конструкции. М.: ЦРДЗ, 2001. Ч. 1. С. 3—11.
3. Богдановский С. П. Ступени роста. Химки, 2003. 608 с.
4. Куфайкин А. Я., Сагалович В. В., Шибалов М. В. Пайка жидкостных реактивных двигателей и роль С. Н. Лоцманова в ее становлении // Роль процессов пайки в создании новой техники. М.: ЦРДЗ, 1996. Ч. 1. С. 72—77.

5. Сулов А. А. С. Н. Лоцманов — основоположник технологии пайки в ракетно-космической технике // Роль процессов пайки в создании новой техники. М.: ЦРДЗ, 1996. Ч. 1. С. 57—60.

6. Фролов В. П., Плаунов В. П., Чукунов М. И. О роли пайки в создании решетчатых крыльев // Современное состояние пайки. М.: ЦРДЗ, 1999. С. 18—26.

7. Березников Ю. И. Современные процессы пайки алюминиевых конструкций. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978. 62 с.

8. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 480 с.

9. Решение научно-технического совещания по пайке металлов (15—16 декабря 1960 г.). М.: ЦП НТО Машпром, 1960. 6 с.

10. Фролов В. П. Гражданский подвиг д. т. н., проф. С. В. Лашко // Пайка в создании изделий современной техники. М.: ЦРДЗ, ТПИ, 1997. С. 3—14.

11. Абросимова Л. Я. Софья Васильевна Лашко — ученый и изобретатель // Пайка в создании изделий современной техники. М., 1997. С. 14—15.

12. Гладков А. С., Подвигина О. П., Чернов О. П. Пайка деталей электровакуумных приборов. М.: Энергия, 1967. 288 с.

13. Ковалевский Р. Е., Чекареев А. А. Конструирование и технология вакуумно-плотных паяных изделий. М.: Энергия, 1968. 208 с.

14. Ерошев В. К., Козлов Ю. А., Павлова В. Д. Конструирование и изготовление паяных металлокерамических узлов: Справочные материалы. М.: ЦНИИ "Электроника". Ч. 1. 186 с. Ч. 2. 189 с.

15. Понимаеш И. Д., Орлов А. В., Рыбкин Б. В. Вакуумная пайка реакторных материалов. М., 1995. 19 с.

16. Пайка: опыт, искусство, наука / Под ред. В. П. Фролова, В. П. Плаунова, И. Ю. Марковой, И. И. Ильиной. М.: Изд. Альфа Доминанта, 2005. Т. 1. 240 с.; Т. 2. 240 с.

17. Клочко Н. А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. М.: Металлургия, 1981. 200 с.

18. Имшенник К. П., Коротков Ю. В., Иванов И. Н. Составной режущий инструмент. М.: Машиностроение, 1995. 208 с.

19. Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С. Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов // Пайка теплообменной аппаратуры различного назначения. М.: ЦРДЗ, 2006. С. 14—18.

20. Аморфные ленточные припои для высокотемпературной пайки. Опыт разработки технологии и применения / Б. А. Калинин, В. Т. Федотов, О. Н. Севрюков и др. // Сварочное производство. 1996. № 1. С. 16—19.

21. Научные предпосылки и практика производства метастабильных материалов / В. А. Васильев, А. А. Лозован, И. Н. Пашков и др. М.: "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2002. 204 с.

УДК 621.791.92.03

**Е. В. ГОВОРИН, канд. техн. наук
ЗАО "ТЕХИНМАШ" (Москва)**

Установка для метано-кислородного напыления упрочняющих покрытий из порошковых материалов

Основным недостатком ацетилено-кислородного способа нанесения упрочняющих покрытий является повышенная взрывоопасность, обусловленная высокой скоростью распространения фронта ацетилено-кислородного пламени (более 10 м/с) [1—4]. Другой недостаток заключается в высокой стоимости ацетилена.

С этой точки зрения эффективным может быть применение метана, стоимость которого примерно в 30—40 раз ниже стоимости ацетилена, а скорость распространения фронта пламени несколько выше 1 м/с.

При этом плотность метана в 5 раз меньше по сравнению с применяемым заменителем ацетилена — пропан-бутаном [1, 2]. Однако максимальная температура метано-кислородного пламени не превышает 2200 °С [1, 2], тогда как ацетилено-кислородного пламени составляет 3200 °С [1, 2]. В связи с этим конструктивные схемы горелок, разработанные для работы на ацетилене, представляются неприемлемыми.

Сравнительно невысокая скорость распространения фронта метано-кислородного пламени обуслов-

ливаает возможность использования в конструкции горелки сопла с внутренним горением, исключая контакт с окружающей атмосферой, которая снижает температуру пламени и тем самым значительно ухудшает эффективность теплообмена частиц с газовым пламенем.

На основе внутрисоплового горения разработана конструкция горелки порошкового напыления, работающей на смеси метана и кислорода с использованием сжатого воздуха, очищенного от влаги и масла¹. Сжатый воздух применяется для охлаждения сопла и повышения скорости истечения газопорошковой струи. Для равномерной подачи порошка в горелку предусмотрен порошковый питатель², который располагается отдельно от распылительной горелки.

Принцип действия порошкового питателя основан на эффекте всасывания порошка в трубчатый заборник с последующим движением порошка по магистрали под действием динамического напора струи транспортирующего газа. Данный тип питателя позволяет подавать порошки в распылительную горелку с высокой равномерностью, в том числе и порошковые материалы с низкими реологическими свойствами, т. е. порошки, форма частиц которых сильно отличается от сферической (хлопьевидная, осколочная, чешуйчатая и др.).

Конструктивно питатель устроен следующим образом (см. рисунок).

В нижней части резервуара 1 конической формы вблизи дна 2 и параллельно его плоскости расположен трубчатый заборник 3, имеющий на входе срез 4. На выходе заборника крепится инжекторный корпус 5, в котором установлены инжекторная 6 и стабилизирующая 7 иглы. Через отверстие 8 в стабилизирующей игле герметично относительно иглы 6 фиксируется порошковый инжектор 9 соосно со смесительной камерой 10. Соосность обеспечивается стабилизирующей иглой 7. Смесительная камера герметично (посредством резинового кольца 11) крепится в инжекторном корпусе накидной гайкой 12. К смесительной камере крепится соосно с камерой удлинитель 13. На выходе удлинителя имеется резиновая втулка 15, в которой устанавливается полимерный шланг (на рисунке не показан). По этому упругому шлангу порошок перемещается из питателя к порошковому соплу распылительной горелки.

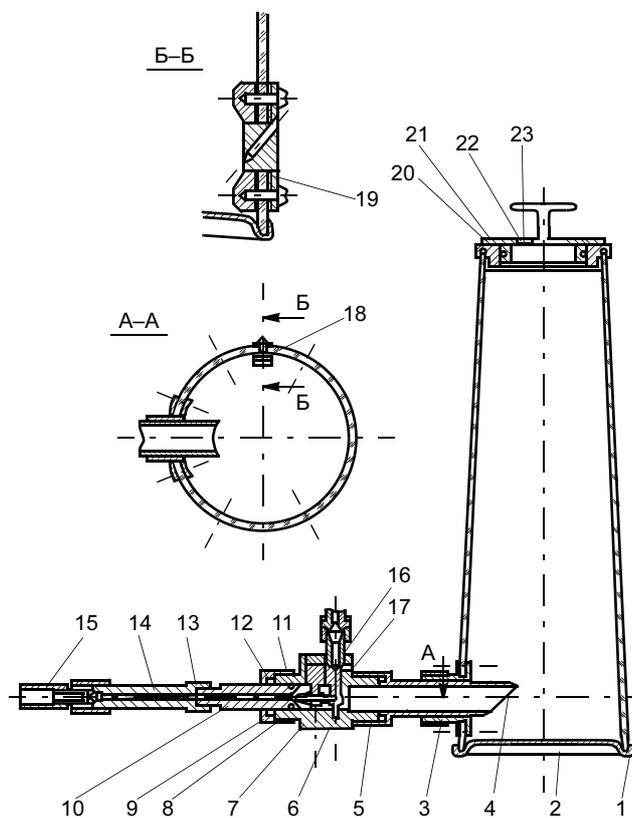
Инжекторная игла 6 крепится к корпусу штуцером 16, в который подается транспортирующий газ — кислород. Игла 8 фиксируется в корпусе винтом 17.

Для дозированного подсоса транспортирующего воздуха из окружающей атмосферы в нижней части резервуара радиально расположены несколько вставок 18 с мелкими отверстиями — дюзами 19.

В верхней части конического резервуара имеется съемная крышка 20 с резиновым уплотнительным кольцом 21. В центре крышки выполнено отверстие 22, заклеенное тонкой бумагой 23, которое играет роль клапана.

¹ Патент 2212953 (РФ).

² Патент 2031741 (РФ).



Конструкция питателя

Порошковый питатель работает следующим образом.

Через штуцер 16 в инжекторную иглу 6 подается кислород под заданным давлением. Этот кислород поступает в инжектор, из сопла которого в виде высокоскоростной струи входит в смесительную камеру. В результате в резервуаре создается разрежение. Под действием возникшего перепада давлений воздуха внутри резервуара и окружающей атмосферы через дюзы 19 подсасывается воздух, который транспортирует порошок к срезу заборника и перемещает его в трубе к смесительной камере, где порошок попадает под динамический напор высокоскоростной струи кислорода из сопла инжектора. Под этим напором порошок с высокой равномерностью транспортируется вначале по смесительной камере, затем по удлинителю и через упругий полимерный шланг достигает порошкового сопла распылительной горелки. Для плавного повышения производительности подачи порошка в горелку достаточно увеличить давление кислорода, поступающего в инжекторную иглу.

В состав установки также входит и пульт управления, предназначенный для управления и контроля подачи газов в распылительную горелку с целью обеспечения заданного технологическим режимом соотношения расходов кислорода, метана и сжатого воздуха.

Пульт управления представляет металлический каркас с передней панелью и задней стенкой. Между ними встроены три манометра давления для контроля за расходом сжатого воздуха, метана и кислорода.

Снаружи задней стенки установлены три штуцера для подсоединения их с источниками соответственно сжатого воздуха, метана и кислорода.

На переднюю панель выведены вентили управления давлением на входе соответственно сжатого воздуха, метана и кислорода. В нижней части пульта расположены штуцера для подсоединения пульта к распылительной горелке.

Техническая характеристика

Рабочее давление применяемых газов, МПа:	
горючий газ (метан)	0,015—0,035
окислитель (кислород)	0,04—0,12
транспортирующий газ (кислород)	0,1—0,4
сжатый воздух	0,55—0,7
Расход применяемых газов, м ³ /ч:	
метан	0,3—0,6
кислород	0,7—1,5
транспортирующий кислород	0,3—0,5
воздух	150—200
Максимальная производительность по напыляемому материалу, кг/ч	6
Коэффициент использования напыляемого материала при напылении на деталь типа вал диаметром 60 мм, не менее, %	80
Вместимость порошкового питателя, дм ³	2
Масса установки без шлангов и порошка, кг, не более	7
в том числе распылительной горелки, кг	1,4

Процесс напыления осуществляется при низких давлениях и расходе как метана, так и кислорода. Это результат применения внутрисоплового горения.

Многолетняя эксплуатация данной установки показала высокую надежность в работе. Полностью отсутствуют обратные удары, а затраты на горючий газ составляют, как правило, 20—30 р. за смену.

Для напыления использовались порошки из различных самофлюсующихся сплавов, сплавов на основе меди, сплавов никеля с алюминием (Н85Ю15, Н70Ю30) и др.

Основное применение — восстановление изношенных поверхностей (посадочных мест, подшипников скольжения, в том числе опорных, штоков, поршней, бандажей и т. п.). Толщина покрытия на телах вращения может достигать 10 мм и более. При этом восстанавливаемая деталь не нагревается выше 80—100 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. М.: Машиностроение, 1966.
2. Нинбург А. К. Газопламенная обработка металлов с использованием газов-заменителей ацетилен. М.: Машиностроение, 1966.
3. Кудинов В. В., Иванов В. М. Нанесение плазмой тугоплавких металлов. М.: Машиностроение, 1981.
4. Хасуй А., Моригаки О. Напыление и наплавка. М.: Машиностроение, 1985.



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РАСКРОЯ МЕТАЛЛА



Оборудование для дуговых способов сварки



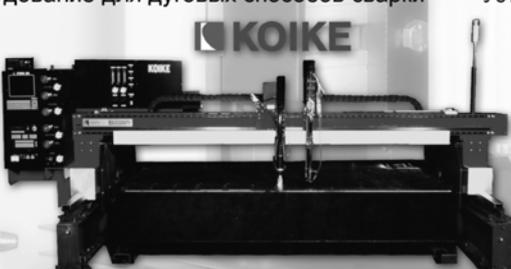
Установки для контактной сварки



Установки для плазменной резки



Установки для плазменной резки



Машины для термической резки



Машины для лазерной резки

Разработка комплексных решений для Вашего производства. Демонстрационные залы. Лизинг

Санкт-Петербург: (812) 326 9246	Екатеринбург: (343) 310 0012	Самара: (846) 273 3515
Москва: (495) 642 6857	Ростов-на-Дону: (863) 299 5019	Новосибирск: (383) 211 2770
Нижний Новгород (8312) 78-54-90	Тольятти: (8482) 51-19-00	Омск: (3812) 33-83-90

Ждем Вас на WWW.DUKON.RU

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:338.4

А. Е. ФАТЕЕВ, д-р экон. наук
ООО "Глобал ЭКСПО"

Некоторые вопросы интенсификации процессов в отечественном производстве

В последнее время предпринимаются меры по стабилизации социально-экономических процессов и восстановлению научного и экономического потенциала, обеспечивающих восстановление реальной мощи государства. При этом важнейшими вопросами являются выработка адекватной социально-экономической и научно-технической политики страны, обеспечение поддержки массового общественного сознания и создание структур и системы управления, способных реализовать поставленные задачи. В этой связи рассмотрим некоторые методические и организационные вопросы, связанные с выработкой предложений по интенсификации процессов в отечественном производстве.

Формирование критериев оценки в процессах интенсификации производственной деятельности

В огромном калейдоскопе экономических понятий, факторов, направлений развития, обсуждаемых в ходе хозяйственных преобразований в стране, целесообразно вычленил и особо рассмотреть такие понятия, как национальная экономика и национальные интересы в условиях глобализации хозяйственных процессов и формирования на базе международного разделения труда мировой экономической системы.

Эти понятия практически мало использовались в лексиконе ранее функционирующей советской системы, поскольку их содержание находилось в противоречии с такими господствующими в тот период положениями, как интернациональный долг, интернациональные задачи и т. п., следуя которым страну втянули в изматывающую хозяйственную и военно-техническую политику, сыгравшую существенную роль в развале сложившейся мировой социально-экономической системы.

Назревшие и проведенные с начала 90-х годов прошлого столетия социально-экономические реформы, определившие методы современной рыночной экономики в индустриально развитых странах и вызвавшие необходимость разгосударствления собственности, в своей "шоковой" реализации не учитывали всей совокупности факторов, действующих в слож-

ной экономической системе индустриально развитых стран. Очевидное и принятое обществом положение, что приватизация как базовая составляющая реформ проводилась в интересах создания должной мотивации в интенсификации производственных процессов в отечественной экономике, было вынесено реформаторами за скобки, и в этих условиях пропагандировалось одностороннее положение о свободе капитала, либерализации экономической деятельности и, таким образом, об использовании капитала там, где есть наибольшая выгода для его владельца.

Именно таким образом и на основе такой односторонней трактовки использования национального капитала после проведения приватизации ушла в небытие социальная ответственность бизнеса перед собственным народом, поддержавшим исходные лозунги кардинальных социально-экономических реформ.

Все эти реализованные в стране положения противоречат сложившейся в последние десятилетия практике социально-экономического развития индустриальных стран, поскольку именно кризисные явления капиталистического хозяйствования первой половины прошлого столетия вызвали необходимость социальной ориентации экономических процессов в рамках национальной экономики. Это обеспечило стабилизацию социальных процессов, высокий жизненный уровень населения этих стран и в свою очередь сыграло существенную роль в развале мировой социалистической системы.

Все это определяет необходимость анализа предшествующего исторического опыта и выработки действенных мер по укреплению социально-экономической базы страны. Можно утверждать, что если не принять во внимание результаты такого анализа, то дальнейшее развитие событий может повторять тенденции первой половины прошлого столетия. Поскольку в процессах формирования эффективного функционирования национальной экономики участвуют два важнейших субъекта — государство и бизнес, они должны учитывать не только собственные ограниченные интересы, как это происходит в настоящее время, но и опыт развития социально-экономических процессов недавнего прошлого, необходимости консолидации всех социально-экономических сил стра-

ны с тем, чтобы не допускать дальнейших катаклизмов в общественном развитии. Именно в таких процессах велика роль государства, проводимой им социально-экономической политики.

Таким образом, многие проблемы, связанные с выработкой социально-экономической стратегии, следует рассматривать, прежде всего, через призму "национальных интересов" и "национальной экономики", поскольку этому нет иной альтернативы, кроме возникновения кризисных явлений.

Принятие этих понятий за базовые и исходные в дальнейшей социально-экономической деятельности позволит как власти, так и бизнесу выработать критерии оценки работы государственных структур, сферы отечественного предпринимательства, структур гражданского общества.

Все это может и должно осуществляться на базе институционализации экономических процессов, являющихся важнейшим механизмом современной постиндустриальной экономики, с учетом того, что такие процессы в настоящее время поддерживаются современными средствами информационных технологий.

Именно при таких условиях будет выстраиваться действенная взаимосвязанная коммуникационная последовательность "власть — бизнес — общество", которая обеспечит решение триединой задачи, выдвинутой президентом России В. В. Путиным и получившей поддержку всего населения — удвоение к 2010 г. ВВП, социальная стабилизация и укрепление безопасности.

Анализ информационной системы страны показывает, что отечественный бизнес развивается преимущественно по законам, признающим либеральную экономическую идею, кстати, имеющую весьма ограниченный диапазон в национальной экономике индустриально развитых стран, и его действия весьма слабо коррелируются с целями "национальных интересов".

Это особенно рельефно проявляется в масштабах вывоза отечественного капитала и официальной реакции на эти вопросы со стороны государственных структур.

Сосредоточение общественной критики на действиях государственной власти, не обеспечивающей должных темпов социально-экономического развития, вполне оправдано, но по своей результативности малоэффективно. Выход из такого положения может быть следующим. Поскольку в сложном процессе реформирования как властных, так и предпринимательских структур нет четких ориентиров и не обозначены критерии, понятные обществу и определяющие национальные интересы, должны быть предприняты действия, связанные с выработкой как эффективной национальной экономической политики, так и системы кардинальных мер по социальной стабилизации. Именно государство должно обеспечить систему мер, связанных с рациональным использованием ресурсов страны в рамках рыночной системы хозяйства. Только развитие национальной экономики на основе отечественного капитала и развитие отечественного предпринимательства за счет создания в должной

мере оплачиваемых рабочих мест может решить всю совокупность социальных вопросов, а рост национального дохода приведет к увеличению государственного бюджета, что в свою очередь позволит поднять на должный уровень жизнь и части населения, связанной с так называемым госбюджетным финансированием.

Труд и его предпринимательская составляющая — важнейшие факторы развития национальной экономики

Процессы перехода к рынку в отечественной "шоковой" интерпретации создали ситуацию неизбежности развала производственной системы в большинстве отраслей производства, прежде всего высоких технологий и обрабатывающей промышленности, непомерную дифференциацию в уровне жизни населения и свели к крайне низкой планке отношение огромных слоев населения к труду вообще как важнейшему фактору производства и к квалифицированному труду в частности.

Добывающие отрасли промышленности, поставляющие минеральные ресурсы страны за рубеж, торговля и финансовый бизнес стали довлеющими направлениями деятельности в стране, которая в недавнем прошлом представлялась, хотя и односторонне, но высокоразвитой в научной и промышленной сфере супердержавой. Эти кризисные явления происходят в течение продолжительного времени, поэтому многие процессы становятся необратимыми. Именно на таких принципах в течение длительного времени при определенном "теоретическом" обосновании было развалено отечественное сельское хозяйство, когда были утрачены навыки к специфическому труду, уничтожавшиеся на протяжении жизни ряда поколений. Такие тенденции в настоящее время формируются во многих других отраслях высоких технологий и обрабатывающей промышленности, а также в бюджетных сферах (образовании, культуре и др.), и их последствия могут проявиться в необратимой форме.

Отметим, что в настоящее время прогресс в экономике страны связывают с проблемой инвестиций, концентрируя внимание на иностранных инвестициях, в то время как отечественный капитал уходит за рубеж. Можно констатировать, что инвестиций, к сожалению, весьма мало, прежде всего, по причинам, отмеченным выше, поскольку в сложившихся условиях их некому реализовывать и в этих случаях потребность в ресурсах подменяется понятием инвестиций.

Инвестиции в условиях рынка требуют наличия предпринимателя, которого в наших российских условиях отождествляют с собственником, когда по всем экономическим канонам, как правило, эти понятия не тождественны.

Отсутствие промышленно организованных предпринимательских систем дополняется хроническим недостатком специалистов всех направлений, которые необходимы в эффективном производственном

процессе — от инженеров всех рангов до рабочих всех направлений специализации и уровней квалификации.

На протяжении послереформенного периода сложилась ситуация, когда массовое экономическое сознание направлено не на совершенствование трудовых навыков, с помощью которых можно и нужно зарабатывать на жизнь, а с методами приватизации, в которых богатство получается "из ничего". Все это напоминает синдром "золотой лихорадки", которая ассоциируется со счастливым случаем и которую пережили ряд стран как старого, так и нового света.

Именно такая идеология навязывается "отцами приватизации", когда широко пропагандируется такой тезис — путь к рынку необходим и закономерен, что очевидно и признано обществом, а если в этой конкретной ситуации ты не преуспел, то таковы законы рынка и это значит, что твои личные качества недостаточны, чтобы достойно существовать в этом "правильном" экономическом мире.

К сожалению, этот софизм ничем и никем не опровергается, что вселяет безнадежность в сознание широких слоев населения.

Именно такая бесперспективность внушается всеми средствами массовой информации, в которых преобладают сюжеты захвата собственности, убийства на почве ее передела, денежные махинации и т. п. Публично признается массовость коррупции и безнадежность борьбы с ней. Практически отсутствует что-либо положительное, отражающее трудовую деятельность на основе отвержения социалистической литературы с производственной направленностью.

Все это подтверждает необходимость выработки и проведения государством социально-экономической политики, направленной на реализацию эффективных рыночных механизмов, опирающихся на рациональную систему хозяйственного законодательства и общественный порядок, поддерживаемый государственными институтами в условиях функционирования структур гражданского общества.

Моральные факторы и этические нормы в новой экономической среде

В условиях современного мирового рынка и конкурентной борьбы вопрос обеспечения высокого качества продукции является первостепенным и определяется тремя факторами: технологическими процессами, организацией производства и человеческим фактором.

В этой связи примерно с середины прошлого столетия во всем мире как в рыночной, так и в централизованной плановой экономике разрабатываются и внедряются специальные системы управления качеством выпускаемой продукции, в которых человеческий фактор признается системообразующим. Отмечая изложенное, можно утверждать, что процессы восстановления и дальнейшего развития научной и индустриальной мощи страны связаны не только и не столько с инвестициями, сколько с огромной совокупностью рассмотренных вопросов, определяемых мно-

гочисленными факторами, наиболее четко представляемыми матричными структурами, т. е. факторами, целями, методами и институтами, действующими как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях.

Рассматривая вопросы человеческого фактора, следует подчеркнуть сложность этого вопроса и необходимость определения должного критерия оценки. При анализе, например, вопросов качества подготовки кадров специалистов в сфере высшего образования, подчеркивается ее высокий уровень, выработанный в предреформенный период, а также дополняется, что все эти результаты настолько хороши, что их использованию практически нет места в сложившемся в стране производстве и эти специалисты, естественно, работают за рубежом. В таком вопросе проявляется отсутствие системного подхода, характерного для большинства сфер отечественной экономической деятельности, который необходимо преодолеть. Такие вопросы следует рассматривать с позиций "национальных интересов", вырабатывая соответствующие критерии оценки.

В заключение отметим, что переход из монолитно организованной и централизованно управляемой экономической системы в современную рыночную — более сложный процесс, чем он представлялся в исходный момент социально-экономических преобразований. Он и продолжает оставаться таким же сложным. Именно поэтому требуется постоянное внимание к вопросам государства, экономической и производственной элиты, массового общественного сознания, поскольку без кропотливой и настойчивой работы в этом направлении невозможно решить эти проблемы.

Уважаемые читатели!

Оформить подписку на свой профессиональный журнал "СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"

Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

Подписные индексы:

70807 — в каталоге

Агентства "Роспечать";

27860 — в Объединенном каталоге;

60256 — в каталоге "Почта России".

УДК 621.791.75.042

А. Б. БЕЛИКОВ, инж.
ООО "ЭСАБ"

Неомедненная проволока ОК AristoRod™ для МАГ-сварки

На протяжении десятилетий для МАГ-сварки использовали омедненные проволоки сплошного сечения. Однако многим пользователям известно, что наблюдается существенный разброс качества МАГ-сварки при использовании проволок различных поставщиков, особенно при механизированной и роботизированной сварке. Высококачественная проволока должна обеспечивать стабильное горение дуги, снижение разбрызгивания металла и устойчивые параметры ее подачи в зону сварки.

Качество подачи является слабым местом для многих омедненных проволок. Во время подачи проволоки при контакте с подающими роликами и из-за трения в проволокопроводе происходит отшелушивание частиц меди с ее поверхности. При нерегулярной чистке проволокоподающей системы это приводит к неравномерности подачи и вынужденным простоям. Качество омедненных проволок определяется в первую очередь прочностью сцепления медного слоя с поверхностью проволоки.

Для того чтобы избежать этих недостатков, многие производители сварочных материалов в восьмидесятые и девяностые годы разработали неомедненные сварочные проволоки. Однако эти проволоки так и не завоевали признания на рынке вследствие подверженности коррозии и высокого износа контактных наконечников горелки, особенно при больших скоростях подачи.

Проволоки AristoRod фирмы "ЭСАБ" являются новым поколением неомедненных проволок для МАГ-сварки, обладающих отличными сварочными характеристиками, особенно для механизированной и роботизированной сварки, благодаря разработке новой технологии обработки поверхности ASC (Advanced Surface Characteristics — современные характеристики поверхности).

Ниже приведены преимущества проволок AristoRod, изготовленных с использованием технологии ASC.

Стабильное прохождение тока от наконечника к проволоке. В результате стабильным становится горение дуги (даже при больших токах), при этом обеспечивается устойчивый капельный перенос с малым разбрызгиванием электродного металла как при сварке короткой дугой (short arc), так и при струйном (мелкокапельном) переносе металла (spray arc). На рис. 1 приведена диаграмма падения напряжения для проволок AristoRod с технологией ASC (кривая 2), обычных неомедненных проволок (кривая 1) и высококачественных омедненных проволок (кривая 3). Технология ASC обеспечивает прохождение тока, аналогичное условиям сварки омедненными проволоками, но с меньшими колебаниями тока и падением напряжения. Это положительно влияет на характеристики возбуждения дуги, которые играют исключительно важную роль при МАГ-сварке с частыми пусками и ос-

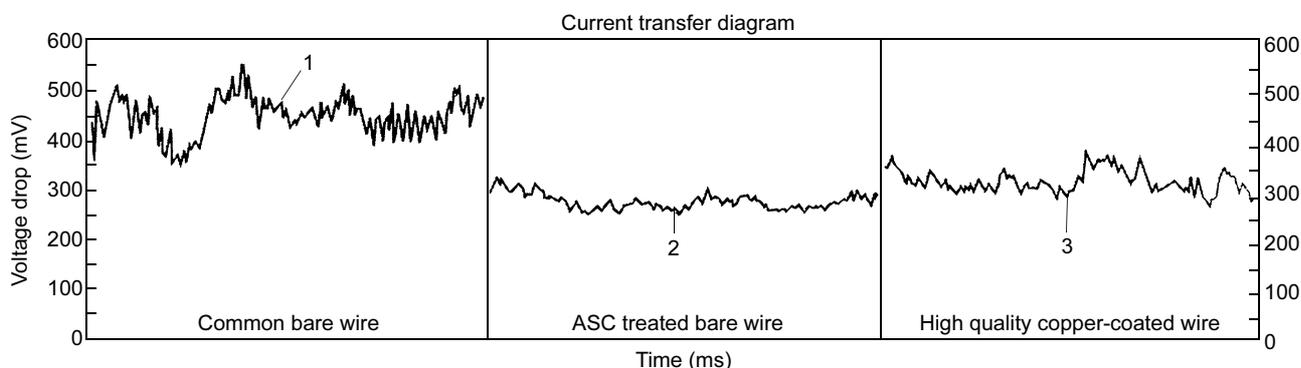


Рис. 1. Графики передачи тока

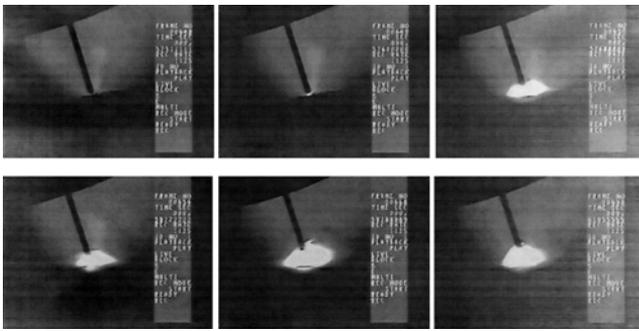


Рис. 2. Высокоскоростная видеосъемка стабильного, без образования брызг процесса возбуждения дуги при сварке проволокой ОК AristoRod

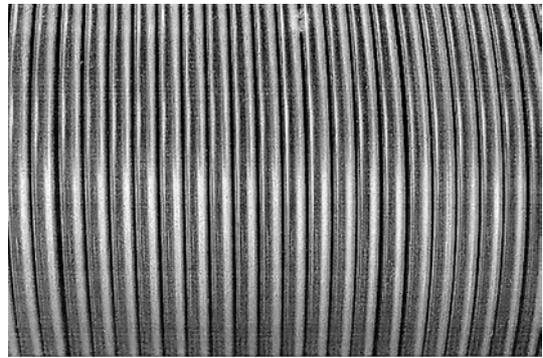


Рис. 4. Поверхность проволоки AristoRod после нахождения в тропических условиях в течение 10 дней

тановами, например при роботизированной сварке (рис. 2).

Уменьшение трения в системе подачи. Результатом является плавная бесперебойная подача без засорения проволокопроводов и горелок. Уровень износа контактных наконечников соответствует износу при использовании лучших омедненных проволок диаметром 1,0 мм (рис. 3).

Отсутствие отложения меди в системе подачи. Уменьшение простоев для очистки.

Поверхность проволоки защищена от коррозии (рис. 4).

При использовании проволоки AristoRod с технологией ASC увеличивается эффективность загрузки сварочного поста и уменьшается разбрызгивание электродного металла, что снижает стоимость процесса. Данные проволоки можно применять для ручной, механизированной и автоматизированной сварки. Преимущества проволок особенно ощутимы при высоких скоростях подачи.

Проволоки AristoRod MAG изготавливают стандартных (G3Si1, G4Si1) типов, а также для сварки высокопрочных и теплостойких сталей. Преимущества проволок AristoRod с технологией ASC особенно прояв-

ляются в молибденсодержащих проволоках, омеднение которых затруднено.

Проволоки AristoRod поставляются в 18-килограммовых мотках (BS 300, EN 759), не требующих переходника, или в упаковках MarathonPac емкостью 250 или 475 кг. Благодаря уменьшению времени простоя для смены проволоки (до 95 %) при использовании упаковок MarathonPac многие клиенты фирмы "ЭСАБ" добились существенного увеличения производительности сварки.

Специальная технология намотки проволоки в упаковках MarathonPac исключает ее перекручивание. Подача из таких упаковок обеспечивает постоянное правильное положение электрода в стыке, что способствует высокому качеству сварки. После полного использования упаковка MarathonPac складывается в плоскую пачку и полностью утилизируется.

Немецкая машиностроительная компания Putzmeister производит насосные установки для перекачки бетона и других жидких строительных материалов. Основанная в 1958 г., фирма Putzmeister включает в настоящее время 14 компаний с общим числом работников 2000. Продукция компании широко применяется при строительстве домов, туннелей, электростанций и других строительных объектов.

Putzmeister в Грюндау производит стрелы насосных установок длиной от 16 до 62 м. Строители постоянно просят увеличить длину таких стрел, что заставляет применять для их изготовления высокопрочную сталь, например S 690 Q. Фирма Putzmeister работает с этой сталью уже 10 лет.

Для МАГ-сварки стали S 690 Q фирма Putzmeister использует проволоку ОК AristoRod 13.29 (EN 12534: G 69 3 Mn3Ni1CrMo). Ранее используемые омедненные проволоки из-за отделения медного покрытия засоряли систему подачи и образовывали много брызг при сварке. С применением проволоки AristoRod 13.29 эти проблемы исчезли.

В высокой производительности сварки проволокой ОК AristoRod™ убедились на предприятии Komatsu в Падуе (Италия), являющемся одним из четырех предприятий Komatsu Group в Европе. Предприятие выпускает различные землеройные машины, включая мини-экскаваторы, и погрузчики. Металлоконструкции этих машин производятся на трех высокоавто-

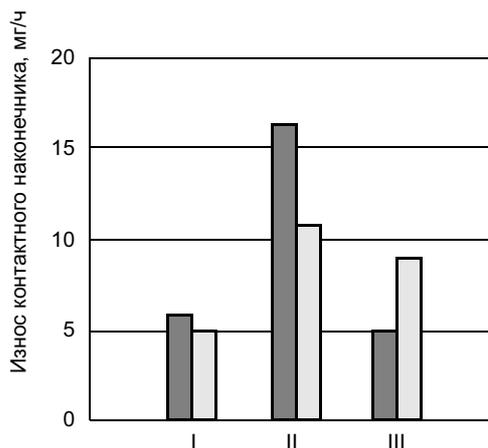


Рис. 3. Износ контактного наконечника при сварке проволоками ОК AristoRod (I), неокупированной (II) и окупированной (III) (светлые столбцы — сварка в CO₂, темные — Ag + CO₂)

матизированных линиях с большим количеством установок для роботизированной сварки.

На предприятии широко используется высокоскоростной сварочный процесс с жесткими требованиями к сварным соединениям. Сварочный ток достигает 400 А, скорость подачи проволоки 20 м/мин при частых пусках-остановах. Проволока к сварочной головке подается по 20-метровому проволокопроводу. Вдобавок используется относительно большой вылет электрода, что предъявляет допол-

нительные требования к прямолинейности проволоки. На фирме Komatsu широко используется уже завоевавшая доверие проволока ОК AristoRod 12.50 диаметром 1,2 мм.

По словам руководителя производства, наиболее важным требованием для них является обеспечение плавности и надежности подачи проволоки и проволока ОК AristoRod™ полностью ему отвечает. Ее применение обеспечивает высокие производительность процесса и качество сварных соединений.

ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.791:061.2/4

3-я Специализированная выставка нанотехнологий и наноматериалов "NTMEX—2006"

5—7 декабря 2006 г. в Москве в Универсальном выставочном зале здания Правительства Москвы прошла 3-я Специализированная выставка нанотехнологий и наноматериалов "NTMEX—2006", организованная департаментом науки и промышленной политики Москвы, Московским комитетом по науке и технологиям, ООО "Компания МКМ ПРОФ" (Москва). Выставка является крупнейшей ежегодной российской выставкой в сфере нанотехнологий и наноматериалов и охватывает все аспекты от постановки задач до технического воплощения и промышленного внедрения.

Около 70 научных организаций РАН, вузов, предприятий, фирм и компаний представили свои разработки по следующим тематическим разделам выставки:

- функциональные наноматериалы;
- наноинженерия и наноэлектроника;
- специальные применения нанотехнологий;
- метрологическое оборудование.

Ниже в кратком изложении приведены организации и их новые научные и прикладные разработки.

ОАО "Всероссийский институт легких сплавов — ОАО "ВИЛС" (Москва):

— промышленная технология производства полуфабрикатов из магниевых сплавов (листы и плиты) по российским стандартам и стандартам ASTM.

Область применения: авиация, автомобилестроение, космическая техника, спортивное снаряжение, медицинская техника;

— новые алюминиевые сплавы с добавками скандия, а также промышленная технология производства на их основе полуфабрикатов различных видов (слитков из алюминиевых сплавов с добавкой скандия, сварочной проволоки из алюминиевых сплавов на основе систем легирования Al—Mg—Sc и Al—Cu—Sc). Область применения: сварные корпуса космических летательных аппаратов, детали сложной формы, получаемые сверхпластической формовкой, сварные конструкции, работающие в различных агрессивных средах и др.;

— прессованные прутки, профили и трубы из титановых и специальных сталей. Особенности: экономия металла, снижение трудоемкости изготовления, повышение надежности и качества сборки профильных конструкций;

— специализированная линия, которая позволяет изготавливать заготовки деталей любой степени сложности из гранул промышленных титановых сплавов, в основном для авиакосмической техники (рис. 1). Особенности: однородность механических свойств и структуры в объеме детали, высокий коэффициент использования металла, надежная работоспособность деталей в широком диапазоне температур.

ГУП ВНИИМ им. акад. А. А. Бочвара (Москва):



а)



б)

Рис. 1. Заготовки деталей для производства изделий из гранул промышленных титановых сплавов: а — блиски с покрывным диском; б — опоры вала авиационного двигателя

— первое в России опытно-промышленное производство нанокристаллических магнитных материалов, которое включает вакуумную индукционную печь для получения исходных сплавов, установку центробежного распыления для получения аморфизированных порошков, установку для перевода порошков из аморфного в нанокристаллическое состояние (рис. 2). Область применения: магнитные системы для атомной, автомобильной и авиационной промышленности, радиоэлектроники и др.;

— впервые в России представлены технология получения порошков тантала с нанокристаллической структурой, способ получения высокочастотных порошков тантала конденсаторного класса и их опытно-промышленное производство.

Область применения: изготовление высоконадежных танталовых конденсаторов для электронной аппаратуры;

— новый класс наноструктурных электротехнических проводов с чрезвычайно высокими прочностью и электропроводностью. Область применения: крупные магнитные системы, индукторы для магнитоимпульсных штамповки и сварки, микропровода в устройствах резонансной передачи электроэнергии.

Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности (Москва) — технологии получения нанопорошков оксидов редкоземельных металлов (размер частиц порошка 10—40 нм) для автомобильной промышленности, микроэлектроники (размер частиц 10—100 нм) для лакокрасочной промышленности, производства пластмасс, нанопористого углерода.

Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений (Москва) — новое бескремнеземное связующее корундового со-



Рис. 2. Установка для перевода порошков из аморфного в нанокристаллическое состояние

става "Алюмокс", которое не взаимодействует с заливаемым металлом при температуре до 1800 °С.

Использование связующего "Алюмокс" позволяет создать эффективный и надежный технологический процесс изготовления литейных форм для высоколегированных сталей, жаропрочных сплавов, титана и др.

Формы на связующем "АЛЮМОКС" можно использовать также для равноосного, вакуумного литья, литья направленной структуры и монокристаллов.

Научно-исследовательский институт химии (С.-Петербург) — технология получения новых материалов, наноматериалов, микропорошков на основе высокоэнергонапряженных планетарных мельниц. Измельчение в планетарных мельницах позволяет уменьшить размер частиц и достичь эффекта механической активации, в результате чего вещество приобретает новые свойства, происходит аморфизация, повышение реакционной способности в твердофазном состоянии. При спекании порошков наноструктурированные частицы микронных размеров позволяют получить высокую плотность, твердость и прочность материалов. Область применения: керамические материалы, топливные элементы, катализаторы, дисперсно-упрочненные сплавы, композиционные порошки, утилизация твердых отходов.

ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (Троицк Московской обл.) — плазменно-пылевая технология получения наноструктурированных дисперсных композиционных материалов (ДКМ) — порошков, состоящих из частиц размером 0,1—10,0 мкм, покрытых оболочками из различных элементов и соединений. Суть технологии заключается в том, что в плазме экспериментальной установки пылевые частицы — заряженные до несколько сотен и тысяч зарядов электроны — образуют квазиджидкие или квазикристаллические структуры, которые левитируют в определенных областях — плазменно-пылевых ловушках. Покрытие наносится на частицы в ловушке с помощью атомного пучка, созданного магнетронным распылителем. Система диспергирования и сбора порошка обеспечивает непрерывность и контролируемость процесса. ДКМ могут применяться в качестве дисперсных катализаторов, для изготовления абразивных, износостойких, высокопрочных, магнитонепроницаемых и прочих покрытий, при изготовлении наноструктурированных композиционных материалов и др. На рис. 3 приведена схема плазменно-пылевой технологии получения наноструктурированных ДКМ.

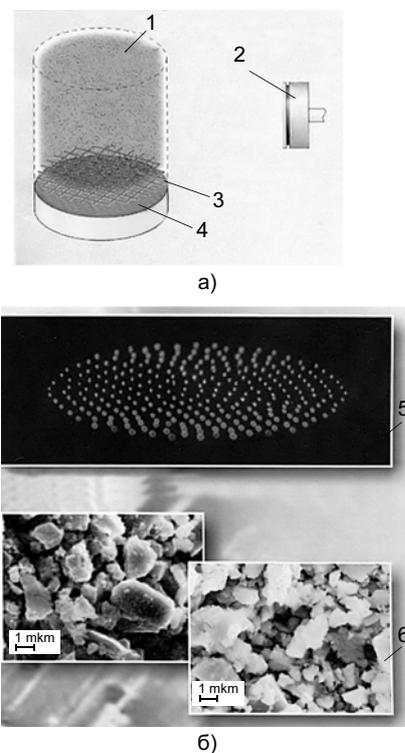


Рис. 3. Схема (а) плазменно-пылевой технологии получения наноструктурированных ДКМ (б): 1 — пылевая плазма; 2 — магнетронный распылитель; 3 — сеточный высокочастотный электрод; 4 — система диспергирования пылевых частиц; 5 — плоская плазменно-пылевая ловушка; 6 — исходный и покрытый серебром порошок ВСТП-керамики (толщина покрытия 10 нм)

Физико-технологический институт РАН (Москва) — решение фундаментальных физико-технологических проблем изготовления и исследования субмикронных приборов микро- и нанoeлектроники (разработка широкоапертурных источников индуктивно-возбужденной плотной плазмы с высокой поперечной однородностью для плазменно-иммерсионной (метод погружения) ионной имплантации, источники ионов с холодным катодом для реактивного ионно-лучевого травления и осаждения тонких пленок из пучков ионов для микроэлектроники, оптики, лазерной техники, защитные и упрочняющие покрытия (осаждение алмазоподобных пленок) и др., разработка комплекса эмиссионной томографии плазменных источников).

ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского, Обнинский центр науки и технологий (Обнинск Калужской обл.)

— решение научно-технических проблем в ядерной энергетике;

— более 20 наименований изотопной продукции для диагностики и лече-

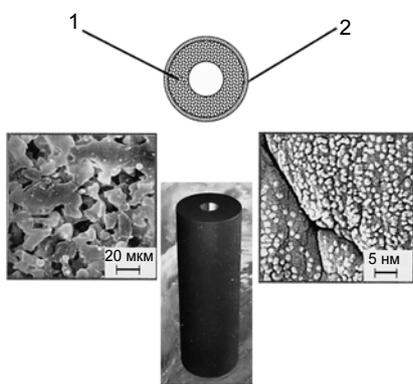


Рис. 4. Новое поколение полимерных трековых мембран для жидкости и газов: 1 — подложка (материал — спеченный пористый полиэтилен, пористая коррозионно-стойкая сталь, никель и др., толщина 15 мм, диаметр пор 5—10 мкм); 2 — мембрана (материал — металлы (Ti, Cu, Zr, Al, Ni и др.), оксиды, нитриды металлов и их комбинации, толщина 7—12 мкм, эквивалентный диаметр пор 0,1—0,3 мкм)

ния пациентов как в России, так и за рубежом;

— полимерные трековые мембраны — новое поколение микрофильтрационных мембран для жидкостей и газов с высокими селективностью, производительностью и ресурсом (рис. 4);

— комплекс оборудования (мини-завод) на основе наноструктурированных мембран и природных сорбентов для производства питьевой воды повышенного качества. Производительность от 1 до 10 м³/ч. Мини-завод основан на экологически безопасном и энергосберегающем сорбционно-мембранном методе очистки воды от различного типа загрязнений. Технология не имеет аналогов. Стоимость установки в 2 раза ниже существующих установок очистки питьевой воды;

— технология изготовления модифицированных наноструктурированных оксидных материалов с улучшенными характеристиками, которая обладает мобильностью и позволяет управлять микроструктурой керамики. Область применения: электроника, электротехника, оптика, изготовление твердотопливных элементов и др. Аналогов технологии в России и за рубежом не имеется.

ФГУП "Красная Звезда" (Москва):

— технология изготовления мембран "ТРУМЕМ", позволяющая выполнять из них фильтрующие элементы практически любой формы (радиус гiba до 5 мм) с неограниченным набором фильтрующей поверхности с высокими абразивной, химической и биологической стойкостью. Фильтры работают в нано-, ультра-, микрофильтраци-

онной областях с размером пор в диапазоне от 0,03 до 5,00 мкм;

— фильтрующие мембранные центрифуги и плоскостные мембранные установки.

Установки с использованием мембран "ТРУМЕМ" эксплуатировались и испытывались на объектах атомной промышленности.

Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский НИИ экспериментальной физики (Саров Нижегородской обл.):

— пористый наноструктурный никель (ПНН), полученный по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), структура которого представляет высокопористый материал в виде упакованной пористой пленки. ПНН при холодном прессовании легко уплотняется, образуя конструктивный материал, сохраняющий наноструктуру, и легко поддается механической обработке. Область применения: фильтрующий материал для фильтров различного назначения, насадка для нейтрализации выхлопных газов, токопроводящие клеевые композиции (в виде порошка) и др.;

— технический углеродный материал с нанопорами (ТУМаН) — конструкционный материал, образованный слабо связанными между собой сферическими пористыми углеродными частицами диаметром от 1 до 8 мкм. Размер пор в частицах — около 10 нм. Микроструктура материала обеспечивает его высокую удельную поверхность. Содержание углерода 96,0—99,5 %. Изделия изготовляют заливкой жидкой композиции в любую форму с последующим их отверждением и карбонизацией. Область применения: экологически чистые фильтрующие материалы, экологически безопасные мембраны, высокоэффективные сорбенты и др.

Компания "Лаборатория триботехнологии" (Москва—Зеленоград) — наноматериалы для повышения ресурса автомобилей: нанокондиционер металла FENOM, наноприсадки к маслу для защиты двигателей и трансмиссий, nanoочистители смазочных и топливных систем, добавки к топливу. Эффективность препаратов реализуется за счет создания на поверхности трения и износа наноструктурированных защитных пленок, повышения смазывающих и рабочих качеств моторных масел и других факторов.

Научно-производственная коммерческая фирма "MaBP" (г. Жуковский Московской обл.) — разработка и производство огнеупорных, теплоизоляционных и огнезащитных материалов: СВС-смеси и кладочные растворы для алюмосиликатных огнеупоров; огнеупорные СВС-бетоны; обмазки и покрытия для экстренного заделывания сколов, прогаров и проведения ремонтно-восстановительных и монтажно-

сварочных работ; кладочные СВС-расстворы для склейки (сварки) огнеупорных СВС-изделий (кирпичей, блоков, плит и др.) между собой или с другими огнеупорами и теплоизоляционными материалами. Область применения: металлургия, машиностроение, теплоэнергетика, строительные материалы, химическая промышленность и др.

В работе выставки приняли участие вузы (15 экспонентов), среди представленных разработок можно отметить следующие.

Московский государственный университет инженерной экологии — криохимическая технология получения нанодисперсных порошков солей и твердофазных композиций из растворов и суспензий органического и неорганического синтеза. Основные характеристики нанопорошков: размер гранул 0,3—2,0 мкм, форма частиц — близкая к сферической, средний размер кристаллов (частиц) 40—200 нм, удельная поверхность 2—80 м²/г. Отличительные особенности: высокая однородность состава продукта, высокая равномерность распределения мини- и микродобавок, высокая текучесть гранулированных порошков, повышенная сорбционная способность и др. Область применения: ферромагнитные материалы, композиционные материалы, сорбенты, полимеры, оптические материалы, катализаторы и др.

Московская академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова — пористый кремний — перспективный материал для опто- и микроэлектроники. Слои пористого кремния (ПК) различного строения и свойств можно получать при использовании стандартных ячеек для электролитического травления. Основным свойством, обусловившим интерес к ПК, явилась его способность к фото- и электролюминесценции при комнатной температуре в видимой области спектра при различных длинах волн. Область применения: элементы кремниевой микроэлектроники, датчики газов, биологические сенсоры, фотонные кристаллы, катоды вакуумной микроэлектроники.

Московский институт электронной техники (Технический университет) — учебно-исследовательская установка для получения углеродных нанотрубок методом химического осаждения из газовой фазы. Может быть использована для выращивания углеродных нанотрубок в исследовательских целях, в различных катализаторах, в том числе каталитических структурах, сформированных на подложках диаметром до 76 мм. Позволяет получать многослойные углеродные нанотрубки диаметром 5—40 нм, длиной до 20 мкм.

Томский политехнический университет:

— электровзрывная технология получения нанопорошков. Разработаны технология и установка для производства ультрадисперсных порошков различных металлов, сплавов и их химических соединений;

— получение нанопорошков методами плазменного синтеза. Особенности метода: высокая производительность (100 кг/ч), низкие энергозатраты, возможность получения особо чистых соединений (нанопорошки углерода, оксида кремния, диоксида титана и др.);

— ультразвуковая технология компактирования нанопорошков для изготовления изделий сложной формы из наноструктурных и композитных материалов. Технология основана на новых способах сухого прессования изделий сложной формы из керамических нанопорошков на основе разработанного способа регулирования сил трения в прессуемом порошке. Технология запатентована в РФ, странах СНГ, США.

Необходимо также отметить ряд ноу-хау, созданных в последнее время: **Информационно-аналитический центр "Наноматериалы и нанотехнологии"** на базе МИСиС, **Наноцентр МЭИ "Нанотроника"**, **Научно-образовательный центр "Нанотехнологии"** Таганрогского государственного радиотехнического университета.

В 2001 г. на базе Международного фонда конверсии (Москва) был образован **ЗАО "Концерн "Наноиндустрия"** — научно-производственная структура, основной задачей которой является разработка и практическое применение нанотехнологий и нанопроductии в различных областях науки, техники и производства. Основные разработки концерна:

— нанотехнологическая установка для проведения нанотехнологических процессов в газах и жидкостях для создания объектов нанометрических размеров (менее 1×1 нм);

— износостойкие кластерные покрытия — специальные покрытия, наносимые в гальванических ваннах электрохимическим методом с введением в электролит дозированного количества ультрадисперсного углеродного (алмазного) порошка (кластера) с размерами частиц 50—70 нм, обеспечивающего осаждение мелкозернистого по структуре и износостойкого по функциональному назначению основного металлического покрытия. Область применения: режущий инструмент, производство пластмасс и резино-технических изделий, автомобилестроение, медицина и др.;

— комплекс нанотехнологического оборудования "УМКА" для проведения научно-исследовательских, лабораторных и демонстрационных работ на молекулярном и атомарном уровнях в области физики, химии, биологии, медицины и других прикладных наук. Оборудование "УМКА" создано на базе скани-



Рис. 5. Нанотехнологическое оборудование "УМКА" на базе сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) (а) и нанотрубки, поле сканирования 2×2 и $0,3 \times 0,3$ мкм (б)

рующего туннельного микроскопа (СТМ) (рис. 5).

Аппаратное и программное обеспечение имеет открытую архитектуру, что позволяет пользователю устанавливать свои модули и проводить обработку данных в реальном режиме времени.

В октябре 2006 г. организован **Центр нанотехнологий и наноматериалов Федерального агентства по атомной энергии**, который должен обеспечивать координацию и развитие работ в сфере нанотехнологий.

Программа развития атомной отрасли РФ, утвержденная Президентом РФ 8 июня 2006 г., предусматривает увеличение доли инновационной составляющей в научно-производственной деятельности Росатома. В соответствии с этой программой разработки в сфере нанотехнологий и наноматериалов должны обеспечить увеличение объема инновационной продукции.

В состав центра входят такие известные научные организации и предприятия, как **Обнинский центр науки и технологий, ГНЦ РФ ФЭИ им. А. И. Лейпунского, ГНЦ РФ ТРИНИТИ, НПО "Луч", ОАО "СвердНИИхиммаш", Уральский электрохимический комбинат** и др.

В подмосковном наукограде **Фрязино** 28 ноября 2006 г. прошло учредительное собрание Национальной ассоциации наноиндустрии (НАИ), в котором приняли участие представители региональных центров наноиндустрии, научных организаций РАН, ведущих вузов, научно-производственных предприятий из 12 городов России.

В настоящее время в России создана Национальная ассоциация наноиндустрии, которая ставит своей целью способствовать формированию эконо-

мической, политической и социальной атмосферы, перевооружению российской промышленности на основе передовых высоких технологий, в том числе с использованием нанотехнологий, а также содействовать развитию и внедрению нанотехнологий, эффективно продвигению отечественной продукции на зарубежные рынки и укреплению деловых контактов между разработчиками и потребителями продукции наноиндустрии, осуществлять ведущую роль в сфере подготовки и переподготовки кадров для наноиндустрии.

Центр фотохимии РАН (Москва) и группа компаний **SIAMS** (Екатеринбург), **Smart Imaging Technologies** (США) выступили с новой инициативой консолидации усилий научного сообщества, представителей инновационного производства и бизнеса в области нанотехнологий — создания Центра наноинтеграции. Образование такого центра — это совместные проекты по изучению свойств, характеристик и параметров взаимодействия наноразмерных объектов, а также эффективные концепции и схемы использования результатов научной деятельности. Примером такой интеграции является уникальная инновационная разработка для многомасштабного анализа изображений нанообъектов, наноструктур и наноматериалов.

В настоящее время среди совместных разработок **Центра фотохимии РАН** и компаний **SIAMS** можно выделить следующие:

— аналитический комплекс **SIAMS-CP Nanotech** для многомасштабного анализа изображений, нанообъектов, наноструктур и наноматериалов, полученных различными методами. Набор автоматизированных программных решений комплекса позволяет получать количественные данные о структуре индивидуальных нанообъектов, дисперсных систем, объемных наноматериалов;

— **SIAMS-CP Multiscale Modeling** — система многомасштабного моделирования процессов самоорганизации и самосборки наноматериалов.

Наноматериалы и нанотехнологии для медицинских исследований были представлены на стендах **Института физико-химических проблем керамических материалов РАН, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Московского научно-исследовательского онкологического института им. П. А. Герцена, Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева РАМН** и др.

Метрологическое обеспечение и оборудование для изучения свойств наноматериалов продемонстрировали следующие организации:

Институт систем обработки изображений РАН, Самарский государственный аэрокосмический универ-

ситет им. акад. С. П. Королева — установка для оперативного экспресс-контроля шероховатости и степени загрязнения органическими соединениями поверхности диэлектрических подложек, очищенных плазмохимическим травлением при производстве микросхем и дифракционных элементов. Принцип действия установки заключается в измерении скорости растекания калиброванной капли жидкости по поверхности. Скорость растекания зависит от шероховатости и загрязнения поверхности подложек в диапазоне от 5 до 200 нм, загрязнения поверхности подложек — в диапазоне от 10^{-7} до 10^{-9} г/см². Время контроля не более 2 мин. На устройство контроля чистоты поверхности подложки получен патент РФ.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума (Москва):

— измеритель диффузионной длины неосновных носителей заряда в кремниевых пластинах методом мало-сигнальной поверхностной фотоэлектродвижущей силы;

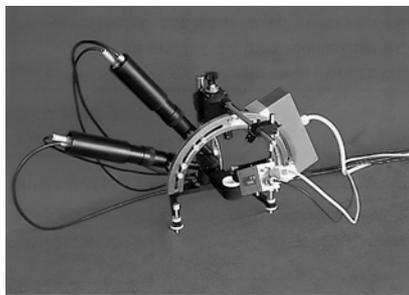
— эталонная 3D лазерная интерферометрическая система измерений наноперемещений на основе атомно-силового микроскопа оригинальной конструкции;

— эталонная мера ширины и периода МШПС-2.ОК для калибровки средств измерений линейных размеров, применяемых в микроэлектронике и нанотехнологиях. Номинальный размер шага 2000 нм, ширина линии 30—1500 нм, высота (глубина) рельефа 100—1500 нм.

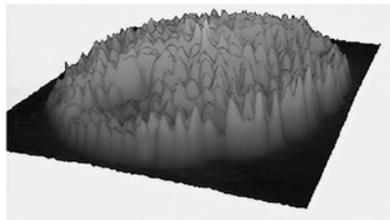
Институт рентгеновской оптики (Москва):

— рентгеновский комплекс (настольный) для экспресс-анализа фазового состава неорганических материалов одновременно с элементным анализом одного и того же исследуемого участка. Программное обеспечение позволяет обрабатывать полученный спектр с определением положения, интенсивности и ширины дифракционных максимумов, разделять наложенные дифракционные пики, вычитать фон, сглаживать спектр, просматривать серию снятых образцов. Фазовый анализ изучаемых образцов проводится с помощью программы поиска с большим выбором идентификационных критериев, используя базу данных поликристаллических материалов;

— портативный рентгеновский дифрактометр нового поколения на основе поликапиллярной оптики для структурного и элементного анализа порошковых образцов, а также крупногабарит-



а)



б)

Рис. 6. Рентгеновский дифрактометр нового поколения на основе поликапиллярной оптики (а) и распределение интенсивности рентгеновского излучения на выходном торце капиллярной линзы (б)

ных деталей (рис. 6). Функционально дифрактометр совмещен со спектрометрическим энергодисперсионным каналом, что позволяет получать информацию как об элементном составе, так и о структуре образца. Особенности: миниатюрность, отсутствие перемещений при съемке, одновременная регистрация широкого участка спектра, удобство обслуживания и эксплуатации, высокая разрешающая способность детектора, наличие системы оптического определения места анализа.

Компания НТ-МДТ (Москва—Зеленоград) — широкий спектр сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ) на российском и мировом рынках от самых простых для начального обучения и знакомства с нанотехнологией (базовый прибор СЗМ-У) до сложных зондовых нанофабрик ("ИНТЕГРА"), позволяющих изготавливать и проводить анализ наноструктур по различным параметрам (более 40). СЗМ различного класса и конфигураций предназначены для исследований широкого класса объектов (металлов, полупроводников, диэлектриков, биологических структур, полимеров, порошков и др.).

Среди других фирм можно выделить следующие.

ЗАО НПП "Родник" (Москва) — инструментальные средства и программное обеспечение компании Keithley Instruments Inc. (США) (системы для электрических измерений параметров наноструктур, аппаратура для измерений и тестирования оптоэлектронных изде-

лий, полупроводников и беспроводного оборудования, системы коммуникации в радиочастотном и СВЧ-диапазонах).

ООО "Системы для микроскопии и анализа" (Москва) — авторизованное агентство компании FEI Company (США) поставляет на российский рынок приборы с фокусированным ионным пучком, сканирующие и просвечивающие электронные микроскопы.

В рамках выставки "NTMEX—2006" состоялось выездное заседание Координационного совета по развитию нанотехнологий при Комитете Совета Федераций по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии по проблемам и перспективам применения нанотехнологий в сфере городского хозяйства, в котором приняли участие Председатель Комитета Федерации по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии В. Е. Шудегов (Председатель координационного совета), члены Московского координационного совета по наноматериалам и технологиям, а также руководители ведущих научных учреждений и производственных предприятий.

На заседании с докладами выступили д-р техн. наук С. В. Серебрянников (ректор МЭИ), академик РАЕН, д-р техн. наук М. А. Ананян (генеральный директор Концерна "Наноиндустрия"), д-р техн. наук Ю. С. Карабасов (ректор Московского государственного института стали и сплавов, председатель Московского координационного совета по наноматериалам и технологиям) и др.

Состоялись круглые столы по вопросам применения наноматериалов и нанотехнологий в различных областях промышленности, науки и техники: "Нанoeлектроника: настоящее и будущее", "Наночастицы для биомедицины", "Химическая технология наноматериалов и наноструктур", "Целевая системная интеграция соисполнителей инновационных проектов", "Современное инновационное образование и исследования в области нанотехнологии", а также официальная церемония награждения участников выставки.

3-я Специализированная выставка нанотехнологий и наноматериалов "NTMEX—2006" продемонстрировала передовые отечественные разработки, реализация которых предусмотрена в рамках приоритетных национальных проектов в области наноиндустрии, содействовала их продвижению на международный рынок, а также привлечению отечественных и зарубежных инвестиций в данный сектор экономики, основой которой в настоящее время являются наноматериалы и нанотехнологии — технологии XXI века.

Ан. А. Суслов,
канд. техн. наук

IV Международная научно-техническая конференция "Диагностика оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла"

С 14 по 16 февраля 2007 г. в Москве прошла IV Международная конференция "Диагностика оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла", организованная по инициативе ООО "Энергодиагностика" и проведенная при поддержке Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), РНТСО, НПС "РИСКОМ", ТК-132 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ.

В работе конференции приняли участие специалисты России, Аргентины, Польши, Венгрии, Украины, Беларуси, Казахстана, Литвы и Латвии.

На конференции были заслушаны доклады по следующим темам:

— итоги развития и внедрения метода магнитной памяти металла (МГМ) в России и других странах (по состоянию на декабрь 2006 г. метод МГМ получил распространение в 25 странах мира);

— опыт использования метода МГМ при контроле и оценке ресурса газонефтепроводов, оборудования энергетики, нефтехимии, железнодорожного транспорта и других отраслей промышленности;

— критерии предельного состояния металла при оценке остаточного ресурса, контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) оборудования и конструкций;

— контроль качества изделий машиностроения по структурной неоднородности и остаточным напряжениям;

— бесконтактная магнитометрическая диагностика газонефтепроводов, расположенных под слоем грунта;

— новые стандарты России и международные стандарты в области технической диагностики; опыт РНТСО в области стандартизации через Международный институт сварки;

— подготовка персонала в области контроля НДС и технической диагностики.

Основное внимание было уделено практическому опыту применения метода МГМ в различных отраслях промышленности и на разных объектах. В частности, были представлены доклады об использовании метода МГМ при диагностике грузоподъемных механизмов, оборудования, сосудов и трубопроводов энергетики, ОАО "Газпром", нефтехимии, шахт, заводов машиностроения России, Украины, Польши, Китая, Литвы и Латвии. Были освещены также вопросы подготовки и обучения специалистов, методического и нормативно-технического обеспечения, стандартизации метода и сертификации приборов контроля. Широкий спектр практических результатов работ, выполняемых с помощью метода МГМ, был представлен в виде стендовых со-

общений и информационных материалов. В рамках конференции была организована выставка современных приборов контроля.

Особое внимание было уделено опыту стандартизации методов НК и их гармонизации с международными стандартами, в частности через Международный институт сварки. Этот вопрос становится актуальным в связи с вступлением России в ВТО. На конференции были представлены международные стандарты ISO по методу МГМ.

Всего на конференции было заслушано 40 докладов, в частности, президента РНТСО, д-ра техн. наук О. И. Стеклова (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина), заведующего отделом экспертизы металлов В. М. Горицкого (ЦНИИПСК им. Мельникова), В. М. Матюнина (МЭИ — Технический университет), Яна Ханкуса (Горный институт, Польша), А. Радишевского, директора фирмы "Ресурс" (Польша), генерального директора фирмы "Энергодиагностика, д-ра техн. наук А. А. Дубова.

В докладе В. Т. Власова и А. А. Дубова были изложены физические критерии оценки НДС материалов и элементов конструкций, а также проведена презентация их новой книги "Физическая теория процесса деформация — разрушение". В настоящее время в России и за рубежом существует множество методов и средств диагностики НДС материалов, однако для объективного сравнения эффективности их применения отсутствуют эталонные образцы, нет программ и центров обучения специалистов НК. В настоящее время недостаточно развита теоретическая база для объективного сравнения эффективности методов контроля НДС, определения граничных условий и области их применения. Единая теоретическая база, разработанная авторами на основе современных достижений науки в области механики разрушений, материаловедения, физики твердого тела, может быть основой для разрешения противоречий, возникающих при внедрении различных методов и средств контроля НДС материалов.

Участники конференции выразили общее мнение о необходимости дальнейшего практического внедрения метода МГМ для ранней диагностики состояния металла и сварных соединений сосудов, трубопроводов и прочего оборудования различного промышленного назначения, а также продолжения теоретических и экспериментальных исследований для его совершенствования. В решении участников конференции отмечается также необходимость включения метода МГМ как отдельного вида НК в перечень нормативных документов Ростехрегулирования и Ростехнадзора.

А. А. Дубов, д-р техн. наук

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

**BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA
W GLIWICACH
(Ros. 50, N 3, 2006, Польша)**

Dworak J. Технология лазерной сварки, результаты исследований и возможности применения. Р. 27—33.

Parpala H. Рельефная сварка латуни. Р. 33—38.

Klimpel A. et al. Автоматизированная плазменная сварка стыковых соединений листов из аустенитной стали AISI 321. Р. 38—44.

Pasek-Siurek H., Piatek M. Технические и экономические условия процесса плазменной сварки и новое оборудование, разработанное в Институте сварки. Р. 45—51.

Zeman W. Проектирование как элемент снижения стоимости сварных конструкций. Р. 52—57.

(Ros. 50, N 4, 2006, Польша)

Stano S. Современные конструкции твердотельных лазеров, применяемых в сварочном производстве в качестве генераторов лазерного излучения. Р. 29—35.

¹ Раздел подготовлен по материалам Библиографического указателя "Сигнальная информация. Сварка и родственные технологии" (по вопросу получения полной версии материалов обращаться в ИЭС им. Е. О. Патона по тел./факсу: 8-10-38044-287-0777 или library@paton.kiev.ua).

Czuchryj J., Pasternak J. Анализ избранных систем по оценке качества сварных соединений при радиографическом методе контроля. Р. 35—41.

Gawrysiuk W. et al. Сваркопайка — примеры соединения трудносваряемых сочетаний материалов. Р. 42—50.

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 75, N 3, 2006, Япония)

Ueyama T., Ohnawa T. Высокоскоростная импульсная сварка плавящимися электродами тонколистовой стали. Р. 3—4.

Специальный выпуск НАНОТЕХНОЛОГИИ СОЕДИНЕНИЯ И РЕЗКИ

Yoshida M., Iwakai F. Разработка нанокристаллической керамики и выполнение сверхпластичных диффузионных соединений. Р. 5—8.

Sugiyama A. Разработка технологии соединения лазерных кристаллов. Р. 9—13.

Ishii K., Awazu K. Применение инфракрасного лазера. Р. 23—26.

Hamada K. Технология плазменной сварки раскрытых заготовок с применением системы обеспечения качества. Р. 35—38.

Fujimoto R. Примеры применения микросварки тонких пленок с использованием параметров обеспечения качества. Р. 39—43.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (N 4, 2006, Польша)

Klimpel A. et al. Волоконные лазеры — новое поколение сварочных лазеров. С. 4—7.

Pakos R. Оценка качества сварных соединений из сплавов Cu—Ni—Fe, выполненных ТИГ-сваркой. С. 8—11.

Nowacki J., Kawiak M. Нагрузка, напряжение и деформация паяных соединений. С. 15—18.

Peter H.-P. Древняя техника соединения — пайка. С. 19—22.

(N 5—6, 2006, Польша)

Pilarczyk J. et al. Технологическое применение лазерного пучка в Институте сварки. Р. 6—10.

Adamiec P., Adamiec J. Проблемы наплавки элементов котлов для сжигания мусора сплавами Inconel 625 и 686. Р. 1—14.

Kimpel A. et al. Порошковая наплавка ползуна задвижки нефтяного оборудования методом РТА плазменной переходной дугой. Р. 5—19.

Пасуна J., Dąbrowski R. Новый сплав стали большой прочности и стойкости против образования трещин. Р. 20—23.

Grabian J., Wysocki J. Соединение композитов AISI9/SiC ТИГ-сваркой. Р. 24—27.

Szefner Z. Металлургическая эффективность защитного газа сварочной дуги. Р. 28—31.

Czechowski M. Фрактографическое исследование сварных Al—Mg-сплавов. Р. 32—34.

Mirski Z. Важность реакционной зоны паяных соединений графита CFC 222 с молибденовым сплавом TZM. Р. 35—38.

Gruszczuk A., Griner S. Структура и свойства сварных соединений из стали контролируемой прокатки. Р. 39—41.

Lalik S. et al. Механические свойства сварного соединения из жаропрочной низколегированной стали T24. Р. 42—45.

Łabanowski J. et al. Исследования склонности к коррозии под напряжением сварных соединений из аустенитной, а также дуплексной стали. Р. 46—49.

Ciura F. et al. Изменения структуры и свойств при сварке сплава Fe—30Ni. Р. 50—52.

Surowska B., Brudkiewicz D. Микроимпульсная ТИГ-сварка аустенитной стали. Р. 53—56.

Pakos R. Влияние чистоты сплава Cu—Ni—Fe на качество шва, выполненного ТИГ-сваркой. Р. 57—59.

Kolbusz R. Свойства ЗТВ спекаемых конструкционных материалов. Р. 60—63.

Napadłek W. et al. Анализ явлений, наблюдаемых при лазерной обработке алюминиевых сплавов. Р. 64—67.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (An. LVIII, N 2, 2006, Италия)

Guerciotti A. M., Gallazzi G. Свойства и выбор расходуемых материалов для дуговой сварки сталей с высоким пределом текучести. Р. 171—176.

Botta S. et al. Подход к надежности в гражданском строительстве — нормы и контроль. Р. 179—195.

Cogliandro S. et al. Технология лазерной сварки для изготовления камеры сгорания газотурбинных авиационных двигателей. Р. 199—208.

Ponte M. et al. Механические характеристики разнородных сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием. Р. 211—217.

Valente T. Определение и оценка риска воздействия паров, образующихся при сварке. Р. 221—225.

Franch V., Petrone N. Результаты лабораторных испытаний на усталость полностью подвесных рам велосипедов, подверженных нагрузке на опоре сиденья с постоянной и переменной амплитудой. Р. 227—237.

Док. МИС ИИВ-1698-05. Причины неэффективности неразрушающих методов испытаний при обнаружении несплохов. Р. 239—243.

Газовая резка. Р. 247—263.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 3, 2006, Германия)

Matthes K.-J. et al. Лазерное диспергирование SiC в сплавах алюминия для защиты от износа. С. 119—122.

Riedel F., Lang H. Комбинация сварки трением и деформации в гибридном способе производства. С. 123—130.

Xu P. Локальная пластификация с целью повышения вибрационной прочности точечных сварных соединений на тонких высокопрочных листах. С. 131—136.

Сертификация согласно EN 729 — состояние развития и тенденции. С. 138—140.

Обзор литературы "Сварка и родственные технологии":
— склеивание металлов и композитных материалов;
— холодное напыление меди — оптимизация процесса;
— плазменно-автогенная гибридная резка;
— штампованная клепка и гибридное соединение кузовов;
— инновации для гибридных конструкций — состояние в сварке алюминия;

— новые процессы лазерного соединения смешанных соединений алюминий — сталь;

— МИГ/МАГ-сварка сплюсненной электродной проволокой;

— сварка тонких листов порошковой проволокой в защитном газе и под флюсом;

— защитное покрытие с содержанием твердых материалов, необходимых для данной нагрузки;

— разработка и производство сварочной проволоки из легких металлов;

— влияние защитных газов при сварке легких строительных материалов;

— присадочные материалы для высокопрочных сталей в изготовлении транспортных средств. С. 141—147.

Плазменный луч — ошеломляющее разнообразие применения. С. 147—148.

Обработка поверхностей и термическая обработка. С. 149—150.

(N 7, 2006, Германия)

Исследовательский проект REFRESH — Повышение долговечности существующих и новых стальных сварных конструкций. Р. 334—335.

На выставке "Алюминий—2006" виден прогресс в области сварки Al. Р. 335—336.

Экономичная лазерная сварка труб. Р. 340—341.

Иновации в области резки в мостостроении. Р. 341—342.

Ehrenstein G.W., Künkel R. Формирование структуры шва при вибрационной сварке. Р. 345—349.

Dilthey U., Ohse P. Контактная сварка окрашенных стальных листов. Р. 350—354.

Eppel K. et al. Коррозия магниевых сварных соединений. Р. 355—363, 371.

Загадка маленького произведения искусства — пайка или сварка. Р. 364—366.

Дуга — неисчерпаемый потенциал технологии. Р. 367—368.

Сварка в аппарато- и судостроении — актуальные, необходимые для практики знания. Р. 368—376.

SUDURA

(Vol. XVI, N 3, 2006, Румыния)

Rusan T., Safta V. Явление ликвации в искусственно смоделированной зоне термического влияния твердого раствора трехкомпонентного суперсплава на основе Ni—Cr—Co. Р. 5—9.

Dumbrava D. et al. Аналитический и экспериментальный метод определения термического кпд при дуговой сварке. Р. 11—16.

Wesling V. et al. Дополнительная наплавка продольных сварных труб с помощью плазменной сварки. Р. 17—20.

Simler H. et al. Большой потенциал применения плазменно-дуговой резки с жесткими размерными допусками. Ч. 2. Р. 21—22.

Kuriykov Y. et al. Вибрационная сварка с подогревом инфракрасным излучением. Р. 23—24.

Strombeck A. Новые области промышленного применения сварки трением с перемешиванием. Р. 26—29.

Vanschen W. Внутренняя наплавка с помощью лазерной сварки с подачей порошкового флюса. Р. 32—36.

WELDING AND CUTTING (N 3, 2006, Германия)

Высокостабильная дуга при сварке алюминия за счет легирования кислородом. Р. 136—137.

Сварка трением с перемешиванием открывает новые области применения. Р. 138.

Характеристики ползучести стали P92 при различных режимах термической обработки и сварки. Р. 148—153.

Fuad M. et al. Возможности автоматизации процессов ТИГ- и МИГ-сварки. Р. 154—163.

Dilthey U. et al. Сварка изделий сложной формы. Р. 164—176.

Jenicek A. Сравнение методов приварки шпилек и тонколистовой стали с покрытием. Р. 177—182.

ZVARANIE — SVAROVANI (Roc. 53, N 3, 2006, Словакия)

Shiga Ch. et al. Улучшение качества сварных соединений при использовании присадочных материалов с низкой температурой превращения мартенсита. S. 65—70.

Budig B. Эффективный процесс МИГ/МАГ-сварки без переноса металла короткими замыканиями под названием "EWM-forceArc". S. 71—72.

Kovačik M., Kučik P. Ультразвуковой метод TOFD (метод определения полета дифракционной волны) для определения глубины дефектов. Р. 75—78.

Hudák J. Рабочая проверка сварщиков — необходимое предварительное условие для производства, реконструкции и ремонта железнодорожных вагонов. S. 79—81.

Внимание! Информация

www.MVK.ru(495) 105-34-42

В РАМКАХ РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РОССИИ»

Международная специализированная выставка

СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

29 мая–1 июня 2007 года

МВЦ «Крокус Экспо»

WWW.SVARKA-EXPO.RU

ОДНОВРЕМЕННО ПРОЙДУТ ВЫСТАВКИ:

 MASHEX / МАШИНОСТРОЕНИЕ	 ИНТЕХМАШ	 ЭЛЕКМАШ	 ПОДШИПНИКИ (ИНБЕТЕК)
 РЕТЕКМАШ	 МЕТРМАШ	 ПОДЪЕМНО- ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	 ЛИТЭКСПО
 МАШКОМП	 LIC RUSSIA		

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4
Дирекция выставки: тел./факс: (495) 105-34-42, e-mail: msa@mvk.ru

Региональные представительства
Выставочного холдинга МВК:
МКК-ЮГ: Тел./факс: +7 (863) 234-52-45
МКК-ВОЛГА: Тел./факс: +7 (843) 291-75-89
МКК-УРАЛ: Тел./факс: +7 (343) 371-24-76
МКК-СЕВЕР-ЗАПАД: Тел./факс: +7 (812) 332-15-24
МКК-СИБИРЬ: Тел./факс: +7 (383) 226-53-17

Организатор:
■ Выставочный холдинг МВК

При поддержке:
Министерства промышленности и энергетики РФ
Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков

При содействии:
◆ СОКОЛЬНИКИ
◆  Eurasia
◆  Российское общество промышленной торговли
◆  Российский Союз разработчиков и производителей сварочной продукции

Генеральный информационный спонсор:

Журнал «Сварочное производство»

Информационная поддержка:
 Сварщик
 Сварочное Оборудование
 Сварная Груза Газет
 TVM
 МИР МЕТАЛЛА
 Сварная Груза Газет
 Газета

Исполнилось 60 лет директору НИИ КМ ТП при МГТУ им. Н. Э. Баумана, д-ру техн. наук Игорю Николаевичу Шиганову. После окончания в 1971 г. МВТУ им. Н. Э. Баумана по специальности "Автоматизация и механизация сварочных процессов" И. Н. Шиганов работал на предприятиях ракетно-космического комплекса, участвовал в организации и создании первого в стране технологического центра по обработке и изготовлению изделий космической техники из уникального материала бериллия. При его непосредственном участии разработаны принципиально новые технологии сварки бериллиевых материалов. По этой тематике в 1976 г. им была защищена кандидатская диссертация. Созданные технологии использовались при изготовлении ответственных узлов серии космических станций "Венера", "Венера-Галлея" и др., а также головных частей боевых ракет. За комплекс этих работ И.Н. Шиганов награжден тремя медалями ВДНХ СССР и нагрудным знаком "Изобретатель СССР".

В 1982 г., в период становления кафедры "Лазерная техника и технология", И. Н. Шиганов был приглашен в МГТУ им. Н. Э. Баумана на преподавательскую работу, где за 25 лет прошел путь от старшего научного сотрудника до директора НИИ КМ ТП. Под его руководством на кафедре создано несколько новых научных направлений, послуживших основой развития лазерной технологии обработки материалов. В рамках этих направлений он являлся научным руководителем шести аспирантов, трое из которых защитили кандидатские диссертации. В 1999 г. им была защищена докторская диссертация по сварке плавлением металлических композиционных материалов.

По совместительству И. Н. Шиганов ведет педагогическую работу, являясь профессором кафедры "Лазерные технологии в машиностроении". Им разработаны курсы "Технология лазерной сварки", "Лазерная микрообработка", "Гибридные техноло-

гии лазерной сварки" и др., вошедшие в первую в стране новую учебную специальность "Машины и технология высокоэффективных процессов обработки". По данным курсам изданы семь учебных пособий.

За заслуги в области образования И. Н. Шиганов награжден медалью "В память 850-летия Москвы", нагрудным знаком министерства "За отличные успехи в работе", ему также присуждено звание "Почетный работник Высшей школы". Игорь Николаевич также награжден серебряной медалью ВДНХ СССР и медалью "Лауреат ВВЦ". В 2004 г. разработки в области лазерной стереолитографии, выполненные под его руководством и при его непосредственном участии, награждены двумя золотыми медалями Московского международного салона инноваций и инвестиций.

И.Н. Шигановым изданы более 140 научных трудов, в том числе 4 монографии, получены 18 авторских свидетельств и патентов.

И. Н. Шиганов является членом Ученого совета МГТУ им. Н. Э. Баумана, редакционных коллегий научно-технических журналов "Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана", "Сварочное производство" и "Технология машиностроения", действительным членом Академии проблем обороны, безопасности и правопорядка, Коллегией национальных экспертов стран СНГ избран экспертом по лазерным технологиям от России.

Поздравляем Игоря Николаевича с юбилеем, желаем здоровья, новых творческих свершений, благополучия!

**МГТУ им. Н. Э. Баумана, НИИ КМ ТП,
редколлегия и редакция журнала
"Сварочное производство"**

УДК 621.791(088):16

Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки*

Способ сварки трением трубчатых деталей включает установку одной из них неподвижно, вращение другой детали с одновременной подачей на нее осевого усилия с обеспечением размещения образующегося внутреннего грата в проточке. Отличается тем, что проточку выполняют во втулке, имеющейся на одной из деталей, при этом диаметр проточки выбирают равным 0,80—0,95 внутреннего диаметра сварного соединения, длину проточки и толщину

* Приведены наименование и номер патента (авторского свидетельства), автор и заявитель, а в квадратных скобках — номер специального бюллетеня "Изобретения. Полезные модели" за 2006 г., в котором опубликована формула изобретения. Запросы для получения более подробных сведений следует направлять по адресу: 121867, Москва, Бережковская наб., д. 24. Патентная библиотека. Тел.: (495) 240 5008.

Обозначения: С — патент РФ, выданный вместо ранее не публиковавшегося а. с. СССР на оставшийся срок; С1 — патент, выданный без предшествующей публикации сведений о заявке; С2 — патент, выданный с предшествующей публикацией сведений о заявке; А1 и А2 — авторское и дополнительное авторское свидетельства СССР, ранее не публиковавшиеся; У1 — свидетельство РФ на полезную модель.

стенки втулки 1,6—4,0 и 0,25—0,50 толщины стенки сварного соединения соответственно. 2268815 (С2). Л. А. Лачинян (RU). ФГУП СКВ "Геотехника" (RU). [3].

Установка точечной контактной сварки содержит устройство управления, педаль, задатчики времени сжатия и времени проковки, соединенные с соответствующими входами устройства управления, электропневмокран, управляющий пневмоцилиндром верхнего электрода, соединенный с первым выходом устройства управления, источник тока, вход которого соединен с вторым выходом устройства управления. Отличается тем, что снабжена датчиком нижнего положения верхнего электрода, соединенным с входом устройства управления. 50899 (У1). А. В. Чиннов (RU), А. Ю. Веркутис (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU). [3].

Проволока для сварки и наплавки отличается тем, что местные отклонения в диаметре составляют не более 0,15 диаметра проволоки при следующем содержании компонентов в проволоке (%): 0,23—0,40 углерода; 0,20—1,50 кремния; 0,20—1,50 марганца; 3,00—9,00 хрома; 0,10—2,00 никеля; 0,10—2,50 молибдена; 0,10—1,50 ванадия; 0,10—2,50 вольфрама, остальное — железо. 50900 (У1).

В. В. Ветер (RU), Г. А. Белкин (RU), М. И. Самойлов (RU). ООО НПП "Валок" (RU) [3].

Устройство для управления сварочной цепью содержит электрододержатель и тиристор, включенные последовательно в сварочную цепь, и цепь управляющего электрода тиристора. Отличается тем, что цепь управляющего электрода тиристора состоит из последовательно соединенных, включенных между анодом и управляющим электродом указанного тиристора, резистора и конденсатора. 2269399 (C2). А. К. Олейник (RU). [4].

Способ контактной сварки с одновременной простановкой двух сварных точек, преимущественно коаксиально расположенных деталей, выполненных из сплавов с повышенной пластичностью в зоне температур рекристаллизации, включающий сжатие деталей и нагрев в зоне сварки электрическим током с частичным его шунтированием. Отличается тем, что сжатие выполняют с образованием линии контакта вдоль образующей деталей, а нагрев осуществляют сначала с образованием зоны с повышенной пластичностью по линии контакта вдоль образующей деталей, в которой образуют участки соединения диффузионного характера, а при дальнейшем нагреве образуют участки литого ядра в средней части сварных точек. 2269400 (C2). А. А. Кислицкий (RU), М. М. Нехода (RU), А. М. Куркин (RU) и др. ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU). [4].

Способ лазерной сварки металлов заключается в том, что локально плавят металл в зоне сварки, по меньшей мере, одним импульсом сложной формы сфокусированного лазерного излучения. Отличается тем, что дополнительно перед плавлением испаряют тугоплавкие и оксидные пленки с поверхности металла, а после плавления металл подвергают термической обработке при температуре ниже температуры плавления, причем испарение, плавление и термическую обработку осуществляют импульсом сложной формы, имеющим крутой передний фронт, достигающий максимального значения, соответствующего плотности мощности, необходимой для испарения пленок, и плавно ниспадающий задний фронт, содержащий два платообразных участка, верхний из которых имеет плотность мощности, обеспечивающую плавление материала, а нижний соответствует плотности мощности, необходимой для поддержания заданной температуры термической обработки. 2269401 (C2). В. Н. Мышковец (BY), А. В. Максименко (BY), С. В. Шалупаев (BY) и др. Учреждение образования "Гомельский ГУ им. Франциска Скорины" (BY), Республиканское УПП "558 Авиационный ремонтный завод" (BY). [4].

Способ изготовления крупногабаритной плиты-охлаждателя с продольным водоохлаждающим каналом включает установку в упомянутый канал трубы, заполнение зазора между внутренней поверхностью водоохлаждающего канала и внешней поверхностью трубы расплавленным припоем и последующую пайку. Отличается тем, что стенку устанавливаемой в водоохлаждающий канал трубы предварительно гофрируют спиралевидно расположенным гофром и после заполнения зазора расплавленным припоем до начала его кристаллизации раздают внутреннюю полость гофрированной трубы пробойником. 2269402 (C1). Н. Н. Хованов (RU), В. М. Ефимов (RU), В. В. Петров (RU), А. П. Черный (RU). [4].

Устройство для кислородно-копьевой резки металлов содержит рукоятку и трубопровод для подачи кислорода. Отличается тем, что в трубопроводе для подачи кислорода установлен регулятор расхода кислорода, включающий корпус с приемной и выпускной камерами, расположенными коаксиально и соединенными между собой. Диаметр приемной камеры больше диаметра выпускной, причем в стенке последней выполнено выпускное отверстие, в приемной камере установлен цилиндрический клапан, один торец которого снабжен упругой прокладкой, а на другом выполнена тяга. В стенке приемной камеры расположено впускное от-

верстие для подачи кислорода, со стороны приемной камеры на корпусе закреплена крышка с осевым отверстием, в котором установлен шток, один конец которого шарнирно соединен с тягой клапана, а другой — с рукояткой, закрепленной стойкой на трубопроводе для подачи кислорода, кроме того, на шток насажена пружина, размещенная в осевом отверстии крышки, один торец которой опирается на диафрагму, расположенную в проточке корпуса на границе контакта корпуса и крышки. 51360 (U1). В. Г. Кузнецов (RU), М. И. Сафин (RU), Ю. Б. Снегирев (RU) и др. ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU). [4].

Устройство для фасонной резки труб преимущественно патрубков тройников содержит раму с направляющими, каретку с закрепленным на ней резаком и установленную с возможностью возвратно-поступательного перемещения по направляющим кулису, взаимосвязанную с роликом, тяговый орган, один конец которого кинематически связан с кареткой, а другой — с кулисой, узел зажима трубы, привод ее вращения с ведущим валом и мерную линейку. Отличается тем, что устройство дополнительно содержит кулису, два кривошипа, два ролика и мерную линейку, при этом обе кулисы установлены с возможностью возвратно-поступательного перемещения, основная кулиса кинематически связана через тяговый орган с кареткой посредством установленного в направляющих ползуна, на котором кулиса закреплена неподвижно таким образом, что ее рабочие поверхности перпендикулярны рабочим поверхностям ползуна, мерные линейки смонтированы на кривошипах, дополнительная кулиса установлена на направляющей и кинематически связана с кривошипами посредством дополнительных роликов, смонтированных на этих кривошипах с возможностью перемещения вдоль линейки и фиксации; первый кривошип закреплен на ведущем валу, а второй — в опоре, смонтированной на станине, основной ролик взаимосвязан с рабочей поверхностью основной кулисы и закреплен на втором кривошипе соосно с дополнительным роликом, а на станине установлено средство для закрепления тягового органа. 51361 (U1). А. В. Стербис, В. В. Стербис. ОАО "Завод Сибгазстройдеталь" (RU). [4].

Способ зажигания дуги с контролируемым прилипанием электрода при ручной дуговой сварке включает касание электродом свариваемой детали в месте начала сварного шва и возбуждение дуги в момент отрыва электрода от детали, при этом момент касания электродом детали и момент отрыва электрода от детали детектируют путем измерения тока и напряжения в межэлектродном пространстве, формируют режим ограничения тока короткого замыкания. Отличается тем, что для создания контролируемого прилипания в момент касания электродом детали формируют кратковременный начальный режим горячего пуска с повышенным током для нагрева электрода, режим ограничения тока короткого замыкания осуществляют током, достаточным для поддержания электрода в нагретом состоянии, а возбуждение дуги в момент отрыва электрода от детали осуществляют повторным режимом горячего пуска с повышенным током. 2270080 (C1). В. С. Милютин (RU), А. А. Морозов (RU). ЗАО "Уралтермосвар" (RU). [5].

Способ контактной точечной сварки металлов с высокой электропроводностью, при котором между свариваемыми поверхностями деталей размещают металлическую прослойку. Отличается тем, что в качестве прослойки используют порошкообразный самофлюсующийся хромоникелевый сплав с высоким электросопротивлением ПГ-СР с общим содержанием Ni и Cr 70—80 %, остальное — C, Si, Mn, В, Fe, при этом указанный порошкообразный сплав наносят толщиной не более 0,3 мм на поверхность свариваемой детали. 2270081 (C1). В. С. Федянин (RU). ОАО "Ульяновский автомобильный завод" (RU). [5].

Автоматическая линия для изготовления сеток преимущественно из проволоки малого диаметра содержит бухтодержатели с бухтами, число которых равно максимальному числу продольных проволок в сетке, устройство подачи продольной проволоки, включающее направляющие устройства и правильный механизм, содержащий роликовые правилки, устройство подачи поперечной проволоки, многоточечную машину для контактной сварки, на станине которой закреплены с возможностью вертикального пере-

мещения верхние шунтирующие электроды, а также нижний электродный блок, в котором нижние электроды размещены в нижних электрододержателях и расположены на станине сварочной машины поперек направления подачи продольной проволоки, гильотину, пакетировщик и систему управления. 2270082 (С1). А. Б. Белов (RU), Ю. Г. Дузенко (RU), К. Д. Журавлев (RU) и др. [5].

Н. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.754'29:052.539.014

Остаточные напряжения в сварных соединениях алюминиевого сплава 1460. Антонов А. А., Чернышев Г. Н., Овчинников В. В., Замалетдинов Э. Р. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 3—7.

Рассмотрена конструкция измерительного комплекса ДОН для диагностики напряжений в конструкциях. Показана эффективность применения данного прибора для исследования напряжений в сварных соединениях сплава 1460. Установлено, что применение спекл-интерферометра позволяет идентифицировать участки сварных соединений, неоднозначно трактуемые по наличию дефектов на основании рентгеновских снимков. Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 10.

УДК 621.785.532

Азотирование и его влияние на свойства титанового сплава ВТ6. Пешков А. В., Селиванов В. Ф., Петренко В. Р. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 7—11.

Исследовано влияние азотирования на сопротивление высокотемпературной деформации титана и его служебные свойства. Установлено, что предварительное азотирование сплава ВТ6 толщиной 2 мм в течение 45 мин при 950 °С повышает его коэффициент вязкости при высокотемпературной деформации более чем в 10 раз, при этом циклическая усталость при 18—20 °С снижается в 0,4 раза. Ил. 6. Библиогр. 9.

УДК 621.791:004.67

Универсальная методика ремонтной сварки крупногабаритных массивных конструкций тяжелого машиностроения. Панов В. И. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 11—17.

Особенности уникальных конструкций индивидуального тяжелого машиностроения не позволяют применить традиционные технологические приемы восстановления их работоспособности — предварительный и другие виды подогрева, непрерывную многопроходную сварку, термическую обработку. Не всегда представляется возможным удалить скрытые дефекты и образовавшиеся трещины.

Разработана методика проведения ремонтной сварки уникальных конструкций индивидуального тяжелого машиностроения и оценки прочности при наличии неудаленных трещин. Методика предполагает отказ от предварительного подогрева и последующей термической обработки. Предложенная система мониторинга позволяет наблюдать за поведением неудаленной трещины как в процессе сварки, так и при эксплуатации восстановленной конструкции. Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. 24.

УДК 621.791.76.039:678.029.43

Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Математическое моделирование теплового процесса. Старостин Н. П., Аммосова О. А. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 17—20.

Предложена методика расчета продолжительности оплавления при сварке полимерных труб при температуре окружающей среды ниже нормативной, основанная на решении

двумерной задачи Стефана. Выполнен расчет продолжительности оплавления при температуре окружающей среды –40 °С. Предположена математическая модель теплового процесса при осадке, учитывающая влияние грата на кинетику температурного поля в окрестности сварного соединения. Ил. 6. Библиогр. 6.

УДК 621.375.826

Оптимизация технологических параметров лазерной газопорошковой наплавки на основе математического моделирования. Курьянинова Е. И., Ерофеев В. А. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 21—25.

Разработана физико-математическая модель процесса лазерной газопорошковой наплавки, основой которой является система дифференциальных уравнений теплопереноса и равновесия давлений на поверхности расплава, учитывающих влияние потока порошка. Численное решение уравнений модели реализовано компьютерной программой, позволяющей оценивать показатели формирования валика при заданных технологических факторах. Удовлетворительная точность воспроизведения процесса достигается при введении в модель эмпирических коэффициентов, характеризующих разлет порошка и коэффициент поглощения излучения. Табл. 5. Ил. 4. Библиогр. 7.

УДК 621.792.05:620.17

Зависимость прочности клеевых соединений от конструктивных особенностей и технологических параметров их формирования. Пещерова Т. Н., Козлов Г. В. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 25—27.

Рассмотрены конструкционные особенности клеевых соединений, в которых затруднено сближение субстратов, и их влияние на прочность клеевого шва. Выявлены ослабляющие прочность факторы, обусловленные технологическими параметрами клеевых соединений. Установлено, что при отверждении таких клеевых соединений необходимо повышать внешнее давление. Ил. 4. Библиогр. 1.

УДК 621.791.75.03—52

Полуавтомат блочно-модульной конструкции для сварки, наплавки и резки. Лебедев В. А., Пичак В. Г., Романюк В. С. и др. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 28—30.

Показано, как на основе концепции создания сварочных полуавтоматов по блочно-модульному принципу конструирования на основе базовой модели можно оптимально усовершенствовать имеющиеся модификации полуавтоматов с учетом потребностей заказчиков и областей применения оборудования. Ил. 2. Библиогр. 5.

УДК 621.791.75.042

Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. Завалинич Д. А., Стеклов О. И., Дзюба О. В. и др. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 32—39.

Проведен анализ применения современных отечественных и импортных электродов при капитальном ремонте маги-

стральных нефтепроводов в системе АК "Транснефть". Приведены марки, фирмы-производители, типы покрытия, области применения электродов, сварочно-технологические и механические свойства в зависимости от групп прочности свариваемых сталей. Даны рекомендации по выбору электродов, режимов, технологии и техники сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. Табл. 12. Ил. 1.

УДК 621.791.3

Пайка. Этапы и направления развития (к образованию некоммерческого партнерства "Союз профессиональных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова"). Фролов В. П., Пашков И. Н., Березников Ю. И. и др. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 40—44.

Описано становление и развитие пайки как науки и внедрение способов пайки в основные отрасли промышленности России. Приведены фамилии известных ученых в области пайки, стоявших у истоков ее развития: С. Н. Лоцманова, М. В. Поплавко, В. П. Вологодина, М. Г. Лозинского и др. Описан их вклад в развитие ракетно-космической техники, оборонной промышленности, авиации и других отраслей России. Отмечены научные школы и научно-исследовательские центры, обеспечившие развитие новых прогрессивных направлений пайки. Сообщается об образовании НИИ пайки, Союза профессиональ-

ных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова и восьми комитетов на его основе. Приведены основные задачи союза. Библиогр. 17.

УДК 621.795.4

Установка для метано-кислородного напыления упорочняющих покрытий из порошковых материалов. Говорин Е. В. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 44—46.

Разработана установка для напыления порошковых материалов на восстанавливаемые поверхности, работающая на смеси метана и кислорода с использованием очищенного сжатого воздуха для охлаждения сопла и повышения скорости истечения газопорошковой струи. На горелку получен патент РФ. Дано описание конструкции, приведены основные технические характеристики. Ил. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.791.75.042

Неомедненная проволока ОК AristoRod™ для МАГ-сварки. Беликов А. Б. — Сварочное производство. 2007. № 4. С. 50—52.

Неомедненные проволоки для МАГ-сварки ОК AristoRod™ с поверхностной обработкой по технологии ASC улучшают стабильность процесса сварки. При этом уменьшаются простои оборудования и снижаются затраты. Все эти факторы повышают производительность сварки. Ил. 4.

Abstracts of the articles published in "SVAROCHNOE PROIZVODSTVO", 2007, N 4

Residual stress in 1460 aluminium alloy welded joint. Antonov A. A., Chernyshev G. N., Ovchinnikov V. V., Zamaletdinov E. R. P. 3—7.

A construction of the DON speckle-interferometer for structure stress diagnostics is considered. The device application efficiency for 1460 alloy welded joints stress analysis is shown. It is established, that usage of the DON speckle-interferometer allows for identifying weld areas, which are interpreted ambiguously as for the defect presence judging by the X-ray images.

Nitriding and its effect on the properties of BT6 titanium alloy. Peshkov A. V., Selivanov V. F., Petrenko V. R. P. 7—11.

Nitriding effect on the resistance to titanium high-temperature deformation and its service properties are studied. It is established, that pre-nitriding of the BT6 alloy of 2 mm thick during 45 min at 950 °C rises its coefficient of viscosity more than ten-fold at high-temperature deformation; at the same time cyclic fatigue decreases 0,4 times at 18—20 °C.

Heavy engineering constructions repair welding technique. Panov V. I. P. 11—17.

Design features of the specified heavy engineering constructions do not allow for applying working capacity restoration standard processes, i. e. preheating and other types of heat, continuous multi-pass welding, and heat treatment. Latent defect and cracks can be removed not always.

Repair welding technique is developed for specified heavy engineering constructions; strength estimation involving unremoved cracks is suggested. It is presupposed to abandon preheating and further heat treatment. The suggested monitoring system allows for controlling the unremoved crack behaviour both at welding and at the restored construction operation.

Polymeric tubes contact flash welding at low ambient temperatures. Part 1. Mathematical simulation of heat processes. Starostin N. P., Ammosova O. A. P. 17—20.

Burning-off period calculation technique at polymeric tubes welding at ambient temperatures less than standard is suggested. It is based on the Stephan two-dimensional problem solution. Burning-off period calculation are carried out for the ambient tempera-

tures —40 °C. Mathematical simulation is suggested for the upset heat process, considering flash effect on the temperature field kinetics in the welded joint vicinity.

Laser gas-and-powder weld deposition process variables optimization on the base of mathematical modelling. Kuryanova Ye. L., Yerofeev V. A. P. 21—25.

Physical-and-mathematical model of laser gas-and-powder weld deposition is developed. The model is based on the heat-and-mass-transfer and melt-surface pressure equilibrium differential-equations system considering powder flow influence. Numerical solution of the model equation is computer-program implemented. The program allows for estimating bead formation at specified processing factors. Reasonable accuracy of the process reproduction is achieved by introducing fitted coefficient into the model. These coefficients characterize powder dispersion and radiation absorption coefficient.

Adhesive joints structural features and formation process variables influence on the joint efficiency. Pescherova T. N., Kozlov G. V. P. 25—27.

Structural features of adhesive joints, in which substrate approach is impeded, and their influences on the glue joint strength are covered. Strength reducing factors caused by the adhesive joints process variables are shown up. It is established that it is necessary to raise external pressure at such adhesive joints hardening.

Semi-automatic device new model of modular configuration for welding, weld deposition and cutting. Lebedev V. A., Pichak V. G., Romanyuk V. S., Kuzmin I. S., Bukin I. S. P. 28—30.

It is shown, how basing on the design concept of welding semi-automatic device of modular configuration one can optimally update the present modifications of semi-automatic devices taking into consideration customers' requirements and range of application of the equipment.

Study of modern domestic and foreign electrodes usage at main oil pipeline overhauling. Zavalinich D. A., Steklov O. I., Dzyuba O. V., Lozovoy V. G., Schegolev V. A. P. 32—39.

Modern domestic and foreign electrodes application at main oil pipeline overhauling in the "Transneft" SC system are analyzed.

Electrode types, manufacturers, coating grades, fields of application are given, as well as welding and mechanical properties depending on the strength group of the welded steels. Recommendations are given on the choice of electrodes, modes, technology and welding practice at main oil pipelines construction and overhauling.

Soldering. Stages and lines of development (To the non-commercial partnership constituting "Lotsmanov professional solders' union"). Frolov V. P., Pashkov I. N., Bereznikov Yu. L., Ilna I. I., Plaunov V. P. P. 40—44.

Formation and development of soldering as a science and application of the soldering techniques to staple industries of Russia are described. The names of the famous scientists in the field of soldering, who originated its development, are given, among them S. N. Lotsmanov, M. V. Poplavko, V. P. Vologdina, M. G. Lozinsky, et al. Their technological contribution to space rocketry, defense industry, avionics, and other industries in Russia are covered. Schools of thought and research centers, provided for develop-

ment of new advanced guidelines in soldering, are mentioned. An information on establishing a research institute for soldering, the S. N. Lotsmanov professional solders' union and based on it eight committees is given. Major tasks of the union are stated.

Methane-and-oxygen spraying machine for powder strengthening coating. Govorin Ye. V. P. 44—46.

Powder materials spraying machine is developed for restoring surfaces. Its performance is based on the methane-oxygen mixture applying refined compressed air to cool nozzle and to increase gas-powder outflow velocity. A RF patent for the torch is taken out. Construction is described, main technical data is given.

The OK AristoRod™ non-coppered wire for MAG-welding. Belikov A. B. P. 50—52.

The OK AristoRod™ non-coppered wires for MAG-welding with ASC surface treatment improve stability of the welding process. At the same time idle time of the equipment and costs are reduced. All these factors increase the welding efficiency.

Внимание! Информация


www.MVK.ru
(495) 105-34-42



на правах рекламы

РОССИЯ, МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»

30 октября – 2 ноября 2007

**СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ**



WELDEX

РОССВАРКА

7-я Международная специализированная выставка

www.weldex.ru

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4

Дирекция выставки: тел./факс: (495) 105-34-42, e-mail: msa@mvk.ru

Регionalные представительства
Выставочного холдинга MVK:

MVK-УРАЛ: тел./факс: +7 (343) 371-24-76
MVK-СИБИРЬ: тел./факс: +7 (383) 226-53-17
MVK-ЮГ: тел./факс: +7 (863) 234-52-45

MVK-ВОЛГА: тел./факс: +7 (843) 291-75-89
MVK-СЕВЕРО-ЗАПАД: тел./факс: +7 (812) 332-15-24

Организатор:

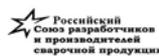
■ Выставочный холдинг MVK

При поддержке:

Министерства промышленности и энергетики РФ
Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков

При содействии:





Генеральный информационный спонсор:



Журнал
«Сварочное производство»

Информационные спонсоры:










Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 14.02.2007. Подписано в печать 20.03.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 11,15. Заказ 07/07.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

70807 в каталоге Агентства "Роспечать"; 27860 в Объединенном каталоге "Пресса России"; 60256 в каталоге "Почта России".