



# Сварочное производство

12 (877)  
Декабрь  
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**

<b>В. К. Драгунов</b>	<b>О. Н. Севрюков</b>
<b>А. С. Зубченко</b>	<b>З. А. Сидлин</b>
<b>Е. А. Калашников</b>	<b>Н. В. Смирнов</b>
<b>В. И. Лукин</b>	<b>В. А. Судник</b>
<b>В. П. Лялякин</b>	<b>В. А. Фролов</b>
<b>Г. А. Меньшиков</b>	<b>В. А. Хаванов</b>
<b>В. Н. Панин</b>	<b>Ф. А. Хромченко</b>
<b>И. Н. Пашков</b>	<b>О. А. Цукуров</b>
<b>В. В. Пешков</b>	<b>И. Н. Шиганов</b>
<b>А. И. Рымкевич</b>	

**Редакция:**

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

Электронная верстка: *Т. А. Шацкая*  
Дизайн обложки: *Е. С. Благовидов*  
Редактор-переводчик *Е. О. Егорова*  
Редактор-обозреватель *Ан. А. Суслов*  
Корректор *М. Г. Джавадян*

**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 "Taylor & Francis" (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное производство" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала.

При перепечатке материалов ссылка на журнал "Сварочное производство" обязательна.

В случае обнаружения полиграфического брака редакция журнала просит обращаться в типографию.

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых 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 ответственность несет рекламодатель.

Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Муравьев В. И., Крупский Р. Ф., Физулаков Р. А., Демышев П. Г., Агалаков Ю. С.** — Влияние качества присадочной проволоки на порообразование при сварке титановых сплавов \_\_\_\_\_ 3
- Фролов В. А., Никитина Е. В.** — Системный анализ свариваемости алюминиевых сплавов \_\_\_\_\_ 8
- Гнюсов С. Ф., Гнюсов К. С., Дураков В. Г.** — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5+WC \_\_\_\_\_ 12
- Виноградов Б. А., Харичева Д. Л., Мещерякова Г. П., Денисова А. А., Кудрявцев А. О.** — Решение осесимметричной тепловой задачи с учетом напряженно-деформационного состояния при пайке конусных металлокерамических соединений \_\_\_\_\_ 16
- Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С.** — Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов \_\_\_\_\_ 22
- Половцев В. А., Макаров Н. В., Шилло Г. В., Сабанцев А. В., Смирнова Т. Н., Штрикман М. М.** — Фрикционная сварка алюминиевых лайнеров металлокомполитных баллонов высокого давления \_\_\_\_\_ 24

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Ильященко Д. П., Сапожков С. Б.** — Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения \_\_\_\_\_ 28
- Рачков С. А., Горяинова Л. П.** — Применение установок серии "ЭЛТЕРМ УИН" при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов \_\_\_\_\_ 31
- Сидлин З. А.** — К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки \_\_\_\_\_ 32
- Сидякин В. А.** — Технология и оборудование стыковой сварки дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов \_\_\_\_\_ 35
- Оголихин В. М., Шемелин С. Д.** — Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов \_\_\_\_\_ 41
- Дубов А. А.** — Опыт стандартизации новых технологий и методов неразрушающего контроля во взаимодействии с Международным институтом сварки \_\_\_\_\_ 46

### ИНФОРМАЦИЯ

- Суслов Ан. А.** — 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК" \_\_\_\_\_ 48

### БИБЛИОГРАФИЯ

- Содержание зарубежных журналов по сварке** \_\_\_\_\_ 55
- Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки** \_\_\_\_\_ 56
- Рефераты опубликованных статей** \_\_\_\_\_ 57
- Алфавитный указатель статей за 2007 г.** \_\_\_\_\_ 60

\* \* \*

- А. Ф. Пузырьков — 70 лет** \_\_\_\_\_ 64



**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
A. S. Zubchenko	Z. A. Sidlin
E. A. Kalashnikov	N. V. Smirnov
V. I. Lukin	V. A. Sudnik
V. P. Lyalyakin	V. A. Frolov
G. A. Menshikov	V. A. Khavanov
V. N. Panin	F. A. Khromchenko
I. N. Pashkov	O. A. Tsukurov
V. V. Peshkov	I. N. Shiganov
A. I. Rymkevich	

**Editorial staff:**

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

Electron galley: T. A. Shatskaya  
Cover design: E. S. Blagovidov  
Editor-translator E. O. Egorova  
Editor-reviewer An. A. Suslov  
Proof-reader M. G. Javadyan

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 re-print is obligatory.

The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Taylor & Francis" (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

- Muraviov V.I., Krupsky R.F., Fizulakov R.A., Demyshev P.G., Agalakov Yu.S. — Filler wire quality effect on the pore-formation at titanium alloys welding \_\_\_\_\_ 3
- Frolov V.A., Nikitina Ye.V. — Systems analysis application to evaluate aluminium alloys weldability under conditions of arc welding \_\_\_\_\_ 8
- Gnyusov S.F., Durakov V.G., Gnyusov K.S. — Vacuum electron-beam welding deposition of the carbide steels. Part 2: Characteristic properties of the steel P6M5+WC coatings structure and properties formation \_\_\_\_\_ 12
- Vinogradov B.A., Kharicheva D.L., Mescheryakova G.P., Denisova A.A., Kudryavtsev A.O. — Solution of the axially symmetric heat problem considering mode of deformation at soldering conic metal-and-ceramic joints \_\_\_\_\_ 16
- Storchay Ye.I., Lantushenko L.S. — Environmentally appropriate technique of aluminium alloys non-fluxing soldering \_\_\_\_\_ 22
- Polovtsev V.A., Makarov N.V., Shillo G.V., Sabantsev A.V., Smirnova T.N., Shtrikman M.M. — Metal-composite high-pressure cylinder aluminium liners friction welding \_\_\_\_\_ 24

### PRODUCTION SECTION

- Ilyaschenko D.P., Sapozhnikov S.B. — Shielded hand arc welding spitting and ways to its decrease \_\_\_\_\_ 28
- Rachkov S.A., Goryainova L.P. — Use of the Elterm Win Series installations for the main pipelines welds heat treatment \_\_\_\_\_ 31
- Sidlin Z.A. — On the quality problem of the modern domestic electrodes for hand arc welding \_\_\_\_\_ 32
- Sidyakin V.A. — Techniques and equipment for the butt-seam low pressure arc welding of adapting pipes from dissimilar metals \_\_\_\_\_ 35
- Ogolikhin V.M., Shemelin S.D. — Explosion welding of thin sheet slugs: palletized or roll arrangement of the welded elements \_\_\_\_\_ 41
- Dubov A.A. — New technologies and non-destructive check-and-testing methods standardization practice in coordination with Welding International Institute \_\_\_\_\_ 46

### INFORMATION

- Suslov An.A. — The "Double technologies" International exhibition \_\_\_\_\_ 48

### BIBLIOGRAPHY

- Contents of the foreign journals in the field of welding \_\_\_\_\_ 55
- RF patents, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding \_\_\_\_\_ 56
- Abstracts of the published articles \_\_\_\_\_ 58
- Alphabetic index of the articles published in 2007 \_\_\_\_\_ 60

\* \* \*

- A. F. Puzryakov is 70 years old \_\_\_\_\_ 64

УДК 621.791.620.192.47

**В. И. МУРАВЬЕВ**, д-р техн. наук, **Р. Ф. КРУПСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**Р. А. ФИЗУЛАКОВ**, канд. техн. наук, **П. Г. ДЕМЫШЕВ**, канд. техн. наук,  
**Ю. С. АГАЛАКОВ**, инж.

ОАО "Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю. А. Гагарина"

## Влияние качества присадочной проволоки на порообразование при сварке титановых сплавов

В настоящее время проведено много исследований по выяснению причин образования пор в сварных соединениях из титана и его сплавов [1—8].

В работе [2] полно и обоснованно сформулированы основные закономерности образования пор при сварке плавлением титана и его сплавов. В работе [3] экспериментально доказано отсутствие пор в металле при проплавлении целой пластины при искусственном увеличении концентрации газа (водорода) в твердом растворе.

Готовыми зародышами газовой фазы при расплавлении могут быть дефекты торцевой поверхности свариваемых кромок при наличии в их объеме адсорбированных газов, паров воды и загрязнений, способных разлагаться с образованием пор [3].

Экспериментально доказано, что при нагреве в процессе сварки кромки сдвигаются и поверхностные дефекты, заполненные молекулярным водородом и парами не успевшей разложиться влаги, образуют закрытые полости [4]. При расплавлении в этих полостях формируются газовые пузырьки, в которые может диффундировать растворенный водород.

В работе [4] экспериментально установлено, что если дуга находится ближе 60 мм от точки замера, то под действием температурных деформаций стык закрывается, и в дальнейшем кромки оказывают давление друг на друга. При повышенной температуре взаимное давление кромок приводит к пластическому течению металла в стыке перед сварочной ванной, где создаются необходимые условия для сварки давлением.

В работах [5, 6] показано, что при сварке металла большой толщины с разделкой кромок шероховатая поверхность присадочной проволоки может создавать благоприятные условия для зарождения газовых пузырьков из-за наличия адсорбированной влаги. Закрытые газовые полости в этом случае образуются либо в момент расплавления проволоки (при сварке плавящимся электродом), либо в момент погружения электрода в сварочную ванну (при сварке неплавящимся электродом). Исследования проводили на пластинах из сплавов ОТ4 и ВТ14 толщиной соответственно 4 и 8 мм с присадочной проволокой из сплава ВТ1-00.

Дефекты в виде рисок, надиров, расслоений — практически

неизбежный вид дефекта волоочного происхождения при обработке титановых сплавов без специальных подмазочных покрытий или при использовании смазок из графита [7]. Эти дефекты размером от 0,1 до 0,3 мм в зависимости от диаметра проволоки допускаются на сварочной титановой проволоке.

Исследований влияния допустимых дефектов присадочной проволоки на порообразование при сварке тонколистовых конструкций очень мало. Поэтому цель данной работы — выявление влияния качества присадочной проволоки ВТ1-00 на порообразование при сварке тонколистовых конструкций из титановых сплавов.

Для исследований были отобраны две бухты сварочной проволоки ВТ1-00 и принятые по техническим требованиям ГОСТ 27265—87 "Проволока сварочная из титана и титановых сплавов". Сварку проводили на образцах-имитаторах ребристых панелей и технологических образцах из сплава ВТ20.

Свариваемые материалы, аргоны и сварочную проволоку подготавливали в соответствии с технологией ПИ 1.4.1898—2003.

Качество поверхности проволоки исследовали замером шероховатости на профилометре и макро- и микроисследованиями на растровом электронном микроскопе JSM-5600 фирмы JEOL (Япония) с волновым микрозондом. Исследования химического состава и примесей газов проводили на мобильном оптико-эмиссионном анализаторе ARK-met фирмы PPM-System, водорода — спектральным методом с применением низковольтного и импульсного разрядов методом трех эталонов на спектрографе ИСП-51 в соответствии с ОСТ 90034—81.

При сварке образцов использовали два основных типа соединений — стыковое и тавровое (сварка сквозным проплавлением), для исключения влияния качества подготовки кромок под сварку технологических образцов сварку проводили по цельной пластине.

Режимы сварки образцов-имитаторов и технологических образцов приведены в табл. 1.

Качество сварного шва исследовали рентгенконтролем с выявлением пор диаметром от 0,05 мм

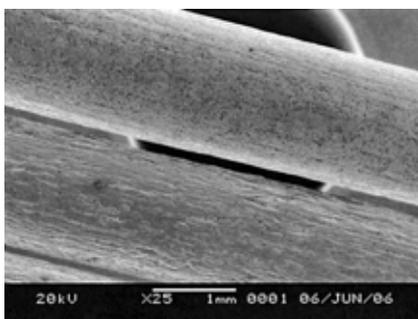


Рис. 1. Внешний вид поверхности проволоки

и более, их количества, протяженности в цепочке и места расположения. Кроме того, исследовали воздействие теплоты при сварке на разогрев присадочной проволоки в момент подачи ее в сварочную ванну и на дегазацию влаги с ее поверхности до момента ее погружения в расплав сварочной ванны.

Химический состав и механические свойства проволоки ВТ1-00 приведены в табл. 2. Видно, что по механическим свойствам и химическому составу проволока соответствует ГОСТ 27265—87.

При замере на профилометре для первой бухты установлен па-

раметр шероховатости поверхности проволоки  $Ra = 1,6$  мкм, для второй бухты —  $Ra = 3,2$  мкм. Электронно-микроскопическими исследованиями установлено существенное различие качества поверхности проволоки первой и второй бухт. Макроструктура поверхности проволоки первой и второй бухт также различается (рис. 1, 2). Проволока второй бухты имеет более грубую поверхность и, как следствие, большую шероховатость ( $Ra = 3,2$  мкм), на ней обнаружены поверхностные микротрещины (рис. 3).

Для определения глубины микротрещин были сделаны поперечные микрошлифы исследуемой проволоки (рис. 4—6).

На рис. 4 видно, что плотность поверхностных дефектов значительно выше у проволоки второй бухты. Глубину дефектов можно определить при большем увеличении (см. рис. 5). Плотность поверхностных дефектов больше у проволоки второй бухты: численная оценка показала трехкратное увеличение дефектов (см. рис. 5). Глубина рисок на поверхности проволоки обеих ти-

Таблица 1

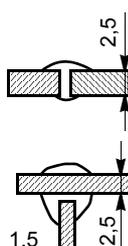
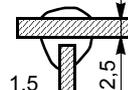
Соединение	Сварочный ток, А	Опорное напряжение дуги, В	Скорость сварки, мм/мин	Скорость подачи присадочной проволоки, мм/мин	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Присадочная проволока	Диаметр присадочной проволоки, мм	Расход аргона, л/мин		
								Горелка	Козырек	Наладка
	260	9	125	560	3	ВТ1-00	1,6	9	7	7
	400	11								

Таблица 2

Номер бухты	Содержание, %						$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
	Fe	Si	Al	H <sub>2</sub>	O	N		
1	0,036	0,039	0,037	0,0016	0,10	0,007	365	39
2	0,032	0,027	0,039	0,0011	0,98	0,006	360	37

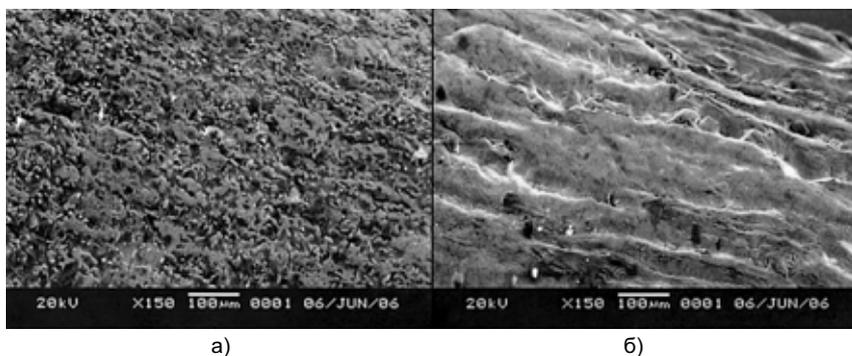


Рис. 2. Поверхность проволоки из первой (а) и второй (б) бухт. (×150)

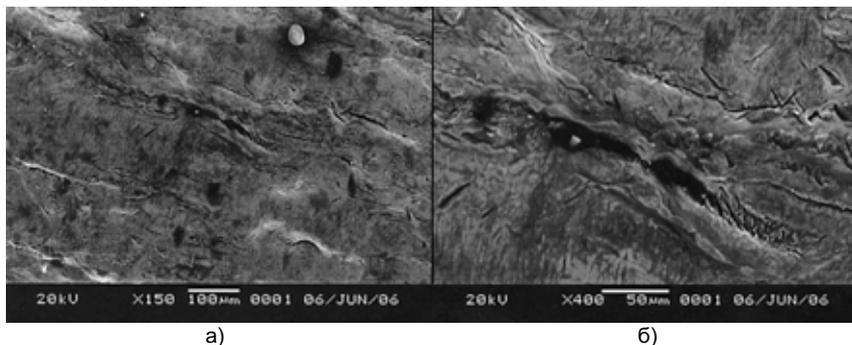


Рис. 3. Микротрещины на поверхности проволоки второй бухты: а, б — ×150 и 400

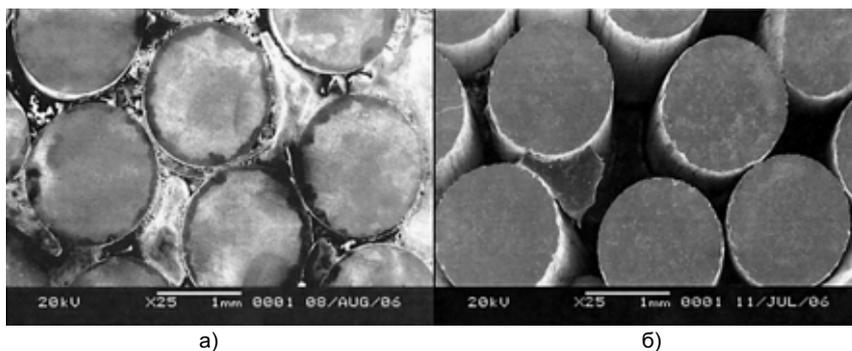


Рис. 4. Поперечный шлиф проволоки первой (а) и второй (б) бухт. ×25

пов сопоставима и составляет 10—70 мкм. Однако в структуре проволоки второй бухты наблюдаются глубоко проникающие микротрещины, которые имеют сложную, разветвленную форму (см. рис. 6).

Проведенные исследования показали, что на поверхности проволоки из обеих бухт присутствуют дефекты в виде микротрещин. Различие заключается в количестве и глубине залегания этих микротрещин. Поверхность проволоки второй бухты более грубая, с явно выраженными глубокими

продольными и поперечными бороздками. Она содержит большее количество более объемных по границам первичных зерен микротрещин со сложной структурой.

Количественные значения параметров рентгенконтроля сварных соединений образцов-имитаторов имеют высокие значения, не допустимые для швов I категории как для стыковых, так и тавровых соединений при сварке с присадочной проволокой второй бухты. Для присадочной проволоки первой бухты такие недопустимые дефекты не выявлены.

При сварке технологических образцов установлено, что поры в сварном шве образуются при использовании присадочной проволоки как первой, так и второй бухт независимо от вида сварки: стыковая, тавровая проплавлением и по цельной пластине (табл. 3).

Существенное различие наблюдается в оценке размеров и количества пор. Все образцы, сваренные присадочной проволокой второй бухты, имеют поры, не допустимые для швов I категории по ПИ 1.4.1898—2003 по длине цепочек пор и величине; преобладают поры диаметром более 0,5 мкм, как показано на рентгенограммах. Все образцы, сваренные присадочной проволокой первой бухты, имеют незначительное количество мелких одиночных пор, допустимых для швов I категории (рис. 7).

Высокая химическая активность титана и его сплавов обуславливает на их поверхности физическую адсорбцию и в последующем — хемосорбцию. Обычно скорость физической адсорбции весьма велика, адсорбционное равновесие достигается за считанные секунды (10—20 с), причем 90—95 % адсорбирующего вещества связывается с адсорбентом уже за 1—2 с.

Помимо поверхностной адсорбции во множестве капилляр-

Таблица 3

Соединение	Количество пор на 100 мм шва при Ra, мкм	
	1,6	3,2
Стыковое	0/8	15/24
Тавровое	0/2	37/72
По цельной пластине	0/3	7/24

Примечание. В числителе приведено число пор диаметром не менее 0,5 мм, в знаменателе — общее число пор.

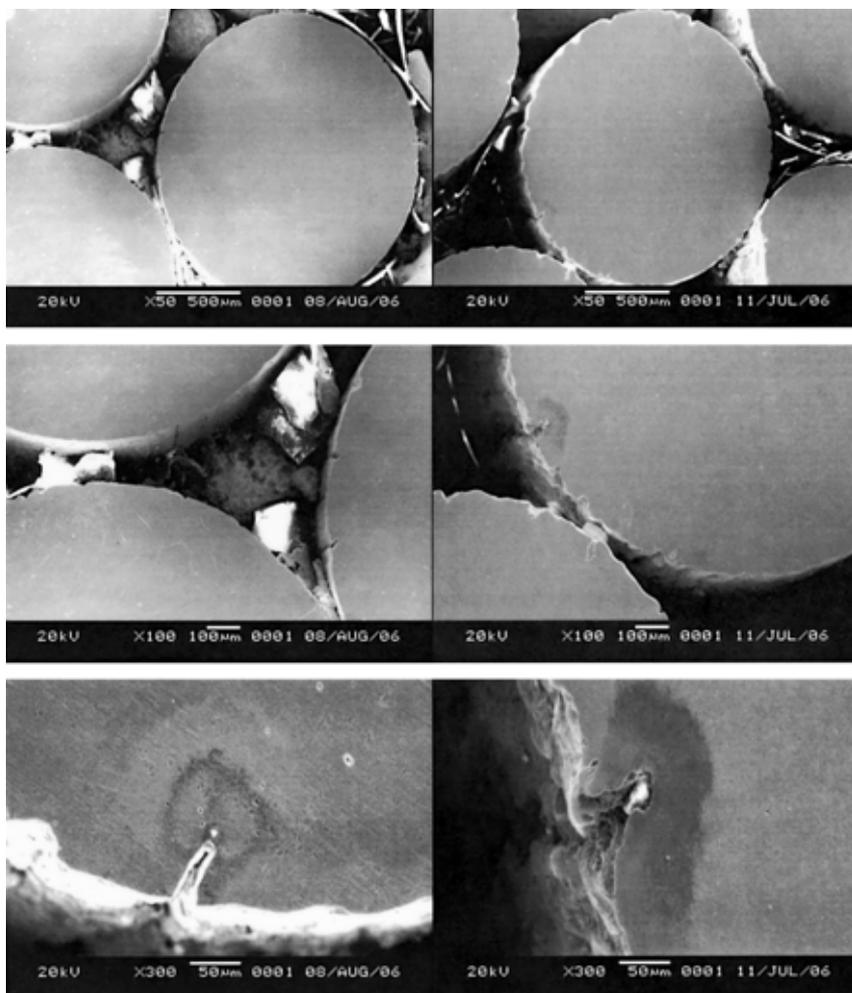


Рис. 5. Поперечный шлиф проволоки первой (левый столбец) и второй (правый) бухт

ных углублений и полостей шероховатой поверхности может протекать процесс капиллярной конденсации влаги.

Водяной пар над конусообразной поверхностью будет насыщенным и конденсироваться, если его давление больше или равно определенному из уравнения Томсона—Кельвина:

$$pk = p \exp\left(\frac{2\sigma Vm}{rRT}\right), \quad (1)$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение воды;  $Vm$  — мольный объем воды.

Вероятность капиллярной конденсации влаги увеличивается с уменьшением температуры конденсации, и она особенно велика при переносе охлажденных деталей в теплую среду, скорость капиллярной конденсации влаги

значительно меньше, чем адсорбция влаги открытой поверхностью титана.

Процессы удаления адсорбированной на поверхности стыкуемых кромок и сварочной проволоки жидкости не представляют существенной сложности по сравнению с процессом удаления капиллярно-конденсирован-

ной жидкости из полости дефектов, поскольку температурно-временные условия протекания этих процессов различаются на несколько порядков.

При исследовании воздействия теплоты дуги на разогрев присадочной проволоки в момент подачи ее в сварочную ванну установлено следующее. Исходя из условий подачи проволоки, согласно режимам сварки, в одну секунду в сварочную ванну при стыковой сварке подается 9,3 мм проволоки, а при сварке сквозным проплавлением — 7,3 мм. Как видно на рис. 8, нагрев проволоки (2,5—3 мм) незначителен и, согласно цветам побежалости, самая удаленная часть от торца проволоки нагревается до 350 °С за 0,3 с. Для удаления с поверхности металлов поверхностно-адсорбированной и капиллярно-конденсированной жидкости температурно-временные условия различаются на несколько порядков. Поэтому времени 0,3 с недостаточно для удаления капиллярно-конденсированной влаги с поверхности присадочной проволоки, что приводит к попаданию этой влаги в сварочную ванну и образованию пор.

Это свидетельствует о том, что критерий количественной оценки адсорбированной влаги на поверхности кромок заготовок и сварочной проволоки по параметрам шероховатости применять некорректно, необходимо учитывать глубину  $h$  дефектного слоя [8].

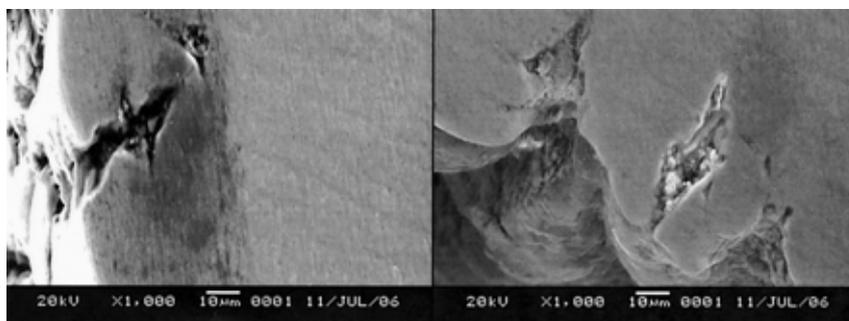
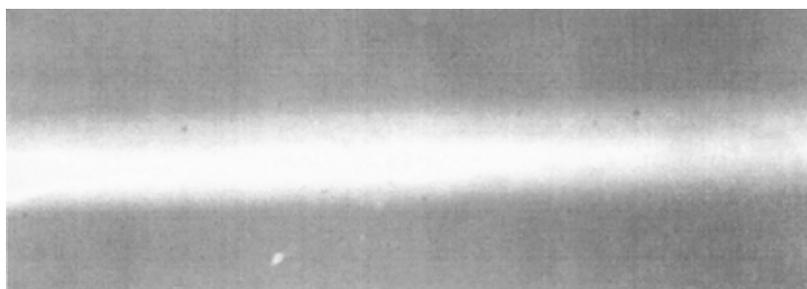
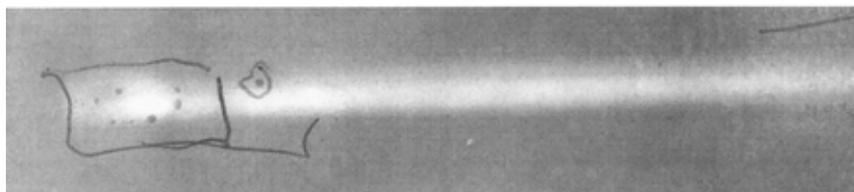
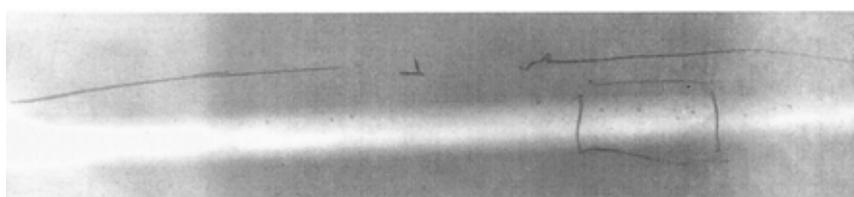
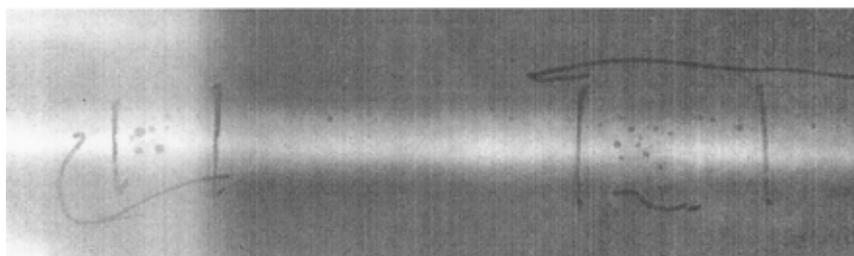
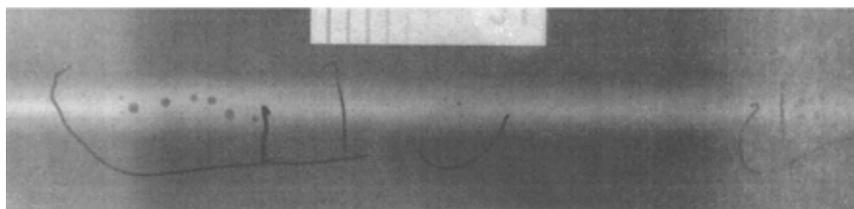


Рис. 6. Структура микротрещин на поверхности проволоки второй бухты



а)



б)

Рис. 7. Рентгенограмма сварного шва, сваренного присадочной проволокой первой (а) и второй (б) бухт

Наличие на поверхности присадочной проволоки дефектного слоя в виде макро-, микро- и субмикротрещин и задиров (надрывов) существенно различно для проволоки первой и второй бухт.

Макро- и микроисследованиями установлено, что глубина дефектного слоя проволоки первой и второй бухт не превышает 0,01—0,07 мм, хотя их параметры шероховатости различны: соответственно 1,6 и 3,2 мкм.

Еще большее различие наблюдается по плотности, глубине и характеру распространения

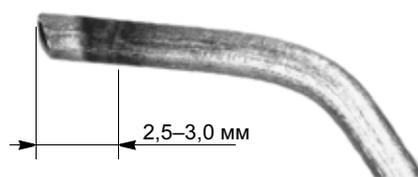


Рис. 8. Распределение температуры по поверхности присадочной проволоки в момент окончания сварки (по цветам побежалости)

микротрещин и субмикротрещин (трехкратное превышение у проволоки второй бухты).

Применение более качественной сварочной проволоки существенно снижает пористость сварного шва. В связи с этим целесообразно оптимизировать существующую технологию изготовления титановой проволоки, а также разработать новые технологии ее изготовления.

## ВЫВОДЫ

1. Применение в качестве критерия количественной оценки адсорбированной влаги на поверхности кромок заготовок и сварочной проволоки по параметрам шероховатости некорректно, поскольку при этом не учитывается глубина дефектного слоя в виде макро-, микро-, субмикротрещин, образованного механическим воздействием (разрушением) и травлением.

2. Применение более качественной сварочной проволоки существенно снижает пористость сварного шва. При этом дефектность проволоки необходимо оценивать глубиной дефектного слоя.

3. Для удаления с поверхности присадочной проволоки поверхностно-адсорбированной и капиллярно-конденсированной жидкости температурно-временные условия различаются на несколько порядков. Поэтому времени 0,3 с недостаточно для удаления капиллярно-конденсированной влаги с поверхности присадочной проволоки, что приводит к попаданию этой влаги в расплавленную ванну и образованию пор.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравьев В. И. Особенности изготовления и оценки качества крупногабаритных тонкостенных сварных конструкций из сплава ВТ20 // *Авиационная промышленность*. 1986. № 8. С. 15—18.



при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем техническом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют". Определение не регламентирует способов оценки свариваемости, однако дает общий подход:

— необходимо оценить влияние воздействия принятого процесса сварки на все зоны соединения;

— при оценке свойств сварного соединения необходимо в первую очередь учитывать области применения и функциональное назначение.

С этой точки зрения все технологические факторы, способные существенно изменить исходные свойства материалов в процессе сварки, можно подразделить на две группы:

— особенности термомеханического воздействия цикла сварки на соединяемые материалы;

— металлургические особенности воздействия на сварное соединение [1].

С точки зрения конечных свойств сварного соединения наиболее важными процессами являются:

- изменение химического состава, структуры и свойств материала в зоне соединения,
- уровень напряжений и деформаций, существующих или возникающих в процессе сварки в зоне соединения.

Сварное соединение неоднородно и в нем при анализе свариваемости обычно дифференцируют три зоны: металл шва, ЗТВ, основной металл. Однако анализ протекающих при сварке процессов и, соответственно, анализ формирующейся в процессе дуговой сварки физической, химической и структурной неоднородности показал, что фактически в

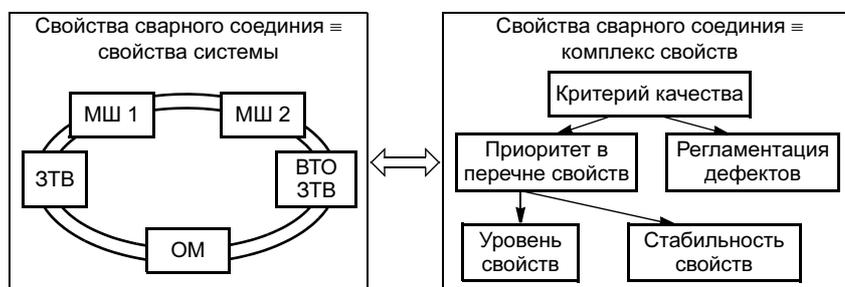


Рис. 2. Системный подход к оптимизации процесса получения неразъемного соединения

сварном соединении можно выделить пять различных (по характеру структуры или составу) квазиоднородных зон (рис. 2): основной металл (ОМ), ЗТВ и высокотемпературную область в ней (ВТО ЗТВ), металл шва (МШ1), формирующийся при кристаллизации ламинарного слоя сварочной ванны, и металл, формирующийся при кристаллизации центрального турбулентного слоя сварочной ванны (МШ2).

Необходимость выделения ВТО ЗТВ в отдельную зону связана с тем, что в процессе воздействия термического цикла сварки плавление, а затем и кристаллизация металла происходят (в отличие от металла шва) в стесненных условиях и определяются развитием разделительной диффузии. Необходимость выделения в металле сварочной ванны (а затем и в шве) области ламинарного течения (МШ1) обусловлена механизмом легирования этой области: в отличие от области турбулентного течения в сварочной ванне (МШ2), где обеспечивается равномерное распределение легирующих элементов, в этой зоне распределение легирующих элементов неравномерное и определяется развитием диффузионных процессов.

Свойства сварного соединения в целом определяются наиболее слабой (лимитирующей) зоной. Разработанный способ<sup>1</sup> непосредственной оценки свойств

локальных зон сварных соединений [2] позволил не только определить свойства лимитирующей зоны, но и использовать системный анализ при отработке металлургических приемов воздействия на свойства сварного соединения.

Свойства лимитирующей зоны в свою очередь образуют комплекс свойств и, следовательно, при оптимизации металлургического воздействия процесса дуговой сварки необходимо обоснованно назначать критерий качества.

Оптимизация технологии изготовления сварных конструкций возможна только по одному показателю (прямому или комплексному). Исходя из современной практики изготовления сварных конструкций, характеризующейся частой сменой типов узлов и небольшой программой выпуска, признано нецелесообразным использовать метод экспертных оценок для назначения комплексного критерия качества. Вместо этого проводят системный анализ показателей качества сварного соединения, свойств его отдельных зон, а также экономической целесообразности технологического процесса его получения. Для каждого отдельного типа сварных конструкций после ранжирования перечисленных факторов фактор с рангом, равным единице, получает статус параметра оптимизации, остальные факторы в порядке приоритета получают сертификационный (пороговый) статус (см. рис. 2).

<sup>1</sup> А. с. 1795344 (СССР).

Использование литых деталей в цельносварных конструкциях имеет специфические особенности: при сварке разноименных деталей — деформированного полуфабриката и отливки — возникает значительная химическая и структурная неоднородность в зоне соединения и, кроме того, со стороны отливки в сварном соединении часто формируется сетчатая пористость [3]. Анализ требований, предъявляемых к узлам летательных аппаратов, выполняемых из алюминиевых сплавов, показал, что приоритетным является требование обеспечения герметичности (1-й ранг). Регламентируются (2-й ранг): объем и размер допускаемых внутренних дефектов (пористость) и обеспечение механических характеристик сварного соединения на уровне 0,8—0,9 от характеристик наименее прочного материала.

При получении сварного соединения листов из высокопрочного сплава 1420 с отливкой из сплава ВАЛ16 в качестве параметра оптимизации выбран показатель объема дефектов, приводящих к потере герметичности сварных соединений.

Анализ процессов, протекающих в исследуемых материалах в диапазоне температур эффективного интервала кристаллизации, показал, что критическими температурами, вызывающими образование максимальных по объему несплошностей, являются для сплава 1420 585—590 °С, для сплава ВАЛ16 — 560—590 °С. Установлено, что для литых пластин из сплава ВАЛ16 не наблюдается значимой зависимости между исходной пористостью основного металла и пористостью металла шва. В связи с этим характеристика исходной пористости не может служить характеристикой качества литых изделий, подлежащих сварке.

При аргонодуговой сварке (АрДС) сплавов ВАЛ16 и 1420 в

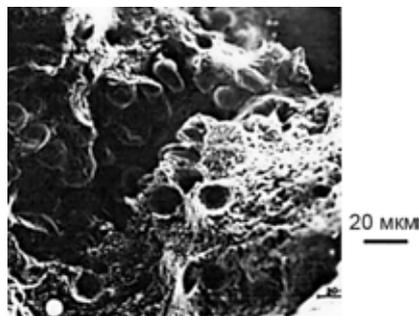


Рис. 3. Рыхлоты в ВТО ЗТВ при АрДС сплава ВАЛ16 (РЭМ)

ВТО ЗТВ со стороны сплава ВАЛ16 наблюдается негативное явление: расширяющиеся под воздействием термического цикла сварки газы вытесняют часть жидкой фазы с пузырьками газа в сварочную ванну. В ВТО ЗТВ при этом формируются сетчатые газоусадочные рыхлоты (рис. 3). Выход таких сообщающихся рыхлот на поверхность может привести к потере герметичности. С целью уменьшения вероятности подобных дефектов предлагается применять сопла с большим диаметром на срезе, что уменьшает вероятность окисления поверхностных слоев ВТО ЗТВ; применять защитную среду — аргон с добавками сернистого газа (1—5 %) или гексафторида серы (0,5—3 %), обеспечивающих образование защитного слоя (оксида), предотвращающего образование подповерхностных рыхлот в ВТО ЗТВ; использовать импульсную дуговую сварку (ИДС), обеспечивающую минимальную по ширине зону ВТО ЗТВ. Несмотря на то, что использование активных газов наиболее эффективно, из экологических соображений было принято рациональным использование ИДС.

Проведенные исследования показали, что наименьшие пористость и содержание газов в шве при АрДС сплавов 1420 и ВАЛ16 в непрерывном режиме формируются при наименьшей погонной энергии, обеспечивающей требуемую форму шва, и при

скорости сварки 12—15 м/ч. Установлено, что для обеспечения полноты протекания процесса дегазации наиболее рациональны режимы с малой жесткостью  $G = 0,5 \div 0,6$  и небольшой продолжительностью цикла  $\tau_{\text{ц}} = 0,3 \div 0,6$  с.

Трудность получения сварных соединений разноименных сплавов (1420 и ВАЛ16) связана не только с выбором оптимальных режимов АрДС, но и с распределением вводимой при сварке теплоты (установлено, что для получения симметричной формы шва необходимо смещение от линии стыка на 0,5—1,0 мм в сторону детали из сплава 1420) и выбором присадочного материала. В соответствии с эксплуатационными требованиями присадочный материал должен обеспечивать минимальный разброс свойств металла различных зон сварного соединения и минимальную пористость в них, не ухудшать стойкость против образования горячих трещин и коррозионные свойства сварного соединения. Учет последних факторов накладывает ограничение на введение дополнительных легирующих элементов в металл шва: основными легирующими элементами могут быть только магний и литий. Исследовали влияние содержания Mg (3,0—7,5 %) и Li (0,6—1,1 %) на пластичность металла шва и зоны сплавления (рис. 4). Механические свойства в различных зонах сварного соединения оценивали с помощью методики испытаний на изгиб. Как следует из анализа полученных данных, наиболее низкий уровень пластичности имеет основной металл со стороны сплава ВАЛ 16:  $\alpha_{\text{OM}} \text{ВАЛ } 16 = 58 \pm 5^\circ$ . Необходимо отметить, что во всем диапазоне исследованных составов пластичность металла шва выше, чем зоны сплавления и соединяемых материалов. При увеличении содержания магния в металле шва наблюдается снижение

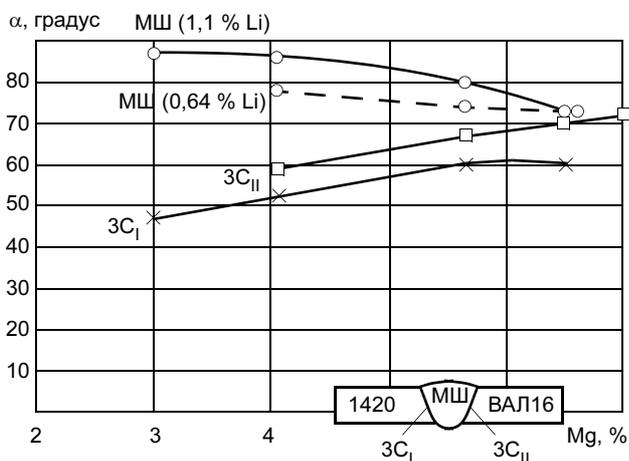


Рис. 4. Зависимость пластичности различных зон сварного соединения от содержания магния: 1 — сплав 1420; 2 — сплав ВАЛ16; 3 — МШ (1,1 % Li); 4 — МШ (0,6 % Li)

его пластичности, пластичность же зоны сплавления увеличивается. Оптимальное сочетание свойств зон сварного соединения (равная пластичность всех зон) обеспечивается при содержании магния в металле шва в пределах 5—6,5 % Mg. Использование присадочной проволоки с содержанием 6,0—6,5 % Mg (при долях участия не ниже 40 %) позволило обеспечить герметичность сварного соединения с минимальной разницей в пластичности

различных зон сварного соединения. Разработаны технологические рекомендации по изготовлению сварных конструкций с заданным уровнем и стабильностью свойств.

## ВЫВОДЫ

1. При анализе свариваемости целесообразно использовать системный подход; при анализе свойств сварного соединения рекомендуется выделять пять различных квазиоднородных зон, в качестве параметра оптимизации процесса получения сварного соединения с требуемыми свойствами использовать метод ранжирования.

2. Разработанные технологические рекомендации обеспечивают получение заданного уровня и стабильность свойств изготавливаемых сварных конструкций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сварка в машиностроении: Справочник*. В 4 т. / Под ред. Н. А. Ольшанского. М.: Машиностроение, 1978. Т. 1. С. 135—136.
2. Фролов В. А., Никитина Е. В. Производственные методики оценки свариваемости неразъемных соединений из алюминиевых сплавов // *Сварочное производство*. 2006. № 8. С. 33—36.
3. Никитина Е. В., Фролов В. А. Металлургические и технологические особенности получения сварно-литых конструкций из алюминиевых сплавов // *Технология машиностроения*. 2006. № 5. С. 7—12.

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА

# ФОРСАЖ

INVERTER

НА ТОК

125 A
160 A
250 A
315 A
500 A

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

реклама

ТЕХНОЛОГИЯ сварки XXI века

Публикуется на правах рекламы

**С. Ф. ГНЮСОВ, д-р техн. наук, К. С. ГНЮСОВ, аспирант**  
**(Томский политехнический университет),**  
**В. Г. ДУРАКОВ, канд. техн. наук**  
**(Институт физики прочности и материаловедения СО РАН)**

## **Электронно-лучевая наплавка карбидосталей.**

### *Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5+WC<sup>1</sup>*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Технология многопроходной электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) основана на явлении "вмораживания" порошка в жидкометаллическую ванну расплава, создаваемую электронным лучом с линейной разверткой [1, 2]. Наплавляемая деталь перемещается внутри вакуумной камеры относительно неподвижной электронной пушки и порошкового дозатора. При каждом последующем проходе "вмораживается" новая порция порошка и расплавляется предыдущая. Порошок, подаваемый в жидкометаллическую ванну расплава, ускоряет процесс ее кристаллизации, способствуя при этом формированию мелкозернистой структуры и уменьшению остаточных напряжений в наплавляемом покрытии. Необходимая толщина наплавленного слоя в пределах 0,5—5,0 мм достигается за счет изменения скорости подачи наплавляемого материала или увеличения числа проходов. Параметрами, характеризующими процесс наплавки, являются ускоряющее напряжение, ток электронного пучка, расстояние фокусирующей системы до поверхности обрабатываемой детали, диаметр и длина развертки пучка, скорость перемещения детали.

Микрометаллургические процессы, инициированные электронным лучом, характеризуются рядом особенностей. Прежде всего благодаря высокой плотности мощности электронного луча (до  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>) и значительному локальному перегреву в зоне его действия плавление, кристаллизация наплавляемого материала и

последующее охлаждение происходят в сильно неравновесных условиях. В зависимости от плотности мощности луча температура в зоне локального перегрева может существенно превышать температуру плавления металла. Это приводит к интенсификации диффузионных процессов, растворению твердых фаз и формированию сильно пересыщенного раствора при быстрой кристаллизации расплавленной зоны. Высокие скорости охлаждения наплавляемого металла (до  $10^4$  К/с) могут формировать новые неравновесные структуры и сетку трещин.

Данные особенности действия электронного пучка обуславливают использование в качестве твердой фазы карбида вольфрама, обладающего большей степенью растворимости по сравнению с карбидом титана в жидкометаллической матрице [3]. В качестве связующей фазы предпочтительно использовать сталь Р6М5, в которой в процессе закалки сохраняется некоторое количество остаточного аустенита. Более того, данная сталь обладает эффектом сверхпластичности, что позволяет значительно увеличить ее относительное удлинение и уменьшить сопротивление деформированию [4]. Можно надеяться, что перечисленные особенности быстрорежущей стали позволят релаксировать температурные напряжения и, следовательно, уменьшить или полностью предотвратить образование сетки трещин в упрочненном слое и значительно увеличить его износостойкость.

В работе [5] подробно изложена технология, исследованы фазовый состав и структура исходных порошков карбида вольфрама, карбида ти-

тана, стали Р6М5 и композиционных спеков на их основе, применяемых при ЭЛН.

Цель данной работы — определение рационального количества вводимого карбида вольфрама в быстрорежущую сталь, влияния режимов термической обработки на структуру и свойства получаемого композиционного покрытия сталь Р6М5 + WC.

#### **Методика проведения исследования**

В качестве наплавочного материала использовали порошок стали Р6М5 и смесь порошков сталь Р6М5 + WC (10, 20, 30, 40 и 50 %). Композиционные смеси для наплавки получали смешиванием приведенных порошков, спеканием смесей в вакууме, последующим дроблением и рассевом на фракции полученных спеков. Подробно технология подготовки композиционных наплавочных смесей изложена в работе [5]. Наплавку проводили на образцы из стали 30 в пять проходов, при этом толщина наплавленного валика составила 3—4 мм. Ускоряющее напряжение, диаметр, длина развертки электронного луча, скорость перемещения подложки не изменялись и составляли соответственно 28 кВ, 1 мм, 20 мм и 2 мм/с. Одно- и двукратный отпуск наплавленных образцов проводили при температуре 560 °С в течение 1 ч.

Структуру наплавленных покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа МЕТАМ-ЛВ-31, снабженного цифровой камерой, позволяющей фиксировать изображение на компьютере. Определение количественных характеристик микроструктуры проводили линейным методом по методике, изложенной в работе

<sup>1</sup> Ч. 1. — см. "Сварочное производство", 2007, № 11, С. 8—13.

[6]. Исследование фазового состава образцов проводили методами рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-УМ1, с фильтрованным  $\text{CoK}_\alpha$ -излучением в режиме сканирования, в интервале углов  $2\theta$  от 20 до  $150^\circ$ , с шагом  $0,1^\circ$ .

Микротвердость  $H$  шлифов измеряли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450—76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 0,981 Н. Прочность при изгибе (ГОСТ 18228—72) измеряли на шлифованных образцах в виде прямоугольных призм размером  $5 \times 5 \times 45$  мм. Испытания проводили на установке "Инстрон-1185" со скоростью нагружения 1,7 мкм/с. Толщина наплавленного слоя составляла  $2 \pm 0,1$  мм. Упрочненный слой испытывал напряжения растяжения. Окончанием испытаний служил момент разрушения упрочненного слоя. По результатам испытаний определяли прочность образцов, стрелу прогиба и угол изгиба (согласно ГОСТ 6996—66 и СНиП III-48—80). При расчете прочности образцов учитывали полную высоту образца (подложка + наплавка). Определение ударной вязкости на образцах без надреза проводили на копре типа Шарпи.

Абразивную износостойкость определяли при износе в контакте с нежестко закрепленными абразивными частицами (ГОСТ 23.208—79). В качестве абразивного материала использовали кварцевый песок зернистостью 160—350 мкм при нагрузке на образец  $44 \pm 0,25$  Н.

## Результаты исследования

На рис. 1 приведена микроструктура упрочненного слоя после ЭЛН в зависимости от количества упрочняющей фазы в быстрорежущей матрице. Видно, что наплавленный сталью Р6М5 материал состоит из трех структурных составляющих. При добавлении карбида вольфрама количество светло-серой фазы увеличивается (см. рис. 1, б, в), а начиная с содержания WC 30 %, внутри этой фазы наблюдаются отдельные зерна темного цвета (см. рис. 1, г—е). Кроме того, количество фазы игольчатой морфологии при добавлении 10 % WC уменьшается, а при 20 и 30 % WC данной фазы практически не просматривается (см. рис. 1, в, г). По данным рентгеноструктурного

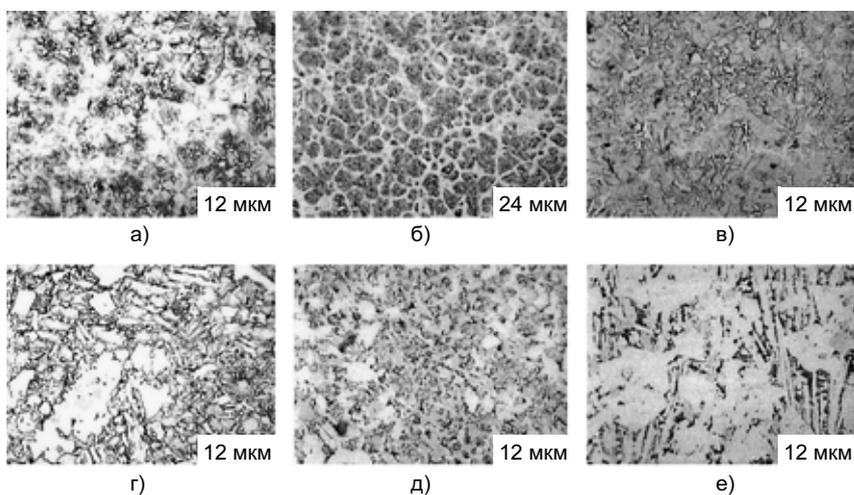


Рис. 1. Микроструктура упрочненного слоя после наплавки: а — Р6М5; б—е — содержание упрочняющей фазы (WC) равно 10, 20, 30, 40 и 50 % соответственно

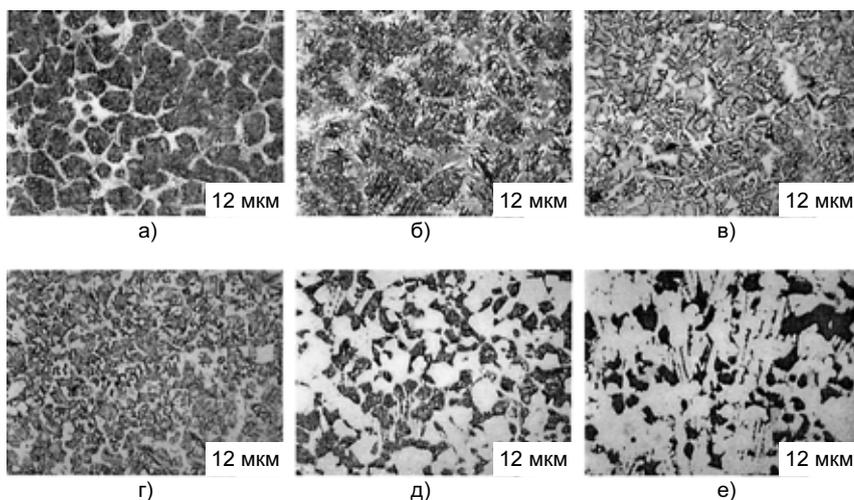


Рис. 2. Микроструктура упрочненного слоя после наплавки и однократного отпуска: а—е — см. рис. 1

анализа, после наплавки стали Р6М5 ее фазовый состав состоит из мартенсита ( $\alpha$ -фаза), остаточного аустенита ( $\gamma$ -фаза) и карбида типа  $\text{M}_6\text{C}$  с параметром решетки  $a = 1,08$  нм. При добавлении карбида вольфрама количество фазы  $\text{M}_6\text{C}$  увеличивается, а начиная с состава, содержащего 30 % WC и выше, помимо названных фаз сохраняется исходная фаза карбида вольфрама с ГПУ решеткой. Анализ макроструктуры металла, наплавленного сталью Р6М5 и смесью сталь Р6М5 + WC (10, 20 и 30 %), не выявил образования сетки трещин на упрочненной поверхности.

На рис. 2 приведена микроструктура упрочненного слоя после ЭЛН и однократного отпуска. Видно, что для всех образцов характерно увеличение количества мартенситных пластин.

Размер этих пластин для состава, содержащего 10 % карбида вольфрама, значительно увеличивается (см. рис. 2, б). В наплавленном металле, не содержащем карбида вольфрама (см. рис. 2, а) и с большим его содержанием (рис. 2, д, е), иглы мартенсита слабо прослеживаются, что свидетельствует о формировании бесструктурного мартенсита. Для состава с 20 и 30 % WC количество мартенситных пластин невелико, присутствуют двойные карбиды типа  $\text{M}_6\text{C}$  в виде дендритов (см. рис. 2, в). Двукратный отпуск не вносит существенных изменений в микроструктуру.

При добавлении в сталь Р6М5 карбида вольфрама наблюдается anomalous изменение твердости наплаваемых покрытий (рис. 3, а, б, кривая 1). Минимальное ее значение

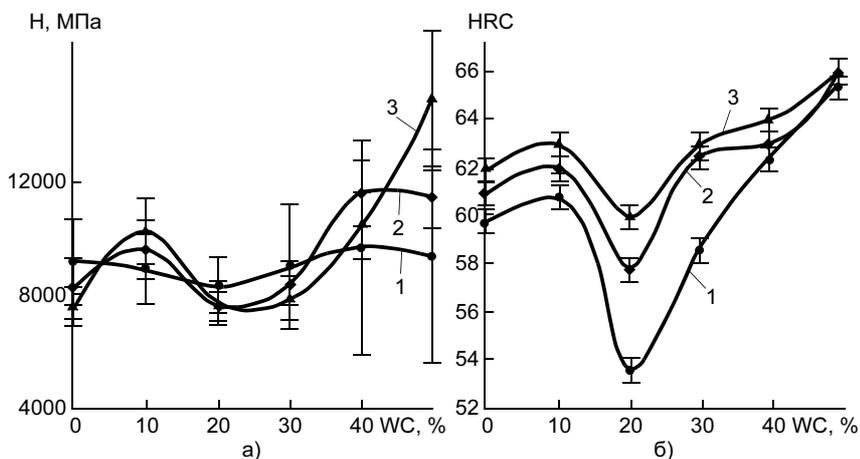


Рис. 3. Зависимость микротвердости (а) и твердости (б) образцов от содержания карбида вольфрама в исходной наплавочной смеси: 1—3 — после наплавки, одно- и двукратного отпуска соответственно

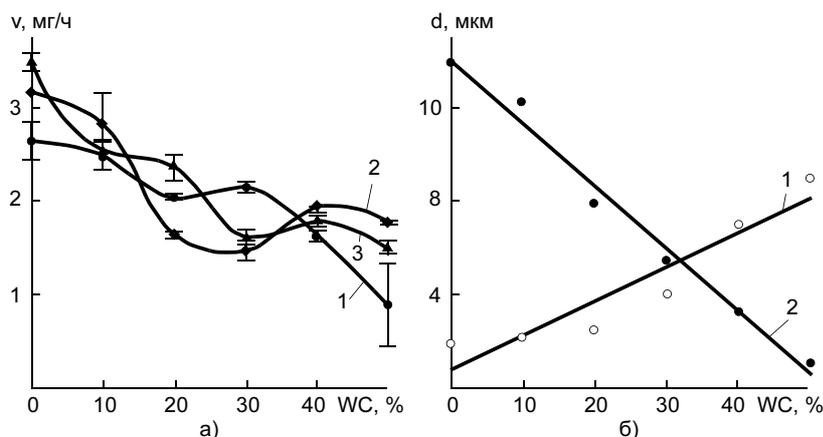


Рис. 4. Зависимость скорости износа (а) после наплавки (кривая 1), однократного (кривая 2) и двукратного (кривая 3) отпуска, а также среднего размера зерна карбида  $M_6C$  (б, кривая 1) и межкарбидных прослоек (б, кривая 2) от содержания вводимого карбида вольфрама в быстрорежущую сталь

(53,7 HRC) характерно для состава наплавляемого материала Р6М5 + 20 % WC. Последующая термическая обработка (одно- и двукратный отпуск) сохраняет данную аномалию в распределении твердости (см. рис. 3, кривые 2 и 3). Анализ полученных данных по твердости, микроструктуре и фазовому составу свидетельствует

о том, что уменьшение твердости для данного состава наплавляемого материала связано с присутствием большого количества остаточного аустенита, который полностью не переходит в мартенсит даже при одно- и двукратном отпуске. Увеличение содержания карбида вольфрама свыше 30 % в наплавочной смеси

приводит к тому, что объемная доля карбида  $M_6C$  превышает 50 % и он вносит основной вклад в повышение твердости наплавленного металла. Поэтому последующая термическая обработка образцов, в наплавочной смеси которых содержится 40 и 50 % WC, практически не влияет на повышение их твердости (см. рис. 3, а). Большой разброс значений микротвердости для этих составов (см. рис. 3, а) связан с формированием конгломератов из карбидных частиц с сохранением большого количества исходных частиц монокарбида вольфрама (см. рис. 1, з—е).

Образцы после наплавки стали Р6М5 и композиционной смесью Р6М5 + 20 % WC подвергли испытанию на изгиб и ударную вязкость. Полученные данные приведены в таблице. Значения характеристик образцов, подвергнутых однократному отпуску выше, что связано в основном с релаксацией температурных напряжений при отпуске.

На рис. 4, а приведены данные по износу образцов. Видно, что проведение однократного отпуска способствует формированию аномально низкой скорости износа образцов при содержании 20—30 % карбида вольфрама в наплавочной смеси. По-видимому, это обусловлено большим содержанием остаточного аустенита в данных образцах после наплавки и его сохранением после однократного отпуска. В процессе изнашивания аустенит, находясь в метастабильном состоянии, претерпевает мартенситный переход и тем самым служит дополнительным каналом релаксации возникающих напряжений.

Увеличение содержания карбида вольфрама до 40 % увеличивает износ материала. Это связано с тем, что наличие ударной составляющей при испытаниях на износ приводит к значительной доли выкрошивания хрупких карбидных выделений, средний размер и объемная доля которых

Наплавочный материал	Обработка	Прочность при изгибе, МПа	Стрела прогиба, мм	Угол изгиба, градус	Ударная вязкость, Дж/мм <sup>2</sup>
Сталь Р6М5	Наплавка	1580 ± 200	350	1,2	0,9
	Наплавка + отпуск (однократный)	1670 ± 50	470	1,5	0,8
Сталь Р6М5 + 20 % WC	Наплавка	1620 ± 20	250	1,0	0,625
	Наплавка + отпуск (однократный)	1640 ± 20	300	1,1	0,85

значительно возрастают (рис. 4, б, кривая 1). Более того, связующая фаза — сталь Р6М5 — уже после наплавки практически полностью находится в мартенситном состоянии, средний размер ее прослоек между карбидными частицами уменьшается (см. рис. 4, б, кривая 2), и наличие значительных температурных и фазовых напряжений приводит к большому разбросу скорости износа (см. рис. 4, а, кривая 1). Последующий одно- и двукратный отпуск релаксирует данные напряжения, что способствует уменьшению разброса значений скорости износа, особенно для наплавочной смеси с 50 % карбида вольфрама (см. рис. 4, а, кривые 2, 3), однако по абсолютному значению она выше, чем при содержании 20 и 30 % карбида вольфрама.

## ВЫВОДЫ

1. Введение в наплавочную смесь 20—30 % карбида вольфрама приводит к увеличению доли карбида  $M_6C$ , сохранению малого среднего размера его частиц и образованию большого количества остаточного аустенита.

2. Дополнительная термическая обработка образцов, наплавленных данным составом, слабо влияет на уменьшение количества аустенита, что приводит к аномально низкой микротвердости упрочненного слоя.

3. Наиболее предпочтительным износостойким материалом является сталь Р6М5 + (20—30 %) WC после однократного отпуска.

4. Уменьшение скорости износа связано с дополнительным действием фазового перехода в матрице.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий* / В. Е. Панин, С. И. Белюк, В. Г. Дураков и др. // Сварочное производство. 2000. № 2. С. 34—38.
2. *Электронно-лучевая наплавка износостойких композиционных покрытий на основе карбида титана* / В. Е. Панин, В. Г. Дураков, Г. А. Прибытков и др. // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 2. С. 54—58.
3. *Кульков С. Н., Гнусов С. Ф.* Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 240 с.
4. *Гвоздев А. Е., Афанаскин А. В., Гвоздев Е. А.* Закономерности проявления сверхпластичности сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП // МитОМ. 2002. № 6. С. 32—36.
5. *Гнусов С. Ф., Дураков В. Г., Гнусов К. С.* Вакуумная электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 1. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 8—12.
6. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970. 376 с.



**PERYTONE**  
INDUSTRIAL

**СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**  
MMA MIG/MAG TIG AC/DC SAW

- ✓ Инверторные источники для ручной дуговой сварки покрытым электродом
- ✓ Полуавтоматы с синергетическим управлением для сварки сталей и алюминия импульсным или постоянным током
- ✓ Установки для аргонодуговой сварки постоянным и переменным током
- ✓ Установки для ручной плазменной резки
- ✓ Позиционеры и кантователи
- ✓ Системы удаления и фильтрации дымов
- ✓ Средства защиты для сварщика



**ГАРАНТИЯ ДОСТАВКА СЕРВИС**

**ТЕСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЗАКАЗЧИКА**

[www.perytone.ru](http://www.perytone.ru)

**(495) 995 55 53**

Публикуется на правах рекламы

**Б. А. ВИНОГРАДОВ**, д-р техн. наук, **Д. Л. ХАРИЧЕВА**, д-р техн. наук  
(Амурский государственный университет),  
**Г. П. МЕЩЕРЯКОВА**, д-р техн. наук, **А. А. ДЕНИСОВА**, инж.  
(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна),  
**А. О. КУДРЯВЦЕВ**, инж.  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

## Решение осесимметричной тепловой задачи с учетом напряженно-деформационного состояния при пайке конусных металлокерамических соединений<sup>1</sup>

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы расширилось применение металлокерамических вакуумно-плотных узлов в авиационно-космической, ракетной технике и атомной энергетике. Применение вакуумно-плотных металлокерамических узлов с керамическими деталями на основе  $Al_2O_3$  связано с их высокой механической прочностью, способностью выдерживать значительные ударные и вибрационные нагрузки, сравнительно небольшой массой, стойкостью против воздействия агрессивных сред и ионизирующих излучений, а также высокими электроизоляционными свойствами.

Наиболее применяемым способом получения спаев керамики с металлами является пайка предварительно металлизированной керамики, заключающаяся в нанесении металлизующей пасты на керамические детали и ее последующем закреплении путем высокотемпературного вжигания (впекания) в керамику. При пайке металлокерамических узлов существуют определенные ограничения по скорости нагрева, связанные с двумя основными условиями: равномерностью нагрева всех деталей в процессе пайки и термостойкостью керамики, зависящей от габаритных размеров и формы изделий.

Пайку ведут таким образом, чтобы максимально сократить время пребывания припоя в расплавленном состоянии и не допустить перегрева узла. Однако неравномерность начала плавления припоя увеличивает разброс по времени пребывания его в жидком состоянии. При этом металлизационный слой керамики может реагировать с жидким припоем, что снижает надежность спаев.

Охлаждение металлокерамических узлов еще более чувствительно к скорости изменения температуры, чем нагрев, что связано с возникновением значительных температурных напряжений в спаях и растрескиванием керамики при термоударах.

Металлокерамические соединения, широко применяемые в атомной промышленности — гермоводы ИПН-200, должны соответствовать ряду специальных технических требований.

Конструкция металлокерамического соединения должна исключать разрушение или перегрев диэлектрика. Допускается общая степень натекания не выше  $10^{-7}$  Па · м<sup>3</sup>/с сухого гелия при 293 К. Кроме того, гермоводы должны сохранять в аварийном режиме работоспособность при следующих условиях:

- воздействию температуры до 1073 К в течение 300 с;
- 1000 термоциклах 293—873—293 К;
- сейсмичности 9 баллов.

Перечисленные требования к узлам при их эксплуатации обуславливают повышенное внимание разработчиков к технологии получения металлокерамических соединений, физическим процессам, протекающим в зоне соединения, а также необходимость исследования зависимости эксплуатационных характеристик изделий от применяемых технологических режимов. При этом возникают сложности в определении действительных температур, движения границ плавления, а также в оценке технологических режимов при использовании лазерного излучения. Проблемы, связанные с фазовыми переходами, можно решить путем построения математических моделей, максимально приближенных к условиям эксперимента. Моделирование подобных термомеханических процессов значительно упрощает поиск оптимальных технологических решений для получения необходимых практических результатов.

### Объекты исследования

Наиболее часто применяемые в гермоводах конструкции металлокерамических узлов — это конусные охватывающие соединения. Конструкция такого металлокерамического соединения ИПН-200 приведена на рис. 1.

Операции сборки узла и последующей лазерной пайки определяют качество получаемых изделий — их меха-

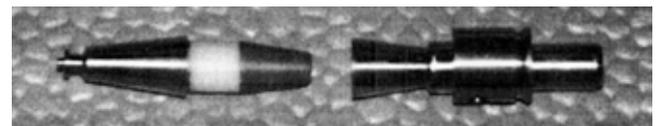


Рис. 1. Конструкция охватывающего металлокерамического соединения

<sup>1</sup> Авторы выражают благодарность д-ру техн. наук А. Г. Григорьянцу за консультации и оказанную помощь в подготовке данной работы.

ническую прочность и вакуумную плотность. Именно сборка металлокерамического соединения задает начальные напряжения и деформации, возникающие в материалах. При воздействии лазерного излучения на материалы на поверхности формируется высококонцентрированный источник теплоты, что приводит к появлению значительных напряжений в металлической детали, причем в некоторых случаях наблюдается образование трещин и разрывов [1].

Получение качественных изделий связано с исследованием и определением собственно тепловых режимов при лазерном воздействии на соединяемые материалы с учетом положения фронта плавления (задача для многослойного материала с подвижными границами) и исследованием напряженно-деформационного состояния (НДС) материалов в соединении (задача термоупругости).

### Постановка задачи термоупругости для многослойных материалов при лазерном воздействии

Математическое описание процесса сводится к решению задачи термоупругости для многослойных материалов при наличии высокоинтенсивного точечного теплового источника на внешней поверхности с учетом возникновения подвижного фронта плавления в одном из слоев. Максимально приближенной к условиям реального технологического процесса лазерной пайки является модель составного осесимметричного конуса.

Общая математическая постановка задачи термоупругости для сплошных сред заключается в совместном решении двух дифференциальных уравнений в частных производных [2—5]: уравнения переноса теплоты и уравнения движения упругого тела.

В наиболее общей тензорной форме уравнение переноса теплоты имеет следующий вид:

$$\rho C_\varepsilon \frac{\partial T}{\partial t} + \beta T \frac{\partial}{\partial t} (\text{div } \bar{u}) = \text{div}(\chi \text{grad} T) + \Phi, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность;  $C_\varepsilon$  — удельная теплоемкость при постоянном тензоре деформации;  $T$  — температура;  $t$  — время;  $\beta$  — коэффициент, равный  $\frac{1}{3} \alpha K$  ( $\alpha$  — коэффициент объемного расширения,  $K$  — модуль всестороннего сжатия, равный  $\lambda + \frac{2}{3} \mu$ ,  $\lambda, \mu$  — коэффициенты Ламе ( $\mu$  — модуль сдвига);  $\chi$  — коэффициент теплопроводности (в общем случае нелинейно зависит от температуры);  $\Phi$  — мощность объемного энерговыделения;  $\bar{u}$  — вектор смещения, равный  $\bar{r}' - \bar{r}$  ( $\bar{r}$  — координата исходной точки,  $\bar{r}'$  — координата той же точки после смещения).

Вектор смещения задает тензор деформаций  $\varepsilon$  с элементами  $u_{ik}$ . При малых деформациях элементы тензора определяются следующим образом:

$$u_{ik} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right), \quad (2)$$

$$\text{т. е. } \varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla \bar{u} + (\nabla \bar{u})^*), \quad (3)$$

Знак "\*" означает операцию транспонирования.

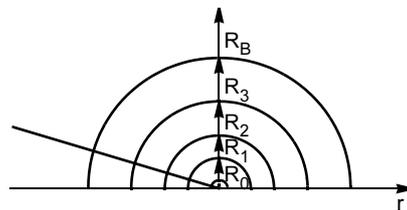


Рис. 2. Расположение слоев в материале

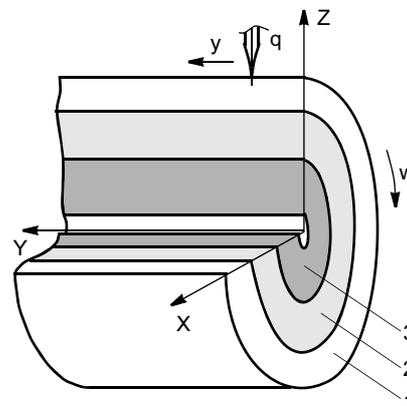


Рис. 3. Схема относительных перемещений детали и пятна нагрева: 1 — ковар; 2 — медь; 3 — керамика

В силу конструктивных особенностей узла математическое описание лучше вести в цилиндрической системе координат (рис. 2, 3). В этом случае компоненты тензора деформаций определяются по вектору смещения  $\bar{u} = \bar{u}(r, \varphi, z)$  следующим образом:

$$\begin{aligned} u_{rr} &= \frac{\partial u_r}{\partial r}; & u_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r}; & u_{zz} &= \frac{\partial u_z}{\partial z}; \\ 2u_{\varphi z} &= \frac{1}{z} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial z}; & 2u_{rz} &= \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}; \\ 2u_{r\varphi} &= \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi}. \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнение движения упругого тела в тензорной форме имеет вид

$$\rho \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} \right) = \text{div } \sigma, \quad (5)$$

где  $\sigma$  — тензор напряжений с компонентами  $\sigma_{ik}$ , равный  $2\mu\varepsilon + (\lambda \text{div } \bar{u} - \beta\theta)E$  ( $E$  — единичный тензор;  $\theta = T - T_0$ ;  $T_0$  — начальная температура тела).

Тензоры напряжений и деформаций связаны между собой соотношениями (в которых подразумевается суммирование по повторяющимся индексам)

$$\sigma_{ik} = -K\alpha\theta\delta_{ik} + Ku_{||} + 2\mu \left( u_{ik} - \frac{1}{3} \delta_{ik} u_{||} \right), \quad (6)$$

где  $\delta_{ik}$  — индекс Кристофера ( $\delta_{ik} = 1$  при  $i = k$  и  $\delta_{ik} = 0$  при  $i \neq k$ ).

Система уравнений (1), (5) имеет единственное решение только в том случае, когда к уравнениям добавлены начальные и граничные условия, определяющие

начальные величины температур и напряжений. Для многослойных тел граничные условия задаются и на границах сопряжения разных материалов (см. рис 2).

Начальные условия задают значения температуры  $T(x, r, \varphi, t)$  при  $t = 0$  на внешней и внутренней поверхностях узла и всех поверхностях раздела, т. е. при  $r$ , равном  $R_B, R_1, R_2$  и  $R_3$ . Считаем, что

$$T(R_B, \varphi, z, 0) = T(R_1, \varphi, z, 0) = T(R_2, \varphi, z, 0) = T(R_3, \varphi, z, 0) = T_0. \quad (7)$$

На внешней поверхности известно распределение температуры в любой момент времени  $t$

$$T(r, \varphi, z, t)|_{r=R_B} = T(R_B, \varphi, z, t). \quad (8)$$

Считаем, что на внешней и внутренней поверхностях есть нелинейная связь между температурой и ее нормальной производной, т. е. идет процесс излучения теплоты с поверхности тела за счет излучения (условие Стефана—Больцмана) и конвекции. На внешней границе тела, кроме того, действует поверхностный источник теплоты, в этом случае имеем

$$\left( -\chi_n \frac{\partial T}{\partial r} + \varepsilon_n \sigma_n (T_c^4(t) - T_n^4(t)) - \gamma (T_c(t) - T_n(t)) \right) \Big|_{r=R_B} = q(R_B, \varphi, z, t), \quad (9)$$

где  $\chi_n$  — коэффициент теплопроводности;  $\varepsilon$  — излучательная способность поверхности;  $\sigma$  — постоянная Стефана—Больцмана;  $\gamma$  — коэффициент конвективных теплотерь; индексы "с" и "н" относятся к внешней среде и поверхности тела.

На внутренней границе тела при  $r = R_0$  нет внешних источников теплоты, поэтому

$$\left( -\chi_n \frac{\partial T}{\partial r} + \varepsilon_n \sigma_n (T_c^4(t) - T_n^4(t)) - \gamma (T_c(t) - T_n(t)) \right) \Big|_{r=R_0} = 0. \quad (10)$$

На границе между коваром и медью ( $r = R_3$ ) имеется неидеальный контакт, характеризующийся термическим сопротивлением  $R_{1,2}$  (рис. 4), граничное условие в этом случае имеет вид

$$\left( -\chi_1 \frac{\partial T}{\partial r} + \varepsilon_{1n} \sigma_n (T_c^4(t) - T_n^4(t)) - R_{1,2}^{-1} \delta_r T \right) \Big|_{r=R_3} = 0. \quad (11)$$

На остальных границах (керамика—титан  $r = R_1$  и титан—медь  $r = R_2$ ) контакт считается идеальным, поэтому на этих границах выполняется соотношение сопряженного теплообмена, которое предусматривает существование температурного и теплового баланса:

$$T(R_j|_{-0}, t) = T(R_j|_{+0}, t); \quad (12)$$

$$-\chi_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_j-0} + \chi_{i+1} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_j+0} = 0, \quad (13)$$

где  $i$  равно 1 и 2.

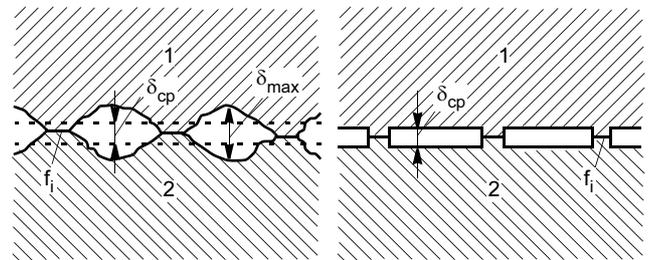


Рис. 4. Контакт шероховатых поверхностей: а — реальный контакт; б — модель контакта; 1 — ковар; 2 — медь

При наличии фронта плавления необходимо добавить еще и условие Стефана:

$$\chi_1(t) \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=r(t)} = \chi_2(T) \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=r(t)} - L\rho \frac{dr}{dt}, \quad (14)$$

где  $\chi$  — коэффициент теплопроводности жидкой (индекс "1") и твердой (индекс "2") фаз соответственно;  $L$  — удельная теплота плавления материала;  $\rho$  — плотность вещества при температуре плавления;  $dr$  — вектор нормали к поверхности плавления.

Из физической постановки задачи к этим условиям добавляются еще значения поверхностных сил или значение тензора напряжений на границах тела. В данном случае необходимо задать тензор напряжений и поверхностную силу на границе ковар—медь. В начальном приближении определим тензор напряжений при сопряжении цилиндрических деталей.

При упругом деформировании деталей в среднем диапазоне размеров (от 3 до 500 мм) величину натяга возможно рассчитывать на основе решения задачи Ламе—Гадолина [5]:

$$N_{\min \text{ расч}} = a_{\min} D = p_e D \left( \frac{C_a}{E_a} + \frac{C_b}{E_b} \right),$$

где  $a_{\min}$  — наименьший расчетный относительный натяг;  $D$  — диаметр вала;  $p_e$  — давление на поверхности контакта;  $C_a, C_b$  — геометрические параметры;  $E_a, E_b$  — модули упругости материалов отверстия и вала.

Однако в методах расчета прочность соединений с натягом, основанных на решении задачи Ламе—Гадолина, сила трения  $F$ , обеспечивающая неподвижность деталей вследствие возникающих на поверхностях контакта упругих или упругопластических деформаций, создаваемых натягом, в явном виде не учитывается, а определяется косвенно, как  $F = fp$  ( $f$  — коэффициент трения сцепления, принимаемый постоянным по длине соединения;  $p$  — радиальное давление на поверхности контакта). При этом не учитываются способ формирования соединения, влияние силы трения на распределение напряжений, деформаций и перемещений по длине соединения деталей с натягом, хотя силы трения на поверхностях контакта, сопрягаемых с натягом деталей, вызывают неравномерное распределение напряжений и деформаций по длине соединения.

Анализ процессов, протекающих в зоне контакта, приводит к выводу, что одностороннее внедрение неров-

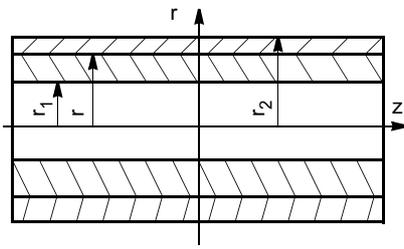


Рис. 5. Положение оси цилиндра при расчете напряжений

ностей вала ("прилипание" отверстия к валу) при деформировании соединения можно объяснить только изменениями механических свойств металлов: повышением предела текучести и резким снижением пластических свойств при разных температурах.

Принимаем, что напряжения, деформации, перемещения и нагрузки симметричны относительно оси цилиндра и сечения, перпендикулярного оси и делящего соединение с натягом на две равные части (рис. 5). Условие прилипания можно представить в виде

$$U_{Za} - U_{Zb} = \alpha T_k z, \quad (15)$$

где  $U_{Za}$ ,  $U_{Zb}$  — осевые перемещения отверстия и вала;  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения;  $T_k$  — температура в момент контакта деталей.

Для определения реального давления  $p(z)$  на поверхности контакта используется выражение

$$|U_{ra}| + |U_{rb}| = \frac{N}{2}, \quad (16)$$

где  $U_{ra}$ ,  $U_{rb}$  — радиальные перемещения отверстия и вала.

Получим систему уравнений

$$\begin{cases} pC_1 = \frac{N}{2} + r \left( \frac{\mu_a \sigma_{Za}}{E_a} - \frac{\mu_b \sigma_{Zb}}{E_b} \right); \\ pC_2 = \frac{N}{2r} - \left[ \frac{\sigma_{Za}}{E_a} - \frac{\sigma_{Zb}}{E_b} \right]; \\ \sigma_{Za}(r_2^2 - r_1^2) + \sigma_{Zb}(r_2^2 - r_1^2) = 0, \end{cases} \quad (17)$$

где  $\sigma_{Za}$ ,  $\sigma_{Zb}$  — напряжения в отверстии и вале;

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{r}{E_a} \left[ \frac{r^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( (1 - \mu_a) + (1 + \mu_a) \frac{r_2^2}{r^2} \right) \right] + \\ &+ \frac{r}{E_b} \left[ \frac{r^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( (1 - \mu_b) + (1 + \mu_b) \frac{r_1^2}{r^2} \right) \right]; \\ C_2 &= \frac{2\mu_a}{E_a} \frac{r^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{2\mu_b}{E_b} \frac{r^2}{r_2^2 - r_1^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Решив систему уравнений (17), определим контактное давление  $p$ ,  $\sigma_{Za}$ ,  $\sigma_{Zb}$ . Давление в зоне контакта рассчитывали при следующих значениях параметров:  $2r = 4,8$  мм,  $2r_1 = 4,4$  мм,  $2r_2 = 6,4$  мм,  $E_a = 1,4 \cdot 10^{11}$  Па,  $E_b = 1,2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\mu_a = 0,3$ ,  $\mu_b = 0,25$ ,  $N_{\min} = 11 \cdot 10^{-6}$  м,  $N_{\max} = 27 \cdot 10^{-6}$  м.

Тогда  $C_1 = 2,92 \cdot 10^{-10}$ ,  $C_2 = 3,16 \cdot 10^{-11}$ .

Контактное давление и напряжение в вале и отверстии определяются из следующих соотношений:

$$\begin{cases} p2,92 = 9,5 \cdot 10^4 + 0,51 \sigma_{Za} - 0,5 \sigma_{Zb}; \\ p3,16 = 3,96 \cdot 10^4 - (0,71 \sigma_{Za} - 0,83 \sigma_{Zb}); \\ \sigma_{Za} 4,87 = -\sigma_{Zb}. \end{cases}$$

Откуда получим, что контактное давление  $p = 2,45 \cdot 10^7$  Па, напряжение в отверстии  $\sigma_{Za} = -7,83 \cdot 10^6$  Па и напряжение в вале  $\sigma_{Zb} = 3,81 \cdot 10^7$  Па.

Теперь рассмотрим плоскую осесимметричную модель упругих деформаций, возникающих в составных цилиндрических узлах. В этом случае вектор перемещений  $\bar{u} = u(r, \varphi, z) = u(r)$  и тензор деформаций имеет следующие компоненты [6]:

$$u_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}; \quad u_{\varphi\varphi} = \frac{u_r}{r}; \quad u_{zz} = u_{\varphi z} = u_{rz} = u_{r\varphi} = 0. \quad (19)$$

Известно аналитическое решение плоской задачи теории упругости в осесимметричном случае для однородного цилиндра с внутренним радиусом  $r_1$  и внешним  $r_2$ , если к его внутренней поверхности приложено давление  $p$ .

В этом случае уравнение движения упругого тела имеет вид [6]

$$\operatorname{div} u = \frac{1}{r} \frac{d(ru)}{dr} = \operatorname{const} \equiv 2a; \quad (20)$$

$$u = ar + \frac{b}{r}; \quad u_{rr} = \frac{du}{dr} = a - \frac{b}{r^2}; \quad u_{\varphi\varphi} = \frac{u}{r} = a + \frac{b}{r^2}. \quad (21)$$

Для компонентов тензора деформаций выполняются следующие граничные условия:  $\sigma_{rr} = 0$  при  $r = r_2$  и  $\sigma_{rr} = -p$  при  $r = r_1$ .

Коэффициенты  $a$  и  $b$  вычисляются по формулам

$$a = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \frac{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}{E}; \quad (22)$$

$$b = \frac{pr_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \frac{(1 + \sigma)}{E}, \quad (23)$$

$$\text{где } \sigma = \frac{1}{2} \frac{3K - 2\mu}{3K + \mu}; \quad E = \frac{9K\mu}{3K + \mu}.$$

Компоненты тензора деформаций определяют из выражений

$$\sigma_{rr} = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right); \quad (24)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right); \quad (25)$$

$$\sigma_{zz} = 2\sigma \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (26)$$

Эти формулы позволяют оценить значение тензора напряжений в слое ковара, если известно давление на границах ковар—медь, возникшее в результате сборки узла.

### Численное решение тепловой задачи с подвижной границей для многослойных материалов при лазерном воздействии

Если диаметр лазерного пятна  $d_p$  много меньше диаметра  $D_{изд}$  обрабатываемого изделия, т. е.  $d_p \ll D_{изд}$ , и зона термического влияния  $h_T$  теплового источника много меньше длины  $l$  пройденного им пути, т. е.  $h_T \ll l$ , то в рамках этих допущений можно рассматривать задачу о распространении тепловых полей в плоском четырехслойном образце с учетом теплового сопротивления между слоями. Задача исходно является нелинейной, что также связано со сложностью согласования решения уравнения теплопроводности и закона движения фазового фронта как функции времени. Получить решение в точной аналитической форме невозможно.

При расчете режимов пайки металлокерамических соединений учитывали следующие ограничения: температура на поверхности ковара не должна превышать линии солидуса (1750 К), на границе титан—медь — должна быть меньше температуры плавления титана (1933 К) и на границе медь—ковар — достигать температуры плавления меди (1350—1370 К). В начальном приближении коэффициент теплопроводности считали постоянным. В этом случае уравнение теплопроводности имеет вид

$$c_i \rho_i \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_i(T) \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (27)$$

где  $c_i$ ,  $\rho_i$ ,  $\lambda_i$  — объемная теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя соответственно.

При решении многофронтной задачи Стефана поиск осуществляли следующим образом. Расчет точки зарождения первого фазового фронта производили по температуре плавления с последующим циклом оптимизации существующих точек. Если температура оптимизации находилась выше температуры плавления, то осуществляли поиск следующего фазового фронта. Задавали максимальное отклонение  $\delta_T = T_{фронта} - T_{пл}$ . Исходя из предыдущего шага производили очередную оптимизацию фронта и вычисляли его новое местоположение. При выполнении условия  $T_{пл} < T^*$  ( $T^*$  — вычисленная температура фронта плавления) дальнейший поиск производили с переменным шагом в зависимости от положения источника теплоты.

Цикл оптимизации проводили до приращения  $\delta_z/2$  при вырождении фронтов, а также при встрече двух или нескольких фронтов плавления. В этом случае координата точки поиска исключалась, так как считалось, что в окрестности этой точки в зависимости от полученной температуры находится однородная жидкая либо твердая фаза.

Зарождение фронтов плавления (затвердевания) в многомерной задаче Стефана рассчитывали одновременно по всем координатам по схеме расщепления с погрешностью  $h$ . Допустимая погрешность по темпера-

туре не превосходила 1 К, погрешность по координате —  $10^{-8}$  мм.

Для простоты изложения ниже приведена схема расчета по одному из направлений, например  $x$ .

Разностная схема на границе плавления

$$\lambda_1 \frac{T_i - T_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} = \lambda_2 \frac{T_{i+1} - T_i}{x_{i+1} - x_i} - L \rho \frac{r - r^*}{\Delta t}, \quad (28)$$

где  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  — теплопроводность жидкой и твердой фаз соответственно;  $i$  — точка фронта;  $L$  — удельная теплота плавления;  $\rho$  — плотность вещества;  $r$ ,  $r^*$  — положение фронта на текущем и предыдущем шагах соответственно.

Точка плавления находится между узлами основной сетки, поэтому расстояния между ней, левой и правой точками основной сетки различны, кроме случая, когда она подменяет основную точку сетки, или

$$\frac{\lambda_1}{x_i - x_{i-1}} T_{i-1} - \left( \frac{\lambda_1}{x_i - x_{i-1}} + \frac{\lambda_2}{x_{i+1} - x_i} \right) T_i + \frac{\lambda_2}{x_{i+1} - x_i} T_{i+1} = L \rho \frac{r - r^*}{\Delta t}. \quad (29)$$

Термическое сопротивление между слоями, возникающее из-за неидеальности контакта, рассчитывали как величину, состоящую из излучательной и кондуктивной частей с учетом параметра шероховатости  $Ra$ . Для этого на место стыка накладывали два условия: первое — равенство входящего и выходящего с границы сред тепловых потоков, что соответствует закону сохранения энергии, второе — определение температурного скачка на границе двух сред

$$\lambda_1(T) \frac{\partial T_1}{\partial x_1} = \lambda_2(T) \frac{\partial T_2}{\partial x_2} \quad (30)$$

или в виде разностной схемы

$$\frac{\lambda_1}{x_2 - x_1} T_1 - \frac{\lambda_1}{x_2 - x_1} T_2 - \frac{\lambda_2}{x_4 - x_2} T_3 + \frac{\lambda_2}{x_4 - x_2} T_4 = 0, \quad (31)$$

где индексы "1", "2" — последняя и предпоследняя точки первого слоя; индексы "3", "4" — первая и вторая точки второго слоя.

Получим

$$\left( -\lambda_{i+1}(T) \frac{\partial T}{\partial x} + \sigma \varepsilon_i (T_i^4 - T_{i+1}^4) + R_{i,i+1}^{-1} (T_i - T_{i+1}) \right) \Big|_{z=h_i} = 0. \quad (32)$$

При теплопередаче только контактирующими неровностями между слоями тепловой поток, передаваемый излучением, не учитывали, а расчет температурного скачка на границах материалов определяли соотношением

$$\left( -\lambda_{i+1}(T) \frac{\partial T}{\partial x} + R_{i,i+1}^{-1} (T_i - T_{i+1}) \right) \Big|_{z=h_i} = 0 \quad (33)$$

или в виде разностной схемы

$$\frac{1}{R} T_1 - \left( \frac{1}{R} + \frac{\lambda_2}{x_3 - x_2} \right) T_2 + \frac{\lambda_2}{x_3 - x_2} T_3 = 0, \quad (34)$$

где индекс "1" — последняя точка первого слоя; индексы "2" и "3" — первая и вторая точки второго слоя;  $T_1$ — $T_3$  — температура в точках 1—3 соответственно.

Из полученных расчетов систем уравнений (27), (30), (32), (33) (рис. 6, 7) следует, что плотность мощности лазерного воздействия на материалы при лазерной пайке должна быть в диапазоне  $(2-8) \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> при скорости движения лазерного источника 6—10 мм/с.

Оптимальные режимы пайки достигаются при плотности мощности воздействия лазерного излучения  $(5-8) \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> и скорости движения теплового источника 1—3 мм/с. Наличие теплового сопротивления между слоями при лазерной пайке керамики с металлом суще-

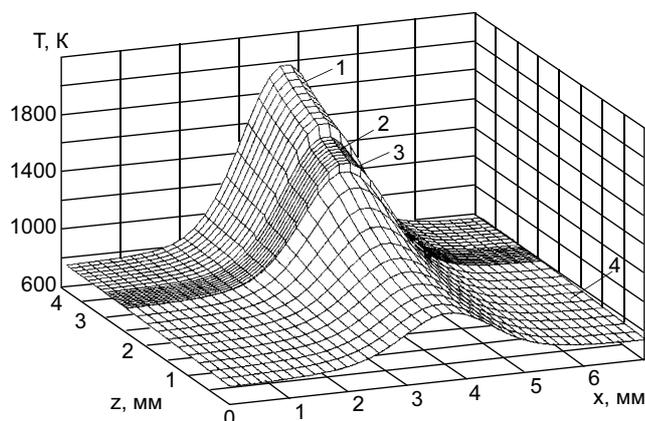


Рис. 6. Распределение температуры по толщине плоского образца: 1 — ковар; 2 — медь; 3 — титан; 4 — керамика

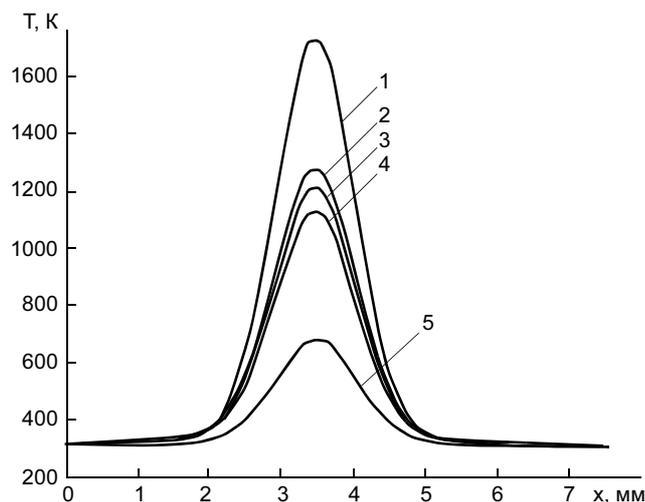


Рис. 7. Распределение температуры на границах слоев МКС: 1 — поверхность ковара; 2 — граница ковар—медь; 3 — граница медь—титан; 4 — граница титан—керамика; 5 — внутренняя поверхность керамики

ственно влияет на динамику тепловых процессов. С течением времени происходит выравнивание градиентов температуры внутри слоев при сохранении скачков градиента на границах между слоями.

Проведенные расчеты температур и границ плавления при лазерной пайке металла с высокоглиноземистой керамикой показали хорошее согласование с результатами экспериментальных исследований тепловых полей методом скоростной тепловизионной съемки [1]. Тепловой след на поверхности МКС от движущегося лазерного источника вблизи зоны нагрева соответствует температуре 1800 К. Тепловых изображений нагретого образца при движущемся со скоростью  $v = 4-6$  мм/с лазерном источнике ( $q \approx 10^6$  Вт/мм<sup>2</sup>) слой ковара полностью прогревается до температуры  $1733 \pm 15$  К. Медный припой успевает достичь своей температуры плавления ( $1383 \pm 15$  К) и в силу своей высокой теплопроводности передать часть энергии керамике.

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного расчета напряженно-деформационного состояния установлено, что при напряжениях выше  $\sigma_{Za} = -7,83 \cdot 10^6$  Па в отверстии и  $\sigma_{Zb} = 3,81 \cdot 10^7$  Па в вале существует высокая вероятность разрушения металлокерамического соединения еще до начала лазерного воздействия.

2. При последующей лазерной пайке большую роль играют градиенты температур, возникающие в материалах, а также температура на границах сред керамика—припой, припой—металл.

3. При расчете задач подобного класса необходимо строго учитывать время выдержки припоя в расплавленном состоянии и режимы остывания металлокерамического соединения.

4. Оптимальные режимы пайки металлокерамических соединений: плотность мощности воздействия лазерного излучения  $(5-8) \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, скорость 1—3 мм/с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Б. А., Костюков Н. С., Харичева Д. Л. Диэлектрики и радиация: В 6 кн. Кн. 6. Герметичные металлокерамические соединения. М.: Наука, 2004. 172 с.
2. Подстригач Я. С., Ломакин В. А., Коляно Ю. М. Термоупругость тел неоднородной структуры. М.: Наука, 1984. 368 с.
3. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. М.: Мир, 1964. 517 с.
4. Бородин П. Ю., Галанин М. П., Дубовицкий И. В. Численное решение задачи об импульсном воздействии на слоистую упругую среду в сферическом симметричном и двумерном плоском случаях. М.: Изд-во Института прикладной математики РАН, 1977. 29 с.
5. Постольник Ю. С., Тимошпольский В. И., Андрианов Д. Н. Расчет температурных полей твердых тел основной геометрии при произвольных граничных условиях // ИФЖ. Т. 77. № 2. С. 3—12.
6. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 325 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Наука, 1965. 204 с.

## Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов

### ВВЕДЕНИЕ

Бесфлюсовую пайку алюминиевых конструкций в настоящее время осуществляют в вакууме и атмосфере аргона. Пайку в вакууме выполняют в присутствии паров магния, причем магний, как правило, входит также и в состав припоя на основе силумина. Пайку осуществляют при температуре 600 °С в вакууме  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  Па [1]. Недостатками данного способа являются необходимость периодической очистки стенок камеры печи, экранов, нагревательных элементов и вакуумной системы от сконденсировавшихся паров магния и применение при пайке многокомпонентных припоев.

Одним из вариантов вакуумной технологии пайки является способ [2, 3], позволяющий вести процесс при нагреве в вакууме с остаточным давлением менее 10 Па и использовать в качестве припоя силумины без магния. Переход к низкому вакууму возможен благодаря применению вспомогательного контейнера с затвором, уплотненным титановой губкой, с введением паров магния из навески, которая размещена в затворе под губкой, выполняющей функцию неиспаряемого геттера. Этот способ позволяет осуществлять пайку на более простом оборудовании и перспективен при изготовлении негабаритных изделий.

Разработанный в ОАО "Криогенмаш" новый способ бесфлюсовой пайки крупногабаритных алюминиевых конструкций, в частности пластинчато-ребристых теплообменников<sup>1</sup> (ПРТ) [4], не имеет отмеченных недостатков вакуумной пайки. Пайку выполняют припоями системы Al—Si, не содержащими Mg, в аргоне, который перед поступлением в камеру пайки очищают от примесей кислорода и паров воды. Для получения качественных соединений необходима дополнительная очистка атмосферы

камеры, так как в процессе нагрева и пайки в результате термической дегазации металла паяемого изделия, конструкционных материалов камеры и сборочно-паяльного приспособления происходит непрерывное изменение состава атмосферы. Применение в качестве геттера пластин пористого титана [5], который по сравнению с титановой губкой более технологичен, позволяет осуществлять пайку в практически безокислительной атмосфере. При этом паяные соединения имеют хорошо сформированные галтели (рис. 1), а прочность на срез составляет 85—90 МПа.

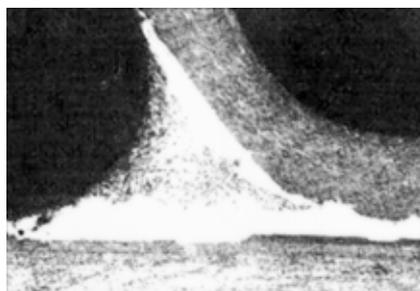


Рис. 1. Микроструктура паяного в аргоне с геттером соединения листа и насадки в макете ПРТ.  $\times 70$

На рис. 2 приведен термический цикл пайки в аргоне пакета ПРТ размером 1050×850×3000 мм и изменение содержания кислорода и паров воды в камере в процессе нагрева. Нагрев и циркуляция аргона в камере производятся встроенными в нее аэродинамическими нагревателями.

К недостаткам данного способа следует отнести необходимость предварительной очистки аргона от примесей кислорода и паров воды, а также многократного вакуумирования камеры с целью дегазации изделия и геттера в процессе нагрева.

### Регенерация геттера

Производственный опыт изготовления ПРТ пайкой в аргоне показал, что для сохранения высокого качества паяных соединений геттер, установленный в камере пайки, необходимо заменять после 120—150 ч нагрева при температуре пайки. Поскольку стоимость пористого титана высока, возникает вопрос о его регенерации для последующего использования при пайке.

Для регенерации титановой губки в работе [3] предложено прово-

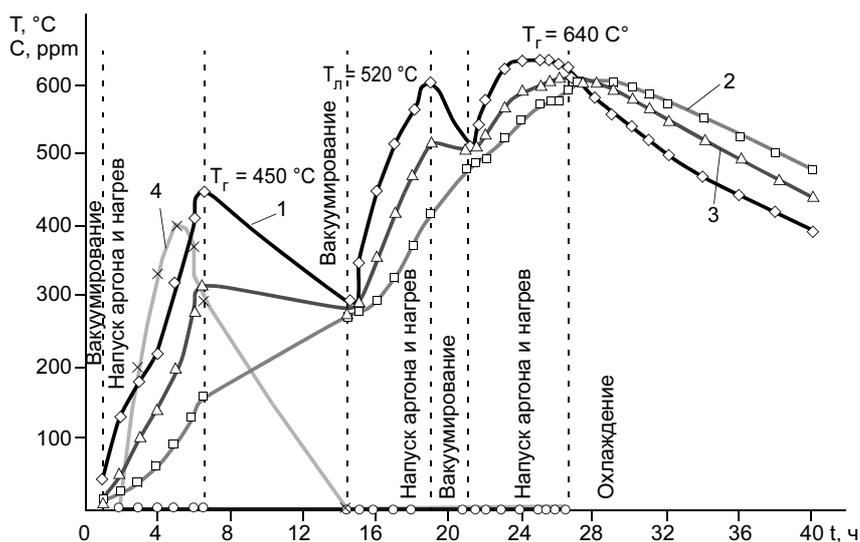


Рис. 2. Термический цикл пайки пакета ПРТ размером 1050×850×3000 мм и изменение содержания кислорода (4) и паров воды (5) в камере в процессе нагрева: 1—3 — температура газа, пакета (минимальная и максимальная) соответственно

<sup>1</sup> Патент 2124971 (РФ).

дить ее отжиг в вакууме  $5 \cdot 10^{-2}$  Па при температуре  $850^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. Установлено, что потерянные геттерные свойства губки восстановились, однако число термических циклов пайки, при которых обеспечивалось смачивание алюминия припоем, сократилось примерно в 2 раза.

Результаты исследований восстановления пористого титана [6] показали, что в интервале температур от  $300$  до  $1000^\circ\text{C}$  кривая зависимости содержания кислорода в пористом титане от температуры нагрева в вакууме при изотермической выдержке в течение 2 ч через каждые  $100^\circ\text{C}$  имеет два характерных минимума при  $500$  и  $800^\circ\text{C}$  (рис. 3). Наличие этих минимумов свидетельствует о десорбции кислорода из металла. При других температурах титан окисляется, причем в области температуры  $600^\circ\text{C}$  наблюдается его максимальное окисление.

Температура  $500^\circ\text{C}$  является критической, при которой кислород из фазового оксида на поверхности титана переходит в твердый раствор. При этом переходе в процессе вакуумиро-

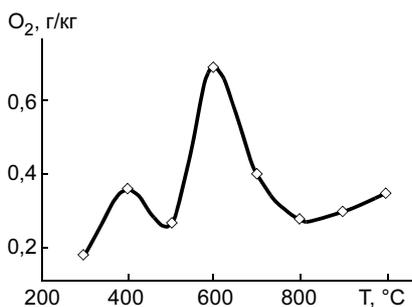


Рис. 3. Зависимость содержания кислорода в пористом титане от температуры нагрева в вакууме  $(2-5)10^{-3}$  Па при выдержке в течение 2 ч

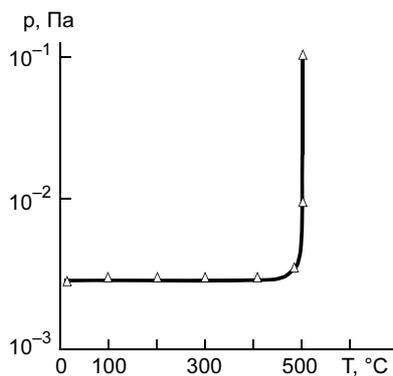


Рис. 4. Зависимость давления в вакуумной камере от температуры нагрева окисленного пористого титана

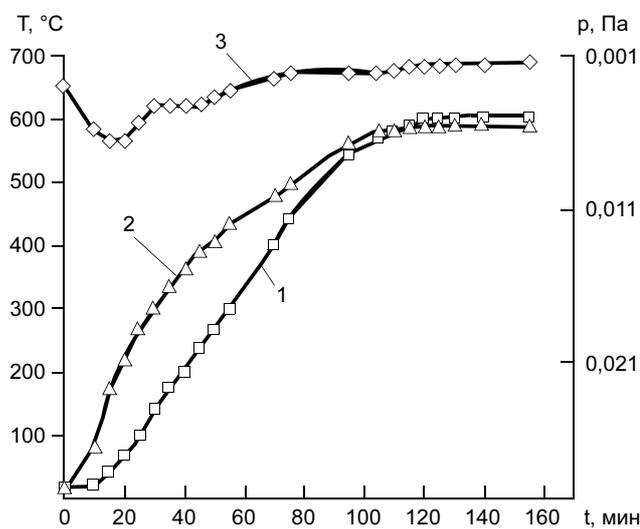


Рис. 5. Термический цикл нагрева в вакууме макета ПРТ размером  $100 \times 100 \times 9$  мм и изменение давления в камере в процессе нагрева: 1, 2 — температура макета и титана соответственно; 3 — давление

вания часть кислорода десорбируется, что подтверждается увеличением давления в вакуумной камере (рис. 4) при нагреве пористого титана.

На основании полученных результатов разработан способ практически полной регенерации титана [6]. Сделано также предположение, что при пайке алюминиевых сплавов в вакууме использование пористого титана в качестве неиспаряемого геттера позволит отказаться от применения паров магния.

#### Пайка в вакууме в присутствии пористого титана

Для подтверждения приведенного предположения исследовали пайку алюминиевого сплава АМц, плакированного эвтектическим силумином. Пайку выполняли в вакуумной ( $10^{-3}$  Па) высокотемпературной печи СГВ-2.4-2/15-И2. В качестве геттера использовали пластины пористого титана ВТ1-0 ППТЭ-МП толщиной 4 мм. Паяемость оценивали по прочности паяных соединений образцов и макетов ПРТ, качеству формирования галтелей и результатам металлографических исследований.

На рис. 5 приведен термический цикл пайки в вакууме макета ПРТ размером  $100 \times 100 \times 9$  мм и изменение давления в камере в процессе нагрева. Охлаждение осуществляли с выдержкой при температуре  $500^\circ\text{C}$  для регенерации геттера, что обеспечило возможность его многократного использования [6].

При испытании паяных макетов на прочность разрушение происходит по насадке при давлении 10 МПа.

Прочность соединений на срез составляет 100 МПа. Металлографические исследования паяных соединений подтвердили их высокое качество (рис. 6).

#### Экологически чистый способ подготовки поверхности алюминиевых сплавов к пайке

Для удаления жировых загрязнений и "старых" оксидных пленок с поверхности алюминиевых сплавов перед пайкой в основном применяют традиционное травление в щелочных растворах и растворах кислот. Однако эти способы подготовки поверхности не являются экологически чистыми и не отвечают современным требованиям защиты окружающей среды.

В ОАО "Криогенмаш" проведены комплексные исследования широкой номенклатуры современных очищающих средств различных фирм-произ-



Рис. 6. Соединение сплава АМц, паянное эвтектическим силумином в вакууме в присутствии пористого титана при температуре пайки  $605^\circ\text{C}$  с выдержкой в течение 30 мин.  $\times 50$

водителей. Эти очистители представляют собой водные растворы щелочного и кислотного характера, являются нетоксичными, взрыво- и пожаробезопасными, полностью биоразлагаемыми жидкостями, в составе которых присутствуют поверхностно-активные вещества и компоненты, способные удалять с поверхности алюминиевых сплавов жировые загрязнения и оксидные пленки.

На основе полученных результатов разработан новый экологически чистый процесс подготовки поверхности деталей из алюминиевых сплавов [7] в растворе кислотного очистителя "Дескалер ФФ" (ООО "ЕСТОС-Техно"). При полном удалении жировых загрязнений и "старых" оксидных пленок скорость растворения металла в 10 %-ном растворе примерно на два порядка меньше, чем при традиционном щелочном травлении, и составляет 0,07 мкм/мин, что особенно важно при подготовке к пайке тонкостенных конструкций.

Разработанный процесс подготовки деталей из алюминиевых сплавов к пайке позволяет получать прочноплотные паяные соединения. Уста-

новлено, что максимальная прочность ПРТ, детали которых перед пайкой в вакууме обработаны в растворе "Дескалер ФФ", составляет 10 МПа, что близко к расчетной величине и превышает прочность ПРТ (7,5 МПа), паянных в аналогичных условиях после подготовки деталей по традиционной технологии.

## ВЫВОДЫ

1. Использование в качестве геттера пористого титана позволяет производить бесфлюсовую пайку алюминиевых сплавов не только в аргоне, но и в вакууме без применения паверта магния.

2. Предварительная подготовка поверхности деталей в растворе кислотного очистителя "Дескалер ФФ" обеспечивает экологическую чистоту процесса пайки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шеер Х.* Пайка твердым припоем конструкций из алюминиевых материалов // *Bander Bleche Rohre.* 1986. Bd. 27. N 4. С. 72—74.
2. *Перевезенцев Б. Н., Соколова Н. М., Телицына Г. А.* Пайка алюминия в низком

вакууме // *Сварочное производство.* 1996. № 6. С. 2—4.

3. *Перевезенцев Б. К., Соколова Н. М., Телицына Г. А.* Активирование поверхности при вакуумной пайке алюминия // *Сварочное производство.* 1996. № 2. С. 4—5.

4. *Разработка способа пайки алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников в среде аргона / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, А. В. Соколова, Л. С. Лантушенко // Химическое и нефтегазовое машиностроение.* 1999. № 9. С. 6—10.

5. *Применение титана в качестве геттера при высокотемпературной бесфлюсовой пайке алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников / Е. И. Сторчай, А. В. Соколова, И. В. Рослан, Л. С. Тарасенко // Изготовление теплообменной аппаратуры.* М.: ЦРДЗ, 1993. С. 24—31.

6. *О возможности регенерации титанового геттера, применяемого при пайке алюминиевых конструкций в среде аргона / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, А. В. Соколова, Л. С. Лантушенко // Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной пайки.* М.: ЦРДЗ, ЗАО "АЛАРМ", 2004. С. 61—66.

7. *Новая экологически чистая технология подготовки поверхности алюминиевых сплавов к пайке / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, Л. С. Лантушенко и др. // Сварочное производство.* 2001. № 1. С. 37—41.

УДК 621.791.14

**В. А. ПОЛОВЦЕВ, канд. техн. наук, Н. В. МАКАРОВ, инж., Г. В. ШИЛЛО, инж., А. В. САБАНЦЕВ, канд. техн. наук, Т. Н. СМИРНОВА, инж. (ГКНПЦ им. М. В. Хруничева), М. М. ШТРИКМАН, д-р техн. наук (ОАО "НИАТ")**

## Фрикционная сварка алюминиевых лейнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления

В России различные виды сварки трением широко применяют во многих отраслях промышленности уже более полувека. Ряд изобретений в этой области защищены авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ, в том числе в 1967 г. способ сварки линейных швов трением вращающимся стальным стержнем<sup>1</sup>. Однако

на фоне появившихся в 60—80 годах прошлого века прогрессивных способов сварки плавлением (электронным и световым лучом, плазмой дуги, лазером и др.) данный способ не нашел в тот период своего дальнейшего развития.

Началом активного исследования и промышленного освоения этого способа явилось патентование в 1991 г. Институтом сварки Великобритании (TWI) аналогичного "Усовершенство-

ванного способа фрикционной сварки" (Improvements to Friction Welding)<sup>2</sup>.

В последние годы, судя по многочисленным зарубежным публикациям [1, 2], продолжает расширяться сфера практического использования процесса фрикционной сварки (ФС) в разных отраслях промышленности: авиастроении [3—5], ракетно-косми-

<sup>1</sup> А. с. 195846 (СССР).

<sup>2</sup> Европейский патент 0615480.

ческом производстве [6, 7], судостроении [8—9], атомной промышленности [10], вагоностроении [11] и др.

Технико-экономические преимущества процесса ФС делают этот процесс высокоэффективным для сварки неразъемных соединений интегральных конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов. В ряде случаев процесс не имеет альтернативы — когда в соединении входят сплавы, не свариваемые или ограниченно свариваемые традиционными способами сварки плавлением. Известно [12], что сплав 1201, а также сочетание его со сплавом АМгб являются трудносвариваемыми сваркой плавлением. Однако с учетом высоких эксплуатационных характеристик этих сплавов в интервале рабочих температур их использование считается целесообразным в качестве конструкционных мате-

риалов для топливных баллонов: сплав АМгб — для листовых элементов оболочки и сплав 1201 — для жестких.

В ГКНПЦ им. М. В. Хруничева работы по исследованию и внедрению способа ФС были начаты в начале 2002 г. За истекший период совместно с ведущими институтами — ОАО "НИИАТ" (технологическим) и ОАО "Композит" (материаловедческим) — разработана технология ФС [13] и проведены исследования свариваемости, физико-механических и эксплуатационных свойств сварных соединений различных полуфабрикатов сплавов АМгб, 1201 и их сочетаний, полученных ФС, при температурах эксплуатации 150, 20, -196, -253 °С.

Установлено, что разработанные авторами параметры технологии и режимы ФС обеспечивают вы-

сокие прочностные и антикоррозийные свойства соединений этих сплавов в одноименном и разноименном сочетаниях в широком диапазоне рабочих температур [14].

Высокий уровень качества и прочностных характеристик сварных соединений, позволил применить ФС для изготовления алюминиевого лейнера металлокомпозитного баллона высокого давления.

Конструкция лейнера состоит из двух днщ изотензoidalной формы с вваренными круговыми швами фланцами, соединяемыми заключительным кольцевым швом (рис. 1, а). Сварка заключительного шва выполняется на разборном подкладном кольце (рис. 1, б).

Ранее предпринимались попытки изготовления аналогичного лейнера с толщиной оболочки 2,0 мм с применением автоматической сварки плавлением в инертном газе вольфрамовым электродом со сваркой заключительного кольцевого шва на остающейся технологической подкладке. Однако дефекты, возникающие при сварке заключительного кольцевого шва, значительно снижали работоспособность лейнера, особенно при циклических нагрузках, что не позволяло достичь стабильности свойств и требуемого запаса прочности.

Особую трудность при выполнении кольцевого шва вызывает требование к точности сборки под фрикционную сварку — плотное прилегание соединяемых кромок к подкладке на всей протяженности шва [13]. При наличии зазора между кромками свариваемого стыка и подкладкой усилие на сварочном инструменте в процессе сварки приводит к образованию "хлопуна" перед ним, высота которого при перемещении инструмента увеличивается, при этом нарушается формирование конечного участка шва. Для предупреждения такого нарушения сварку кромок под сварку на кольцевой подкладке осуществляли с применением метода термофиксации<sup>3</sup>: соединяемые кромки перед сборкой подогревали до 200 °С. Поскольку наружный диаметр подкладного кольца на 1,5—2,0 мм превышал номинальный внутренний диаметр кромок днища, после охлаждения

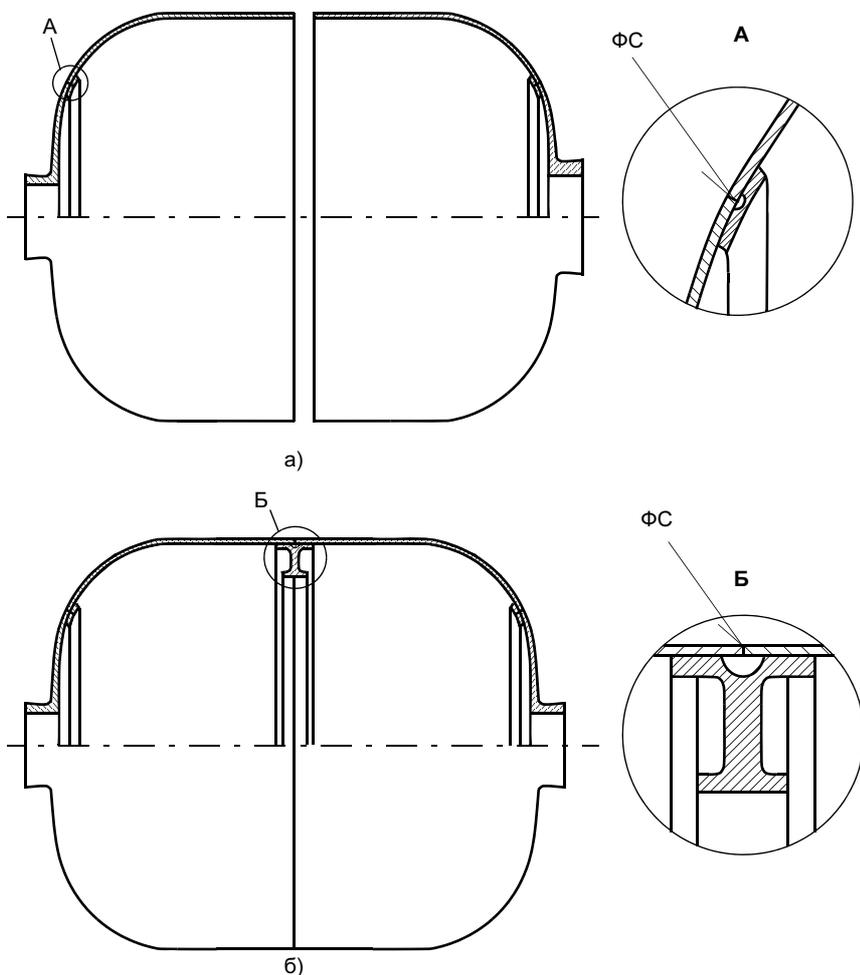
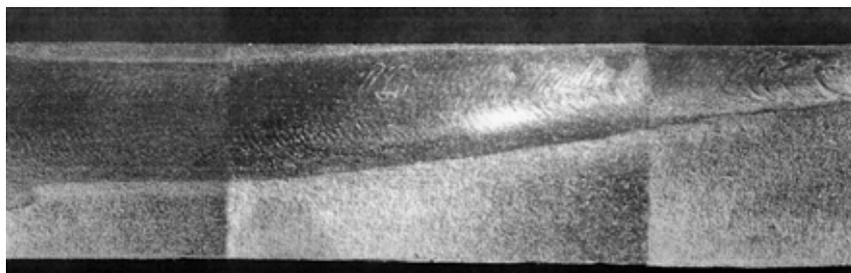
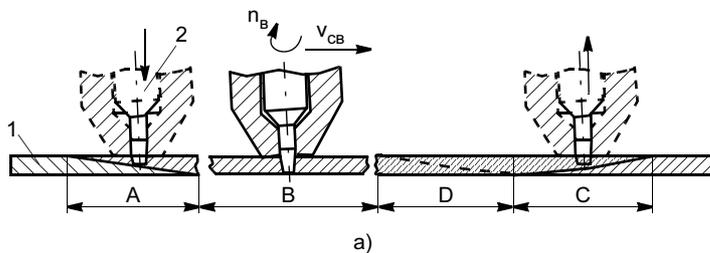


Рис. 1. Схема сборки-сварки (ФС) круговых (а) и кольцевых (б) швов лейнера

<sup>3</sup> Патент 2290290 (РФ).



б)

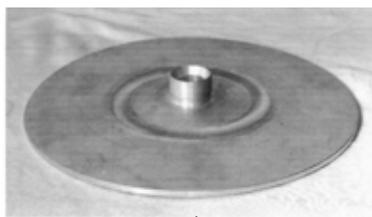
**Рис. 2.** Схема введения в стык и выведения из него рабочего стержня сварочного инструмента (а), продольный макрошлиф конечного участка шва (б) (А, С — зоны ввода и вывода инструмента, В — зона шва без перекрытия, D — зона перекрытия начала шва): 1 — листовая заготовка ( $\delta = 4$  мм); 2 — инструмент

кромки плотно, с натягом прилегают к кольцевой подкладке и испытывают напряжения растяжения, достаточные для сохранения плотного контакта кромок с подкладкой на всем протяжении соединения, чем обеспечивается качественное формирование кольцевого шва.

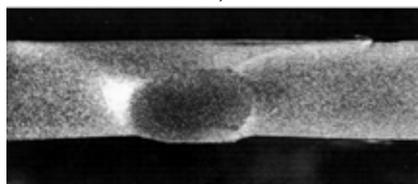
Специфической особенностью процесса ФС является образование кратера, оставляемого в конце шва инструментом после выведения его из стыка. Проблема устранения остающегося кратера возникает особенно остро при сварке замкнутого (кольцевого или кругового) шва, когда нет возможности завершить сварку на технологической пластине или на припуске. Исследование различных способов решения этой проблемы показало, что рациональнее разработать способ исключения образования кратера, чем его устранять.

С этой целью за рубежом применяют инструмент с подвижным рабочим стержнем<sup>4</sup>. Авторами данной работы разработан вариант конструкции сварочного инструмента с подвижным рабочим стержнем. На рис. 2, а приведена схема внедрения рабочего стержня сварочного инструмента в стык и вывода из шва. В начале процесса вращающийся инструмент с

убранным в корпус инструмента рабочим стержнем опускали до требуемого контакта опорного бурта с поверхностью соединяемых кромок; с



а)



б)

**Рис. 3.** Образец-имитатор кругового шва лейнера (а) и макроструктура шва (б)



**Рис. 4.** Лейнер баллона высокого давления, сваренный ФС

этого момента начинали внедрять рабочий стержень в стык, а движение по вертикали корпуса с опорным буртом прекращали. При этом одновременно производили перемещение вращающегося инструмента вдоль линии стыка. После полного оборота и перекрытия начального участка шва на 40—50 мм рабочий стержень инструмента постепенно выводили из стыка, затем отводили инструмент от поверхности детали, прекращали его перемещение по линии стыка и отключали вращение. На продольном макрошлифе (рис. 2, б) видно, что при этом конечный участок сварного шва формируется без дефектов.

Технология сборки-сварки круговых швов, имитирующих соединения днища с фланцем (рис. 3, а) и кольцевых швов баллона (рис. 4), предварительно отработанная на натуральных образцах, обеспечила высокое качество сварных швов (рис. 3, б).

Сварку круговых швов и замыкающего кольцевого шва лейнера производили на следующем режиме: частота вращения инструмента 800 об/мин, скорость сварки 200—250 мм/мин. Для уменьшения вероятности образования дефекта в виде непровара в корне шва сварку выполняли на подкладных элементах с технологической канавкой под линией стыка. Сварные швы отличаются хорошим формированием, внешние и внутренние дефекты практически отсутствуют. Для сварки применяли разработанный авторами данной работы инструмент из теплопрочной износостойкой термически обработанной по определенному режиму стали типа Р6М5, который выдерживал высокие напряжения кручения, изгиба и сжатия при нагреве до 550 °С в течение всего цикла сварки.

Экспериментальная сварочная установка (рис. 5) в комплексе с оснасткой и со специализированной сварочной головкой позволила реализовать необходимые функциональные настроечные и рабочие перемещения сварочного инструмента и свариваемого стыка относительно друг друга по всей протяженности соединения, а также обеспечить стабильность параметров режима с возможностью их регулирования. С применением разработанного комплекса оборудования отработаны оптималь-

<sup>4</sup> Патент 5697544,0289603 (США), 98/00861 (Швеция).

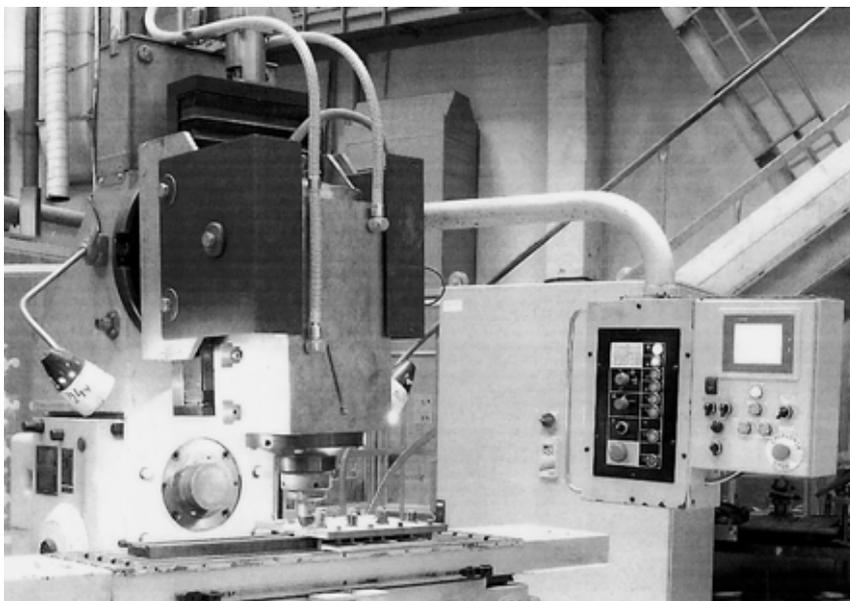


Рис. 5. Экспериментальная установка для ФС

ные параметры технологии и режимы сварки применительно к резервуарам из алюминиевых сплавов 1201 и АМг6, и сварены экспериментальные конструкции из этих сплавов (см. рис. 4). По завершении сварки кольцевого шва производили демонтаж подкладного кольца с разборкой его на отдельные части и выемку каждой из них через технологическое отверстие диаметром 53 мм в одном из фланцев днища. После рентгеновского контроля и приемочных пневмоиспытаний лейнеры передавали на намотку силовой оболочки.

Готовые металлокомпозитные баллоны (рис. 6) подвергали комплексным динамическим и статическим испытаниям, в том числе гидротестам до разрушения их при давлении до 82 МПа и более.

В 2005 г. ГКНПЦ им. М. В. Хруничева приобрел установку серии LEGIO™ (рис. 7) фирмы ESAB (Швеция) и соответствующую лицензию. На этой установке были откорректированы режимы сварки, отработана производственная технология ФС лейнеров и изготовлена контрольная партия баллонов. Последующие комплексные испытания и исследования подтвердили их работоспособность. Применение ФС при производстве алюминиевых лейнеров позволило обеспечить необходимые эксплуатационные характеристики металлокомпозитных баллонов высокого давления.

Таким образом, по сравнению со сваркой плавлением ФС имеет ряд существенных преимуществ, обу-

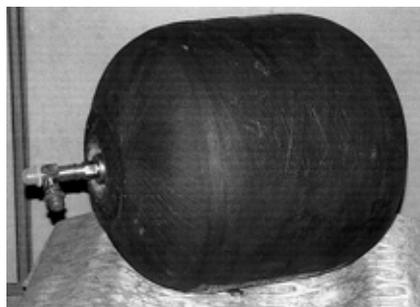


Рис. 6. Опытный металлокомпозитный баллон высокого давления

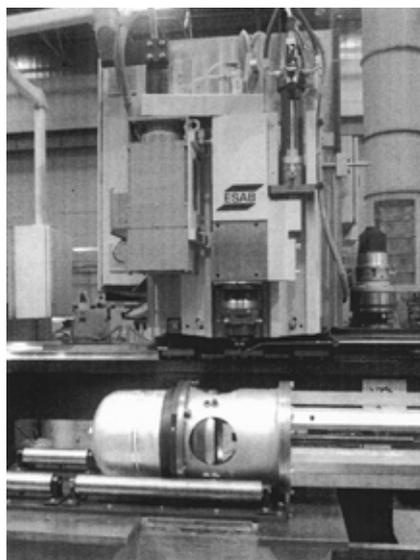


Рис. 7. Сварка лейнера на производственной установке

словливающих широкое применение данного способа сварки в ответственных конструкциях аэрокосмической отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Friction stir welding-process developments for aluminium applications* / N. M. Thomas, C. S. Wiesner, D. G. Staines, E. R. Watts // International conference and exhibition "Aluminium in transport". Moscow, 2005.
2. Штрикман М.М. Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор). Ч. III // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 36—45.
3. Lohwasser D. FSW for A350 aircraft // 6<sup>th</sup> International Symposium on friction stir welding. Montreal (Canada), 2006.
4. Shepherd G. The evaluation of friction stir welded joints on airbus aircraft wing structures // 4<sup>th</sup> International Symposium on friction stir welding. Utah (USA), 2003.
5. *Friction stir welding system development for thin gauge aerospace structures* / B. Christer, M. Hansen, M. Skinner, G. Silva // 4<sup>th</sup> International Symposium on friction stir welding. Utah (USA), 2003.
6. Jonsen M. R. Friction stir welding takes off at Boeing // Welding Journal. 1999. N 2. P. 35—39.
7. Hartley P. Friction plug weld repair of Space Shuttle external tank // Welding and Metal Fabrication. 2000. N 9.
8. Lahti K. et al. Rotation friction welding - the possibilities in shipbuilding // Svetzaren. 2003. N 1. P. 6—8.
9. Midling O. T., Kvale J. S., Oma S. Application of prefabricated friction stir weld panels in catamaran building // 4<sup>th</sup> International Forum on aluminium ships. New Orleans, 2000.
10. Cedergvist L. FSW to seal 50 mm thick copper canisters — a weld that lasts for 100 000 years // 5<sup>th</sup> International Symposium on friction stir welding. Metz (France), 2004.
11. Kumagai M., Tanaka S. Properties of aluminium wide panels by friction stir welding // 1<sup>st</sup> International Symposium of friction stir welding. California (USA), 1999.
12. Ищенко А. Я. Характер горячих трещин, образующихся при сварке плавлением высокопрочных алюминиевых сплавов // Актуальные проблемы при сварке цветных металлов. Киев: Наукова думка, 1985. С. 34—36.
13. Фрикционная сварка листовых конструкций из алюминиевых сплавов 1201 и АМг6 / М. М. Штрикман, В. А. Половцев, Г. В. Шилло и др. // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 41—47.
14. Служебные характеристики соединений алюминиевых сплавов 1201 и АМг6, выполненных фрикционной сваркой / В. А. Половцев, М. М. Штрикман, Г. В. Шилло и др. // Технология машиностроения. 2006. № 4. С. 30—34.

**Д. П. ИЛЬЯЩЕНКО, инж., С. Б. САПОЖКОВ, канд. техн. наук**  
**Технологический институт Томского политехнического университета (Юрга)**

## Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения

За последние 20 лет [1, 2] в промышленно развитых странах доля металла, наплавляемого ручной дуговой сваркой, снизилась почти в 3 раза. Есть основания полагать, что в недалеком будущем доля ручной дуговой сварки (по наплавленному металлу) в промышленных странах стабилизируется на уровне 15—25 %, а в мире в целом снижение будет идти в основном за счет развивающихся стран и Китая. Преимущественное применение этого способа сварки в строительстве (не менее 85—90 % общего объема сварочных работ) сохранится и в ближайшие годы [3].

Это обуславливают следующие преимущества ручной дуговой сварки покрытыми электродами по сравнению с механизированными способами дуговой сварки [4, 5]:

— возможность вести сварку в весьма неудобных и труднодоступных для механизированных способов сварки;

— простота и дешевизна оборудования по сравнению с механизированными способами сварки;

— возможность наблюдения за процессом сварки и высокая маневренность процесса, обеспечивающая выполнение коротких и длинных швов любой формы в различных пространственных положениях;

— сварка покрытыми электродами позволяет получить металл шва практически любого состава за счет легирования через покрытие без расширения ассортимента проволоки;

— является основным способом сварки в полевых условиях при монтаже магистральных и промысловых трубопроводов, несмотря на существ-

ующие испытанные механизированные способы сварки в защитных газах.

Однако наряду с достоинствами этот способ сварки имеет недостатки, снижающие эффективность его применения [4]: низкую производительность по сравнению с механизированными способами сварки; зависимость качества сварного соединения от квалификации сварщика; разную скорость плавления электрода в начале и конце процесса (так как ток, протекая по электроду, разогревает его и сопротивление меняется); большие потери металла на угар и разбрызгивание, огарки, в сумме составляющие до 10—20 % массы стержня [5, 6].

К основным причинам выбрасывания капель металла из зоны сварки относятся [7]:

— нестабильный характер переноса металла, когда сила, отрывающая каплю от электрода, направлена в сторону от ванны и капля выбрасывается за ее пределы; нестабильность переноса может быть вызвана условиями развития дугового разряда и металлургическими факторами, в частности интенсивным протеканием химических реакций;

— местное взрывообразное выделение газов в объеме металла, вызываемое металлургическими реакциями и приводящее к выбросу частиц металла из капель или, что бывает реже, из ванны;

— разрушение мостика жидкого металла, образующегося при переносе металла с короткими замыканиями в результате резкого увеличения плотности тока при сужении перемычки; разбрызгивание в значитель-

ной степени зависит от динамических характеристик источника тока;

— недостаточная стабильность процесса сварки.

Интенсивность разбрызгивания металла зависит от многих факторов [6]:

- вида покрытия электродов (составляющих компонентов электродного покрытия) и состояния поверхности кромок основного металла;

- характеристики источника питания (в работах [8, 9] установлена зависимость между динамическими характеристиками источника питания и потерями на разбрызгивание электродного металла);

- величины и соотношения параметров режима сварки и др.

Точные данные о величине разбрызгивания при ручной дуговой сварке покрытыми электродами отсутствуют. В работе [10] приведенная величина разбрызгивания позволяет лишь разделить существующие марки электродных покрытий на три группы: с большим, умеренным и малым разбрызгиванием. Таким образом, данных по вопросу разбрызгивания при ручной дуговой сварке покрытыми электродами явно недостаточно [11].

В данной работе приведена методика проведения исследования по определению потерь электродного металла на угар и разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами [12].

Потери на угар и разбрызгивание определяют по формуле

$$\gamma = \frac{Q_p - Q_n}{Q_p}, \quad (1)$$

где  $Q_p$  — количество расплавленного электродного металла, г;  $Q_n$  — количество наплавленного электродного металла, г.

Количественным показателем разбрызгивания металла служит коэффициент разбрызгивания  $\Psi$ , представляющий отношение массы брызг к массе расплавленного металла электрода:

$$\Psi = \frac{Q_b}{Q_p}, \quad (2)$$

где  $Q_b$  — масса брызг, г.

В данной работе исследовано влияние марки (состава) электрода, сварочного тока на размеры и количество разбрызгиваемого электродного металла. В качестве источника питания применяли выпрямитель ВДУ-306 УЗ. Сварку производили в коробе для облегчения сбора брызг. Все образовавшиеся брызги разделяли на три фракции: диаметром 1,6 мм и более, 1—1,6 мм и менее 1 мм. Результаты проведенных исследований приведены на рис. 1.

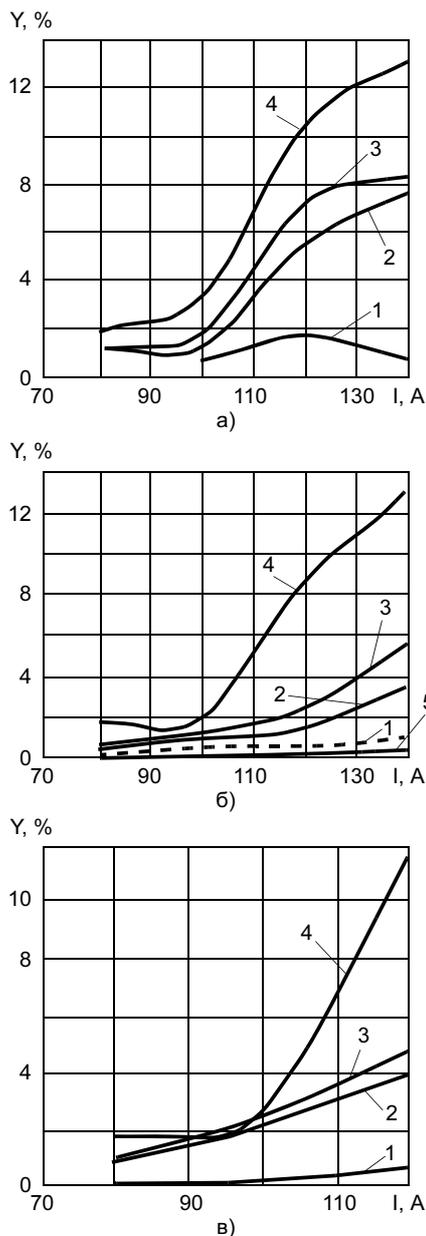
Разбрызгивание электродного металла сопровождается набрызгиванием его на поверхность свариваемых деталей при ручной дуговой сварке и может достигать существенных значений (см. таблицу) [11,12]. Согласно результатам проведенных исследований по определению трудоемкости очистки поверхности свариваемых изделий от брызг расплавленного металла, установлено [12], что при сварке электродами диаметром 3 мм время на зачистку (вручную с помощью зубила и молотка) составляет 35 % от времени сварки, а электродами диаметром 4 мм — 42 %. Следовательно, проблема борьбы с набрызгиванием при ручной дуговой сварке покрытыми электродами не менее актуальна, чем при механизированной сварке в  $CO_2$ .

Снизить величину набрызгивания каплей расплавленного металла на поверхность свариваемых деталей можно двумя способами:

- устранить или снизить величину разбрызгивания (разработкой систем управления переносом металла или новых сварочных материалов, технологий и приемов сварки);

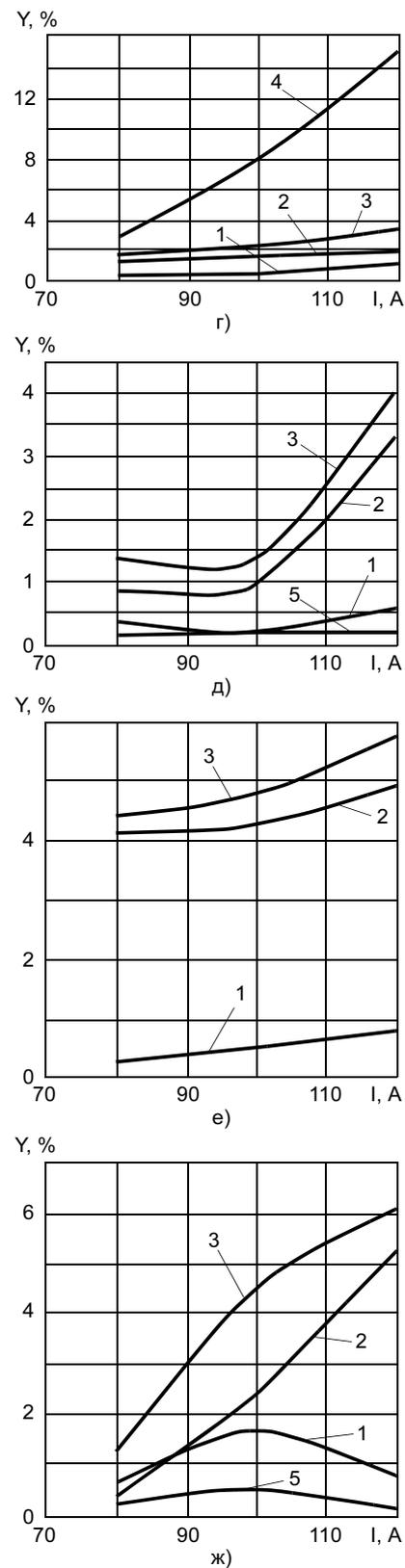
- применением покрытий для защиты поверхности свариваемого металла от брызг расплавленного металла.

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований по определению величины набрызгивания (массы трудноудаляемых капель с поверхности свариваемых деталей) при ручной дуговой сварке покрыты-



**Рис. 1.** Зависимость разбрызгивания и угара электродного металла от сварочного тока при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диаметром 3 мм: а — УОНИ-13/45 (основное покрытие); б — МР-3 (рутиловое); в — УОНИ-13/55 ("ЭСАБ") (основное); г — МР-3 ("ЭСАБ") (рутиловое); д — ОК 53.70 ("ЭСАБ") (рутиловое); е — ЛВ-52 (основное); ж — ОЗС-4 (ильменитовое); 1, 2 — разбрызгивание каплями размером меньше 1,6 мм и больше 1,6 мм; 3 — общие потери на разбрызгивание; 4 — потери на угар и разбрызгивание; 5 — разбрызгивание каплями размером меньше 1 мм

ми электродами с применением защитного покрытия и без него. Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: производили сварку двух пластин покрытыми электродами с нанесением защитного по-



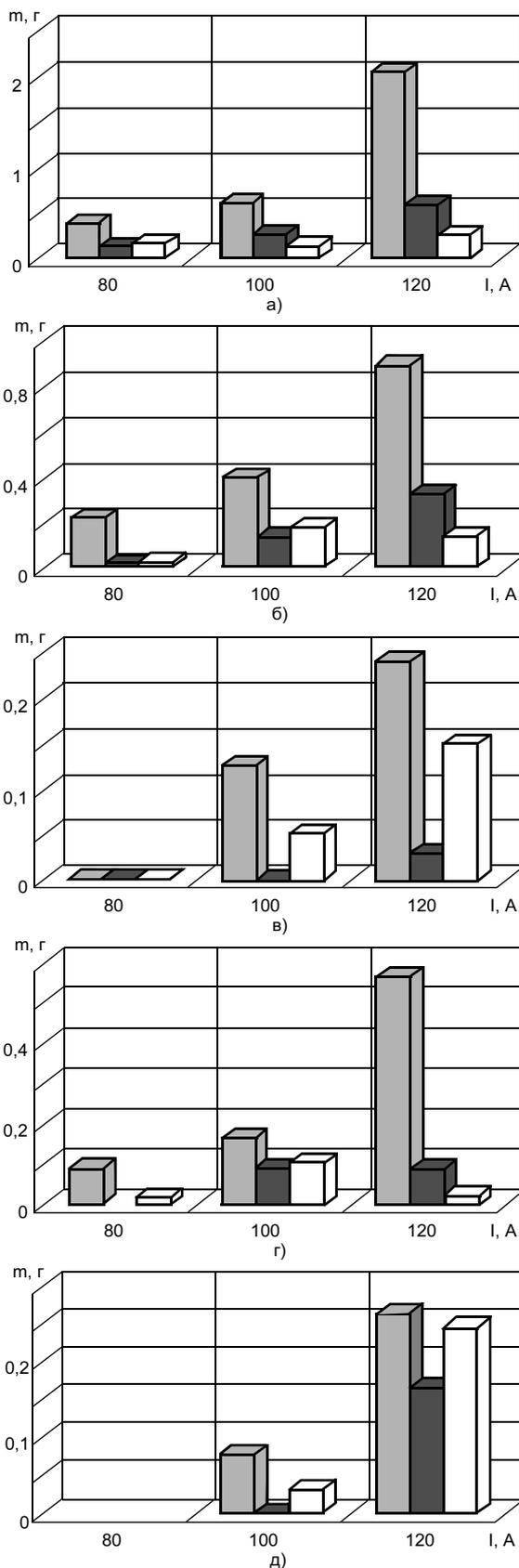


Рис. 2. Зависимость величины набрызгивания от сварочного тока при ручной дуговой сварке электродами УОНИ-13/45 (а), ОК 53.70 (б), ЛВ-52 (в), МР-3 (г) и МР-3 ("ЭСАБ") (д) (светлые столбцы — без покрытия, темные — покрытие № 1, белые — покрытие № 2)

Электрод	Диаметр электрода, мм	Коэффициент набрызгивания, %	Покрытие
АНО-5	5	4,4	Рутит-карбанатное
ЦМ-7	5	6,5	Кислое
АНО-1	5	1,5—4,5	Рутиловое
АНО-6	4 5	3—7 4—7	Ильменитовое
ОММ-5	4 5	8—11 8—11	Кислое
АНО-Т		2—3	Основное
АНО-ТМ		2—3	«

крытия и без него; с поверхности свариваемых изделий собирали с помощью щетки легко удаляемые капли и механическим путем — трудно удаляемые капли; путем взвешивания определяли массу собранных и срезанных капель. Применяли защитные покрытия № 1\* и 2 (каустическая сода, КБЖ, вода) (см. рис. 2).

Сравним капли расплавленного металла при сварке в углекислом газе и ручной дуговой сварке. Капля расплавленного металла при ручной дуговой сварке может быть покрыта как защитным слоем расплавленного шлака, так и оксидами расплавленного железа —  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , а при сварке в углекислом газе — капля без покрытия.

Установлено [3], что наличие на поверхности свариваемого металла оксидной пленки и загрязнений уменьшает прочность сцепления капли с поверхностью свариваемого изделия. Следовательно, наличие промежуточного слоя между каплей и поверхностью свариваемого изделия влияет на их прочность сцепления. В качестве промежуточного слоя при ручной дуговой сварке возможно применение защитных покрытий.

## ВЫВОДЫ

1. При определении потерь электродного металла на угар и разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами различных марок установлена зависимость между величиной потерь и сварочным током, что позволило выбрать рациональные режимы сварки с минимальными потерями электродного металла.

2. Установлено, что трудноудаляемые брызги находятся на расстоянии, не превышающем 40 мм от линии стыка.

3. Применение защитного покрытия различного состава позволяет снизить набрызгивание более чем в 2 раза, при этом для эффективной защиты поверхности от брызг покрытие необходимо наносить не менее чем на 40 мм от линии стыка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федько В. Т., Чипалюк А. С. Плавление и перенос электродного металла при дуговой сварке покрытыми электродами (обзор) // Сварочное производство. 2003. № 2. С. 3—10.
2. Бернадский В. Н., Мазур А. А. Состояние и перспективы мирового сварочного рынка // Автоматическая сварка. 1999. № 11. С. 49—55.
3. Жизняков С. Н. Электроды для сварки в строительстве // Сварочное производство. 1996. № 9. С. 3—5.

\* Патент 2297311 (РФ).

4. *Сварка в СССР*. Т. 1. Развитие сварочной техники и науки о сварке // Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. М.: Наука, 1981. 534 с.

5. *Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки*: Учебник для вузов. 2 изд. испр. и доп. / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков и др. / Под ред. А. И. Акулова. М.: Машиностроение, 2003. 560 с.

6. *Федько В. Т.* Теория, технология и средства снижения набрызгивания и трудоемкости при сварке в углекислом газе. Томск: Томский государственный университет, 1998. 432 с.

7. *Ерохин А. А.* Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.

8. *Лауджауст А. И., Казакевичус Ч. А.* Влияние параметров источника питания на разбрызгивание металла при сварке покрытыми электродами // Автоматическая сварка. 1976. № 4. С. 24—30.

9. *Оборудование для дуговой сварки*: Справочное пособие / Под ред. В. В. Смирнова. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 656 с.

10. *Электроды для дуговой сварки и наплавки*. Киев: Наукова думка, 1967. 440 с.

11. *Федько В. Т., Ястребов А. П., Ильященко Д. П.* Состояние вопроса потерь электродного металла на разбрызгивание

при ручной дуговой сварке различными покрытыми электродами // Современная техника и технологии. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. Т. 1. 308 с.

12. *Федько В. Т., Ястребов А. П., Ильященко Д. П.* Проблемы разбрызгивания металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (обзор) // Технология машиностроения. 2005. № 3. С. 23—31.

13. *Федько В. Т., Ястребов А. П., Ильященко Д. П.* Потери электродного металла на разбрызгивание и угар при ручной дуговой сварке покрытыми электродами // Современные проблемы машиностроения. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 594 с.

УДК 621.791:621.643.1/2

**С. А. РАЧКОВ, инж., Л. П. ГОРЯИНОВА, инж.**  
**ООО НПП "ЭЛТЕРМ" (Екатеринбург)**

## Применение установок серии "ЭЛТЕРМ УИН" при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов

При строительстве и ремонте магистральных трубопроводов возникает необходимость подогрева перед сваркой, отпуска кольцевых сварных соединений или нагрева наружной поверхности трубопровода перед нанесением полимерной изоляции.

Для решения этих задач на предприятии ООО НПП "ЭЛТЕРМ" разработано оборудование на базе установок для термической обработки сварных швов трубопроводов серии УИТ мощностью от 50 до 630 кВт

(рис. 1). В ООО "Уралтрансгаз" успешно эксплуатируется индукционная нагревательная установка ЭЛТЕРМ УИН-200-2,4 для подогрева зоны сварки кольцевых стыков, выполняемых ручной дуговой сваркой при проведении врезок под давлением на действующих магистральных газопроводах без остановки транспорта газа (рис. 2).

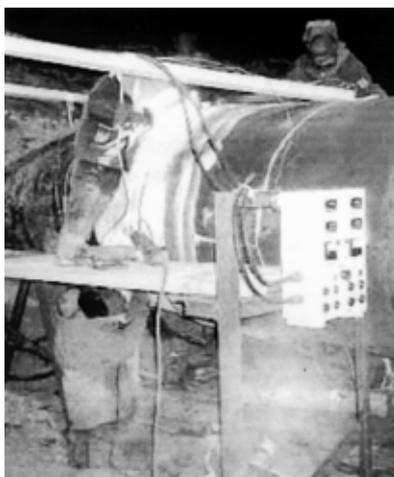


Рис. 2. Выполнение кольцевого шва с подогревом при сварке трубы газопровода диаметром 1420 мм и торцев фитинга на участке газопровода ОАО "Юрхаровнефтегаз"

В состав установки ЭЛТЕРМ УИН-200-2,4 входят две установки УИТ-100-2,4, выносной пульт дистанционного управления и кабели управления, комплект термопар и компенсационные провода для их подключения, контактный малогабаритный измеритель температуры, гибкие медные проводники для намотки индукторов, конденсаторные батареи для компенсации реактивной мощности индукторов, расходные термоэлектроизоляционные материалы.

Сварочные работы проводятся на действующем газопроводе без остановки транспорта газа, поэтому важной задачей является поддержание заданной температуры подогрева зоны сварки.

В установке ЭЛТЕРМ УИН-200-2,4 источники питания снабжены приборами и системой управления для автоматического измерения, регистрации и поддержания заданного температурного режима. Опыт эксплуатации установки<sup>1</sup> на участке газопровода ОАО "Юрхаровнефтегаз" (Ямбург)

<sup>1</sup> Работы проводились предприятием ААВП ООО "Уралтрансгаз" с участием специалистов ООО НПП "ЭЛТЕРМ".



Рис. 1. Установка серии УИТ

при температуре окружающей среды  $-27\text{—}30\text{ }^{\circ}\text{C}$  показал, что для подогрева торцов фитинга до необходимой температуры достаточно источника питания мощностью 50 кВт, а для нагрева свариваемой зоны трубопровода лучше применять источник питания мощностью 150 кВт.

В связи с этим в новых разработках в комплект поставки входят источники питания различной мощности (50 и 150 кВт), а для концентрации большей мощности в меньшем участке трубы предлагаются гибкие индукторы с жидкостным охлаждением. Это позволяет удвоить удельную мощ-

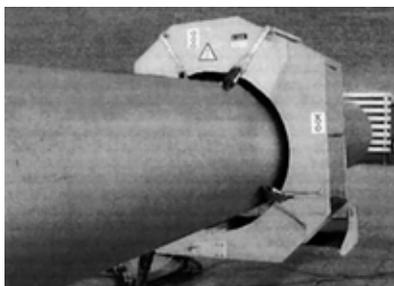


Рис. 3. Индуктор разъемной конструкции

ность на единицу площади, что гарантирует заданную температуру.

Для нагрева наружной поверхности трубопровода перед нанесением

полимерных покрытий в трассовых условиях в ООО НПП "ЭЛТЕРМ" совместно с ООО "Уралтрангаз" разработан и изготовлен мобильный комплекс, в состав которого входит индуктор разъемной конструкции (рис. 3). На корпусе индуктора установлены колеса, обеспечивающие перемещение всей конструкции вдоль трубы, при этом скорость перемещения зависит от скорости буксировочного устройства. В зависимости от условий эксплуатации индуктор можно подключать к источнику питания мобильного комплекса мощностью 200 или 630 кВт.

УДК 621.791.75.04

**З. А. СИДЛИН, д-р техн. наук  
ООО "Техпром" (Москва)**

## К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки

Оценка качества продукции потребителем и изготовителем чаще всего различается, причем весьма существенно. Тем более такое положение справедливо для сварочно-технологических свойств электродов, которые в последние годы становятся определяющими при выборе потребителем. Изменилась и база для сравнения: у большинства потребителей появился реальный доступ к электродам лучших мировых производителей. Изготовители же, как правило, по-прежнему ориентируются на нормы основного стандарта — ГОСТ 9466—75, а не на свойства лучшей рыночной продукции. Во многом это связано с недостаточным пониманием персоналом заводов-изготовителей последствий нарушений технологии изготовления электродов для фактической работоспособности сварных конструкций.

Проследить такую цепочку можно, составив таблицу, в которой для всех операций технологического цикла производства электродов прослеживается взаимосвязь качество электродов—качество сварных изделий: операция—возможные виды нарушений—причины возникновения—последствия для качества электродов—последствия для сварных конструкций [1].

По большому счету для потребителя неважно, сколько сил и средств вложил (и вложил ли вообще) изготовитель в совершенствование выпускаемой продукции. Его интересует возможность приобретения оптимальных по техническим и ценовым показателям сварочных материалов. В то же время здоровый консерватизм, многолетний опыт применения, нормативная база обуславливают использование потребителем привычных материалов. Поэтому рассмотрим изменение фактического уровня качества отечественных электродов на основе опубликованных данных.

Наиболее подробные исследования и анализ качества сварочных электродов на стадии их изготовления и потребления в течение многих лет проводили в Белоруссии [2—6]. По данным этих исследований, причины возникновения дефектности швов имеют следующие уровни вероятности, %: сварочные материалы — 5—62; подготовка и сборка конструкций — 6—45; квалификация исполнителей — 4—32; сварочное оборудование — 7—19.

Для электродов общего назначения выявлены значительные колебания по содержанию в наплавленном металле углерода (в сторону повышения) и марганца (в сторону уменьшения) при высокой суммарной вероятности таких отклонений. В части общих технических требований наибольшая вероятность отклонений от норм существует по разбрызгиванию и зачистке контактного торца — по 11 %, разнотолщинности и качеству формирования шва — по 10 %, порам и шлаковым включениям — 9 %.

На стадии потребления электродов кроме приведенных причин значимо влияет качество упаковки, возможность потери качественных показателей при неудовлетворительной транспортировке, хранении, погрузочно-разгрузочных работах, небрежном обращении, отсутствие возможности необходимой прокалки (просушки).

По данным проведенного в 1984 г. ИЭС им. Е. О. Патона выборочного обследования 15 машиностроительных предприятий, при входном контроле бракуется 6,3 % электродов общего назначения и 11,1 % специальных электродов [7], и это с учетом существовавшего дефицита электродов. При проведении сварочных работ в строительстве дефектность из-за некачественных сварочных материалов составляла в те же годы 26,3 % [3]. При изготовлении нефтехимической аппаратуры доля брака

из-за низкого качества сварочных материалов превышает 10 % общего объема подлежащих исправлению швов.

По данным акад. И. К. Походни, проверка качества электродов на 10 заводах-изготовителях показала, в частности, что на некоторых из них до 40 % проверенных электродов не соответствовали требованиям стандарта по какому-либо из контролируемых показателей. Наибольшее количество нарушений отмечено по следующим параметрам: разнотолщинность покрытия — до 38 %, длина зачищенного покрытия торца — до 36 %, оголенность контактного торца — до 28 %. Следует отметить, что высокий процент брака был характерен для электродов, изготовляемых как на отечественном оборудовании, так и на импортном [8].

Причины такого положения имели как технический характер (нестабильность и дефицит сырья, неудовлетворительные характеристики и состояние оборудования, технологической дисциплины, систем контроля и др.), так и экономический (дефицит электродов, издержки централизованного распределения, нерациональная система оплаты труда) [9].

Ряд этих причин устранен и теперь на одно из первых мест выходит злободневная и для изготовителей, и для потребителей электродов проблема идентификации товара для обнаружения и (или) предупреждения фальсификации.

В сварочной технике различные электроды известны главным образом по своим марочным наименованиям, которые установлены технической документацией организаций-разработчиков-изготовителей. В СССР и на постсоветском пространстве по принятой практике в буквенном обозначении марки электродов в закодированном виде, как правило, представлено наименование организаций-разработчиков, которые в большинстве случаев не являлись изготовителями [10]. Такая практика присвоения марочных наименований электродов существенно отличается от принятой в странах, где фирменные наименования марок юридически защищены.

В СССР по существовавшему законодательству передача нормативно-технической документации от разработчика к изготовителю чаще всего осуществлялась безвозмездно — "в порядке оказания технической помощи". Поэтому электроды серий АНО, МР, ОЗС, ОЗЛ и т. д. в настоящее время выпускают, как правило, без надзора разработчиков. Более того, проводимая предприятиями-изготовителями без ведома организаций-разработчиков модернизация существующих марок направлена главным образом на снижение себестоимости электродов, весьма часто в ущерб их качественным характеристикам. В результате этого, а также из-за существенной разницы в техническом уровне различных производств, выпускающих формально электроды одних и тех же марок, электроды, имеющие одинаковое марочное наименование, но изготовленные разными производителями, могут существенно отличаться по своим свойствам. Поэтому грамотный потребитель при практическом выборе электродов ориентируется не только на их марку, но и на репутацию предприятия-изготовителя, во многом зависящую от квалификации его персонала и политики его руководства.

С целью выделения своей продукции среди аналогичной рядом предприятий в настоящее время приняты двойные марочные наименования, дополнительно включающие обозначения заводов, например, ЛЭЗМР-3, ЛЭЗЦЛ-11 (Лосиноостровский электродный завод), Ротекс-ОЗС-12 (Судиславский завод сварочных материалов "Ротекс")

и др. В то же время идет цивилизованный процесс появления настоящих фирменных электродов, в частности, серии SE (SE-08-00, SE-46-00 и др.) завода сварочных материалов "СИБЭС", МТГ (МТГ-01, МТГ-02, МТГ-03) Сычевского электродного завода, ЛЭЗ (ЛЭЗ-04, ЛЭЗ-99 и др.) Лосиноостровского электродного завода и др.

Изготовители электродов в своей практической деятельности неоднократно сталкиваются с фальсификацией поставляемых сырьевых материалов и сварочной проволоки (замена сортов и марок, подделка сертификатов качества и происхождения и т. д.). Но и сами изготовители электродов из коммерческих соображений могут поставлять фальсифицированные электроды (более дешевые ильменитовые под видом рутиловых, изготовленных на проволоке, не соответствующей нормативной документации, и т. д.). Применительно к электродам, являющимся ответственным видом продукции, обеспечивающим надежность и безопасность многих объектов, такая фальсификация недопустима. Тем более, что на предприятиях, не располагающих специалистами высокой квалификации и испытательным оборудованием, изменения в известные марки вносят, ориентируясь лишь на внешние признаки электродов и некоторые из сварочно-технологических свойств. Впрочем, проблема фальсификации характерна для рынка России и СНГ в целом. Борьбу с ней необходимо вести законодательно на государственном уровне. Она уже начинается, как известно, с производством контрафактной видео- и печатной продукции, виноматериалов и т. д. Дело дойдет и до сварочной продукции.

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

До выполнения затратных работ по повышению качества электродов целесообразно проведение технологического аудита приглашенным квалифицированным специалистом. Технологический аудит — это обследование производственных мощностей предприятия и применяемой технологии с целью выработки оптимальных по технико-экономическим показателям технологических решений по техническому заданию заказчика. При этом знания и опыт аудитора — высококвалифицированного специалиста, способного к независимой оценке, сочетаются с опытом работы и знанием особенностей конкретного производства заводских технологов. Аудитор способен оценить технологический уровень данного производства в сравнении с конкурентами. Именно технологический аудит позволяет решить одну из основных проблем заводских технологов — недостаток аргументации для руководителей, обосновывающей необходимость тех или иных новшеств. К сожалению, современный руководитель производства часто не имеет собственного технологического опыта и поэтому испытывает сомнения (часто необоснованные) в правильности предлагаемых специальных решений, а заводской технолог не имеет достаточных знаний в области экономики и потребительского рынка, а также авторитета. Сочетая эти знания, аудитор-технолог адресует свое заключение не только руководителям предприятия, но и владельцам и инвесторам.

Подчас можно услышать утверждения, что недостатки отечественных электродов связаны с "устаревшими

формулами покрытий", т. е. с их составами [11]. По мнению автора, это справедливо лишь для электродов узкого назначения, например для трубопроводного строительства. При соблюдении фирменных составов и технологии изготовления отечественные электроды по качественным показателям достаточно конкурентоспособны. Об этом, в частности, свидетельствует успешная работа шведского предприятия "ЭСАБ-СВЭЛ" (С.-Петербург), выпускающего наряду с электродами серии ОК и российские марки электродов УОНИ, ОЗС-12 и др. [12].

Дело в другом — в степени стабильности качества выпускаемых электродов. Именно нестабильность качества, присущая продукции многих заводов и связанная в основном с их низким техническим уровнем, резко снижает конкурентоспособность отечественных электродов. Известно, что "технология изготовления электродов оказывает непосредственное и часто решающее влияние на физические и металлургические процессы, протекающие при образовании сварного шва, и, следовательно, на качество швов и на сварочно-технологические характеристики электродов. Положительные свойства любой хорошей марки электродов могут быть сведены к нулю, если не будут удовлетворительно разрешены вопросы технологии промышленного их изготовления. Правильное решение этих вопросов имеет в настоящее время большее значение, нежели редко оправданное "изобретательство" бесконечного числа новых или "модернизация" существующих марок электродов" [13]. Это утверждение, датируемое 1950 г., справедливо и в настоящее время.

Большие ожидания потребителей вкладывались в системы управления качеством и сертификации. Однако во многих случаях такая работа носит чисто формальный характер, не сказываясь определяющим образом на реальном качестве сертифицированной продукции. Наиболее характерен в этом отношении опыт работы по нормам Гостехнадзора в системе НАКСа.

И все же по настоящее время на рынке доминирует продукция отечественных производителей, хотя цены на нее близки к мировым, а государственный протекционизм отсутствует. При этом отмечен (по данным государственной статистики) определенный рост объемов выпуска и применения электродов за счет имеющихся положительных факторов внутреннего рынка:

- улучшения точности изготовления, качества зачистки торцев, внешнего вида электродов;
- улучшения качества упаковки;
- широкого внедрения поштучной маркировки электродов, обеспечивающей идентификацию не только по маркам, но и по производителям;
- снижения беспорядочного производства электродов-заменителей;
- возрастания доли электродов под брэндами предприятий-изготовителей;
- начала активного внедрения рядом предприятий электродов с повышенными сварочно-технологическими свойствами;
- заметного уменьшения средневзвешенного диаметра выпускаемых электродов;
- ухода с рынка недостаточно качественной продукции закрытых высокочрезвычайно технических устаревших крупных производств (Череповецкого СПЗ, Магнитогорского ММЗ, Щелковского завода "Спецмонтажизделие" (Московская обл.), Одесского СПЗ, Сулинского металлургического завода и др.), низкокачественной продукции, а также целого ряда мелких предприятий;

- укрепления ряда предприятий средней мощности (до 10 тыс. т), обладающих большой мобильностью и возможностями диверсификации производства (Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона, Электродный завод (С.-Петербург), Межгосметиз-Мценск, СЗСМ "Ротекс"; Волгодонский электродный завод и др.), а также небольших заводов, выпускающих спецэлектроды (Завод сварочных материалов (г. Березовский), "Электрод Сервис" (Московская обл.), "Арсэл" (Донецк) и др.);
- перехода высококвалифицированных кадров с опытом работы из вузов и НИИ непосредственно на производство;

- увеличения ассортимента источников питания и улучшения их характеристик, расширяющих технологические возможности используемой номенклатуры электродов.

По версии Минпромэнергетики России "Стратегия развития российской металлургии до 2015 г.", ожидаемый рост производства/потребления готового стального проката возрастет с 58,2/33,4 до 66/44 млн т или 113,4/131,7 % соответственно [14]. С учетом существующих прогнозов по стабилизации доли ручной дуговой сварки и известной пропорциональности потребления стального проката и сварочных материалов это означает соответствующий рост потребления и производства электродов. Очевидно, что в ближайшее время отечественных производителей электродов ожидает существенно более жесткая конкуренция с фирмами-лидерами мирового производства сварочных материалов и успех в этой борьбе потребует значительных инвестиций в развитие и налаженного диалога с потребителем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жизняков С. Н., Сидлин З. А. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами строительных конструкций // Библиотека "Ротекса". 2001. Вып. 4. 46 с.
2. Денисов Л. С. Повышение качества сварки в строительстве. М.: Стройиздат, 1982. 160 с.
3. Денисов Л. С. Достижения и проблемы в практике управления качеством сварочных работ // Контроль и управление качеством сварки. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1984. С. 12—26.
4. Денисов Л. С. Анализ производственных факторов качества и причин образования дефектности. Минск: Белстройнаука, 1991. 24 с.
5. Денисов Л. С., Занковец П. В. Управление качеством сварочных работ // Автоматическая сварка. 1996. № 12. С. 26—31.
6. Денисов Л. С. Качество сварочных электродов, опыт их сертификации, тенденции и направления развития // Электродное производство на пороге нового тысячелетия. С.-Петербург, 2000. С. 173—178.
7. Троицкий В. И., Ядченко Ю. Г. Пути управления качеством сварочных электродов в отрасли // Резервы повышения эффективности сварочного производства. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1987. С. 11—119.
8. Походня И. К. Перспектива развития производства сварочных материалов и пути повышения их качества // Сварочное производство. 1989. № 9. С. 18—21.
9. Яровинский Х. Л., Сидлин З. А. К проблемам отечественного электродного производства // Сварочное производство. 1989. № 4. С. 2—3.
10. Жизняков С. Н., Сидлин З. А. Ручная сварка. Материалы. Оборудование. Технология. Киев: Экотехнология, 2006. 368 с.
11. Иоффе И. С., Гаврилин Ю. М. Повышение конкурентоспособности российских электродов // Сварочное производство. 2004. № 7. С. 50—51.
12. Каталог "Сварочные материалы ESAB". М.: ООО "ЭСАБ", 2006. 98 с.
13. Соколов Е. В. Электроды с качественным покрытием и их производство // Автогенное дело. 1950. № 11. С. 26—30.
14. Обновление стратегического назначения // Металлоснабжение и сбыт. 2007. № 4. С. 14—24.

**В. А. СИДЯКИН, канд. техн. наук**  
**"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского**

## **Технология и оборудование стыковой сварки дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов**

Для сварки трубных переходников из разнородных металлов наибольшее применение находят способы сварки давлением — трением, клинопрессовая, прокаткой, взрывом и др.

Особенностью этих способов сварки является формирование соединений при значительных пластических деформациях, что исключает возможность сварки непосредственно трубных заготовок. Этими способами сваривают прутки или листы, а затем из полученных биметаллических заготовок обработкой резанием, штамповкой и другими способами получают трубные переходники. Для такой технологии характерны низкий коэффициент использования металла и большая трудоемкость операций. Кроме того, для сварки давлением отсутствуют объективные методы контроля качества, что не обеспечивает высокой надежности соединений. При этом получение качественных соединений затрудняется с уменьшением диаметра переходников.

Стыковая сварка дугой низкого давления [1—3] позволяет изготавливать трубные переходники путем сварки непосредственно трубных заготовок.

Процесс сварки осуществляется в вакуумной камере и состоит из двух этапов: нагрева торцов трубных заготовок и их осадки. Для нагрева торцов труб используется электрическая дуга переменного тока, горящая в зазоре между деталями в инертной среде низкого давления и равномерно распределенная по всей их торцовой поверхности.

Процесс формирования соединений при стыковой сварке дугой низкого давления имеет особенности, которые позволяют применять его для сварки многих разнородных металлов:

— сварка производится в инертной среде низкого давления, что снижает окисление и позволяет сваривать металлы, активно взаимодействующие с атмосферными газами;

— эффективно решается вопрос удаления поверхностных оксидных пленок с помощью катодной очистки торцов в электрическом дуговом разряде;

— на стадии нагрева детали не контактируют друг с другом и, следовательно, теплового и диффузионного взаимодействия свариваемых металлов при нагреве не происходит; что позволяет сравнительно легко управлять тепловым состоянием торцов и задерживает развитие объемного взаимодействия металлов.

Тепловое состояние торцов свариваемых деталей перед осадкой определяет условия образования межатомных связей и объемного взаимодействия металлов.

При стыковой сварке дугой низкого давления применяют две схемы формирования соединений: в жидком состоянии с расплавлением торцов обеих деталей и сварку-пайку. Выбор схемы формирования определяется характером взаимодействия свариваемых металлов.

Для многих пар разнородных металлов (алюминиевые сплавы со сталями и титановыми сплавами и др.) оптимальной схемой формирования соединений является сварка-пайка. В этом случае детали нагревают до образования расплавленного слоя только на торце детали из более легкоплавкого металла. При осадке формирование межатомных связей происходит в процессе смачивания расплавленным металлом очищенного от оксидов и нагретого до определенной температуры, превышающей порог смачивания, торца детали из более тугоплавкого металла.

При формировании соединений по схеме сварки-пайки максимальная температура в контакте превышает температуру плавления более легкоплавкого металла на 200—300 К. При осадке за время менее  $10^{-2}$  с в процессе выдавливания из стыка расплавленного металла и деформации высокотемпературной зоны соединения температура в контакте метал-

лов становится ниже температуры плавления более легкоплавкого металла. Выдавливание расплавленного металла из стыка и относительно большая жесткость теплового режима ограничивают объемное взаимодействие металлов. Это позволяет получать соединения различных пар разнородных металлов, обладающих ограниченной взаимной растворимостью, без хрупкой интерметаллидной прослойки.

При сварке трубных переходников алюминий—сталь и алюминий—титан оптимальная температура торцов заготовок из стали и титана, при которой обеспечиваются высокие механические свойства переходников при статических и динамических нагрузках, составляет 800—950 °С.

В тех случаях, когда при сварке разнородных металлов избежать образования хрупких прослоек не удастся, сварку можно выполнять через проставку из металла, исключаящего их взаимодействие.

Регулирование нагрева торцов труб из разнородных металлов осуществляется следующим образом.

При обычной схеме процесса (рис. 1, а) мощности тепловых потоков, поступающих на торцы трубных заготовок, приближенно равны и температура торцов обратно пропорциональна коэффициенту тепловой активности свариваемых металлов. Поэтому регулирование температуры торцов осуществляется путем выбора определенного соотношения толщин стенок трубных заготовок. Кроме того, уменьшение температуры торца трубной заготовки может быть достигнуто путем установки кольца из того же металла вблизи ее торца.

Возможно также отдельное регулирование нагрева торцов свариваемых заготовок. В этом случае (рис. 1, б) для нагрева торца заготовки, требующей большего тепловложения, кроме основной дуги 1 используется дополнительная дуга 2, горящая между торцом и вспомогательным электродом 3. При таком нагреве оптимальное тепловое состоя-

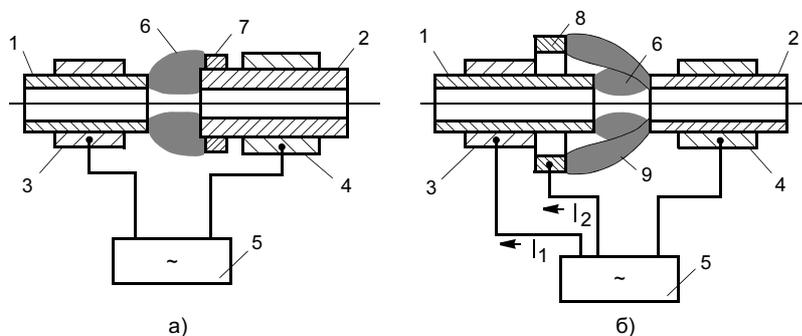


Рис. 1. Схема регулирования нагрева торцов труб из разнородных металлов ( $I_1$ ,  $I_2$  — ток основной и дополнительной дуги соответственно): а — выбором определенного соотношения толщин стенок труб; б — за счет применения дополнительной дуги; 1, 2 — свариваемые детали; 3, 4 — зажимы; 5 — источник питания дуги; 6 — основная дуга; 7 — кольцо; 8 — вспомогательный электрод; 9 — дополнительная дуга

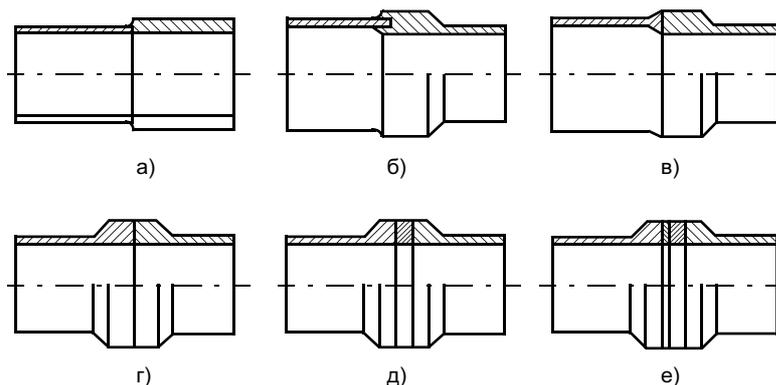


Рис. 2. Конструкции стыков сварных соединений трубных переходников

ние торцов может быть получено практически при любом сочетании толщин стенок трубных заготовок.

Нагрев торцов трубных заготовок осуществляют в две стадии. Сначала производят импульсный нагрев торцов, при котором обеспечивается определенная глубина прогрева стенок труб до пластического состояния металла и температура торца заготовки из более легкоплавкого металла приближается к солидусу. Затем мощность дуги увеличивается и производится кратковременное оплавление торца заготовки из более легкоплавкого металла.

Для ограничения пульсаций температуры торцов и исключения их преждевременного оплавления импульсный нагрев производят при небольшой длительности импульсов 0,02—0,06 с и скважности 0,5. Такой импульсный нагрев улучшает равномерность распределения температуры на торцовых поверхностях и обеспечивает увеличение средней мощности дуги при переходе к стадии оплавления более чем в 2 раза, что стабилизирует формирование жидкого слоя.

Длительность стадии импульсного нагрева зависит от толщины стенок труб и составляет 1—3 с, а длительность оплавления находится в пределах 0,1—0,3 с.

Благодаря образованию сплошного тонкого слоя жидкого металла и катодной очистке поверхности торцов труб от оксидных плен роль осадки в формировании соединений по схеме сварки-пайки при стыковой сварке дугой низкого давления существенно отличается от роли деформации зоны соединения при других способах сварки давлением. В этом случае не требуется значительная пластическая деформация для сглаживания неровностей торцовой поверхности, разрушения и удаления оксидных плен из зоны соединения. При осадке происходит быстрое сближение торцов, формирование межатомных связей в контакте твердой и жидкой фаз в процессе смачивания, выдавливание жидкого металла из стыка и небольшая деформация высокотемпературной зоны соединения под действием сжимающего усилия осадки, исключая образование

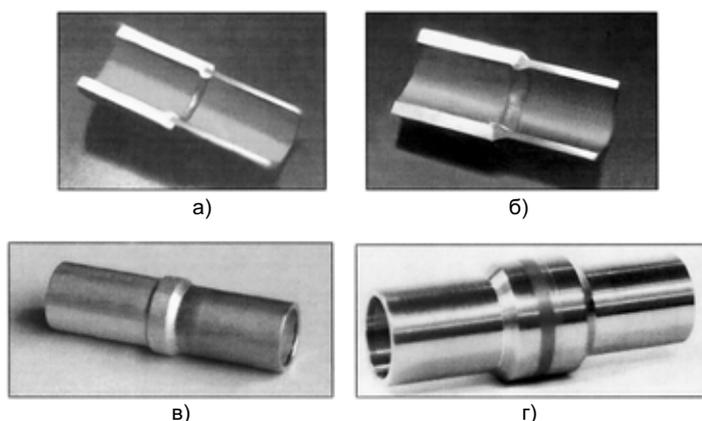
дефектов усадочного происхождения. Необходимое давление осадки при этом составляет 10—30 МПа.

Конструкция стыка переходников может быть различной. Это может быть обычное стыковое соединение двух труб (рис. 2, а). При необходимости увеличения прочности соединения толщина стенок трубных заготовок в зоне стыка должна быть увеличена (рис. 2, б). При изготовлении переходников алюминий—сталь прочность соединения может быть увеличена при утолщении стенки только заготовки из алюминиевого сплава. В этом случае прочность переходника возрастает за счет формирования нахлесточного стыкового соединения (рис. 2, б), а прочность переходника титан—алюминий может быть увеличена благодаря утолщению стенки трубы из титана при осадке (рис. 2, в).

Для улучшения механических свойств сварных соединений переходников, например, повышения ударной вязкости или исключения образования хрупких прослоек, сварка может быть осуществлена через одну или две проставки из специально подобранных металлов (рис. 2, д, е). Например, изготовление переходников АМг6 + 12Х18Н10Т включает два этапа: приварку кольцевой проставки из сплава АД1 к трубе из сплава АМг6 и последующую сварку заготовки из сплавов АМг6 + АД1 с трубой из стали. Сварка переходника сталь 12Х18Н10Т + сплав ВТ6С осуществляется через две проставки — из бронзы и ниобия. Сначала производят приварку кольцевых проставок из бронзы и ниобия соответственно к трубным заготовкам из стали и титана, а затем полученные заготовки сталь + бронза и титан + ниобий сваривают торцами из бронзы и ниобия. Все три соединения формируются по схеме сварки-пайки.

Стыковую сварку дугой низкого давления применяли для изготовления трубных переходников из алюминиевых сплавов АД1, АМц, АМг2 и АМг6 с аустенитной сталью 12Х18Н10Т и титановыми сплавами ВТ1, ОТ4 и ВТ6С, трубных переходников сталь 12Х18Н10Т + титановый сплав ВТ6С, медь М1 + сталь 12Х18Н10Т и др. [4—7].

На рис. 3 приведены примеры сварных соединений трубных переходников, выполненных стыковой сваркой дугой низкого давления. Кроме сварки трубных переходников стыковой сваркой дугой низкого давления можно приваривать концевую



**Рис. 3. Сварные соединения трубных переходников:** а — разрез сварного соединения трубы из сплава АМг2 сечением ( $d \times \delta$ )  $1,4 \times 2$  мм и трубы из стали 12Х18Н10Т сечением  $12 \times 1$  мм; б — разрез сварного соединения трубы из сплава АМг2 сечением  $14 \times 2$  мм и трубы из титана ВТ1 сечением  $12 \times 1$  мм; в — трубный переходник АМг2 + 12Х18Н10Т ( $d_y = 10$  мм); г — трубный переходник 12Х18Н10Т + ВТ6С ( $d_y = 19$  мм)

арматуру к элементам трубопроводов, выполненных из разнородных металлов (рис. 4).

Технологический процесс сварки заготовок трубных переходников включает следующие этапы: подготовку торцев труб; сборку труб в зажимах сварочной установки; сварку труб с автоматическим контролем качества процесса сварки; выборочные испытания и неразрушающий контроль качества сварных соединений труб.

Подготовка трубных заготовок к сварке включает их торцовку и подготовку поверхности. Поверхность труб должна быть очищена от различных загрязнений и оксидных плен. Для этого трубы обезжиривают и подвергают химическому травлению по технологии подготовки поверхности деталей из аналогичных металлов под аргонодуговую сварку. Перед сваркой производят зачистку поверхности труб вблизи их торцев металлическими щетками на участке длиной 30 мм.

Сборка труб под сварку осуществляется в зажимах сварочной уста-

новки. При зажатии труб обеспечивается определенный вылет за пределы зажима и определенный зазор между торцами труб.

Перед началом процесса сварки производят предварительную осадку торцев труб. В процессе предварительной осадки контролируют усилие осадки и фактическую величину зазора между торцами труб.

Процесс сварки включает следующие этапы: вакуумирование сварочной камеры до заданного остаточного давления воздуха, наполнение камеры до заданного абсолютного давления аргоном, нагрев торцев труб электрической дугой, осадку торцев труб, наполнение камеры атмосферным воздухом.

Ниже приведены установочные параметры режима сварки:  $l_0$  — вылет труб из зажимов,  $\Delta$  — зазор между торцами труб,  $p_0$  — остаточное давление воздуха при вакуумировании камеры,  $p_{Ar}$  — абсолютное давление аргона,  $n$  — число импульсов тока дуги при нагреве,  $I_H$  — ток дуги

при нагреве,  $t_H$  — длительность импульсов при нагреве,  $t_n$  — длительность пауз при нагреве,  $I_{опл}$  — ток дуги при оплавлении,  $t_{опл}$  — длительность импульса оплавления,  $F_{ос}$  — усилие осадки торцев труб,  $t_{ос}$  — время выдержки усиления осадки.

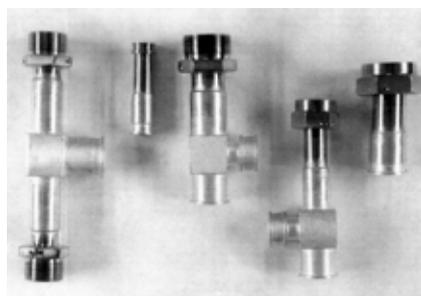
Ток дуги в импульсах при нагреве и оплавлении характеризуется средним значением тока в течение полуволны переменного тока. На сварочной установке ток дуги задается максимальным значением  $I_M$  в полуволне и углом включения тока тиристорным прерывателем при нагреве  $\alpha_H$  и оплавлении  $\alpha_{опл}$ .

Ориентировочные режимы сварки некоторых трубных заготовок приведены в таблице. Общие параметры:  $p_0 = 1 \div 3$  Па,  $p_{Ar} = 800$  Па,  $t_H = t_n = 2$  периода,  $t_{ос} = 5$  с.

Подбор режима и анализ качества формирования соединений осуществляют на образцах-свидетелях, подготовленных аналогично всей партии свариваемых заготовок. При подборе режима сварки контролируют качество стадии нагрева и оплавления торцев труб. Для этого выполняют все этапы процесса сварки по заданному режиму кроме осадки и анализируют состояние торцевых поверхностей труб к моменту включения осадки. Возможность оценки подготовки торцев к сварке перед осадкой является важным преимуществом стыковой сварки дугой низкого давления перед другими способами сварки давлением.

Образцы-свидетели подвергают механическим испытаниям и металлографическим исследованиям. Для получения наиболее полной информации о качестве формирования соединений трубных переходников проводят испытания на ударный изгиб.

Качество процесса сварки контролируют путем измерения и регистрации фактических значений контро-



**Рис. 4. Приварка концевой арматуры из стали 12Х18Н10Т к элементам трубопроводов из алюминиевых сплавов**

Металл, сечение ( $d \times \delta$ ), мм	$l_0$ , мм	$\Delta$ , мм	$n$	$I_M$ , А	$\alpha_H$ , градус	$\alpha_{опл}$ , градус	$t_{опл}$ , с	$F_{ос}$ , Н
АМг2 ( $14 \times 2$ ) 12Х18Н10Т ( $12 \times 1$ )	4 6	3,0	7	420	50	40	0,16	500
АМг3 ( $16 \times 4$ ) ВТ6С ( $14 \times 2$ )	8 10	3,5	14	650	45	40	0,20	1500
М1 ( $12 \times 1,5$ ) 12Х18Н10Т ( $12 \times 2$ )	4 6	3,0	8	750	45	35	0,14	700

Обозначения.  $d$ ,  $\delta$  — диаметр и толщина трубы соответственно.

лируемых параметров. Регистрируются следующие параметры: остаточное давление воздуха при вакуумировании; абсолютное давление аргона; средние значения тока и напряжения дуги положительных и отрицательных полувольт при нагреве и оплавлении; усилие осадки; длительность выдержки усилия осадки; величина осадки торцев.

Все приведенные параметры, кроме осадки торцев и напряжения дуги, определяются установочными параметрами, по которым производится настройка сварочной установки на заданный режим сварки.

Стабильность теплового состояния торцев определяется стабильностью параметров, определяющих режим горения дугового разряда, — током и напряжением дуги, а также длительностью импульсов тока и пауз между ними. Наличие различного рода загрязнений поверхности при плохой подготовке торцев труб приводит к снижению напряжения дуги и сопровождается уменьшением нагрева торцев.

Контроль усилия осадки и длительности его выдержки позволяет установить, что остывание зоны стыка сварного соединения происходит при достаточных напряжениях сжатия, исключающих возникновение растягивающих напряжений, при которых возможно образование дефектов усадочного характера.

Другим параметром, характеризующим процесс осадки, является осадка торцев в процессе выдавливания расплавленного металла и пластической деформации высокотемпературной зоны соединения.

Величина осадки определяется разностью между значениями перемещения подвижного зажима при осадке

и начального зазора между торцами. Этот параметр в отличие от усилия осадки, которое является установочным параметром, является зависимым. Величина осадки определяется как усилием осадки, так и тепловым состоянием торцев перед осадкой.

В условиях стыковой сварки дугой низкого давления, когда качество сварных соединений находится в прямой связи с образованием сплошного слоя расплавленного металла на торцах труб и давление осадки сравнительно невелико, величину осадки можно рассматривать как обобщенный параметр, характеризующий качество процесса сварки.

При сварке заготовок трубных переходников с толщиной стенки 1—3 мм величина осадки при оптимальном формировании соединений составляет 0,8—1,5 мм.

При сварке партии трубных переходников проводят выборочные испытания сварных соединений на статический или ударный изгиб и испытания внутренним давлением до разрушения.

Неразрушающий контроль сварных соединений включает внешний осмотр и измерения соединений, рентгенографический контроль и контроль герметичности.

Следует отметить большую информативность визуального контроля сварных соединений, полученных стыковой сваркой дугой низкого давления. Сварные соединения трубных переходников из разнородных металлов формируются по схеме сварки-пайки. Поэтому необходимым условием отсутствия непровара в соединениях является смачивание и растекание расплавленного металла трубы из более легкоплавкого металла по торцу трубы из более тугоплавкого

металла. Отсутствие этих характерных признаков качественного формирования соединений легко выявляется внешним осмотром.

Сварку заготовок трубных переходников производят на установке "Стык-3" [8] (рис. 5, а).

#### Техническая характеристика установки

Размеры свариваемых заготовок, мм:	
диаметр труб . . . . .	6—26
толщина стенки . . . . .	1—4
диаметр стержней . . . . .	3—16
Диапазон изменения сварочного тока, А . . . . .	
Число импульсов сварочного тока . . . . .	1—100
Длительность импульсов тока, с . . . . .	0,02—2,00
Длительность пауз, с . . . . .	0,02—2,00
Давление в камере при вакуумировании, Па . . . . .	1—3
Давление аргона в камере при сварке, Па . . . . .	600—1000
Расстояние между зажимами, мм . . . . .	5—40
Ход подвижного зажима при осадке, мм . . . . .	0—12
Усилие осадки, Н . . . . .	200—4000
Габаритные размеры, мм . . . . .	
Масса, кг . . . . .	1700 × 1100 × 800 400

Основными элементами установки являются сварочный модуль, система вакуумирования и газопитания, силовая электрическая схема питания сварочной дуги, программатор сварочного цикла.

Сварочный модуль содержит вакуумную камеру, в которой на двух направляющих размещены рычажно-винтовые зажимы свариваемых деталей и механизм осадки, установленный на тех же направляющих снаружи камеры. Направляющие закреплены на левом фланце камеры, который установлен на тележку. При перемещении тележки вправо зажимы выводятся из камеры. Механизм осадки электромагнитного типа состоит из электромагнита и пружинного стабилизатора усилия осадки.

Вакуумирование сварочной камеры производится механическим вакуумным насосом, а заданное рабочее давление аргона создается путем подачи определенной порции газа из дозатора. Давление рассчитывают по формуле  $p_{Ar} = k\Delta p_D$ , где  $k$  — постоянная дозатора, зависящая от соотношения объемов дозатора и камеры, определяется экспериментально;  $\Delta p_D$  — изменение давления в дозаторе при наполнении камеры.

Силовая электрическая схема обеспечивает питание электрической

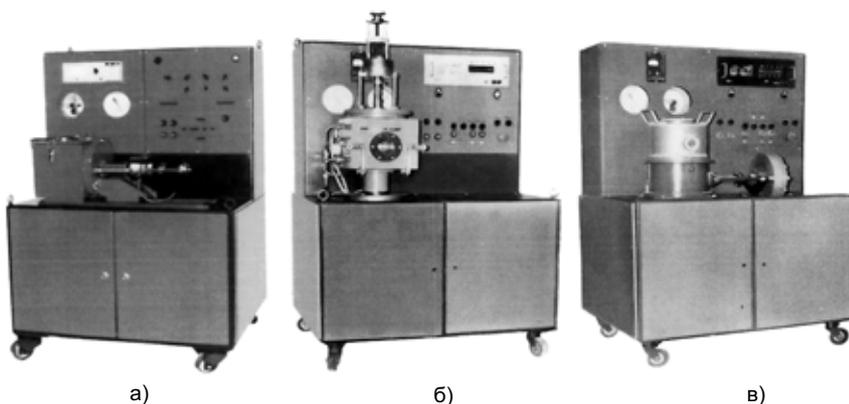


Рис. 5. Сварочная установка "Стык-3": а — основной вариант установки; б — установка с вертикальным расположением осей свариваемых заготовок; в — то же, с пневмодифрагменным механизмом осадки

дуги переменным током промышленной частоты в импульсном режиме и состоит из сварочного трансформатора, тиристорного прерывателя, балластного реостата и схемы стабилизации дуги.

Сварочный трансформатор представляет собой однофазный трансформатор с жесткой ВАХ с напряжением холостого хода 120 В. Тиристорный прерыватель обеспечивает синхронное включение и плавную регулировку сварочного тока. Балластный реостат служит для ступенчатого регулирования сварочного тока. Включение секций балластного реостата в сварочную цепь происходит автоматически с помощью электромагнитных контакторов.

Стабилизация дуги осуществляется возбуждением между торцами свариваемых деталей вспомогательной (инициирующей) дуги в начале каждой полуволны переменного тока от дополнительного трансформатора с напряжением холостого хода 500 В.

Программатор сварочного цикла управляет сварочным током и включает механизм осадки. Он обеспечивает выполнение заданной циклограммы тока — задает число импульсов нагрева, длительность импульсов и пауз между ними, длительность импульса оплавления, а также регулирует сварочный ток путем изменения угла включения тиристоров. По схемным решениям и элементной базе программатор сварочного цикла установки "Стык-3" подобен регуляторам времени для контактной точечной сварки, например регулятору РВИ-501.

На рис. 5, б приведен вариант установки "Стык-3" с вертикальным расположением сварочного модуля. В этом случае оси свариваемых заготовок располагаются вертикально и практически исключается неравномерность оплавления торцов из-за стекания жидкого металла под действием силы тяжести. Такое расположение сварочного модуля целесообразно при диаметре трубных заготовок более 25 мм с толщиной стенки более 4 мм.

Для обеспечения возможности сварки трубных заготовок диаметром до 50 мм и толщиной стенки 6 мм разработан сварочный модуль с пневмодиафрагменным механизмом осадки (рис. 5, в) и усилием осадки до 10 кН.

С целью расширения технологических возможностей установки "Стык-3", повышения стабильности формирования сварных соединений



Рис. 6. Установка "Стык-3К" с компьютерным управлением и контролем процесса сварки

и надежности трубных переходников проведена ее модернизация. Современный вариант установки приведен на рис. 6. Управление процессом сварки и контроль качества процесса сварки по его параметрам на установке "Стык-3К" осуществляются с помощью компьютерной системы контроля и управления. Ее структурная схема приведена на рис. 7. Она включает собственно сварочную установку "Стык-3К" и компьютерный модуль, связанные между собой блоком согласования. Конструктивно компьютерный модуль и блок согласования расположены в отдельной стойке рядом с установкой.

В сварочной установке расположены датчики контролируемых параметров процесса и исполнительные устройства. Блок согласования обеспечивает нормализацию сигналов датчиков контролируемых параметров и сигналов управления. В качестве компьютерного модуля использован

малогабаритный промышленный компьютер, совместимый с IBM PC/AT. В компьютере установлены адаптеры аналогового ввода, дискретного ввода-вывода и адаптер счетчиков-таймеров.

Система контроля и управления содержит следующие датчики: вакуума в сварочной камере, абсолютного давления аргона в сварочной камере, тока дуги, напряжения дуги, перемещения подвижного зажима, усилия осадки.

Для измерения остаточного давления воздуха при вакуумировании сварочной камеры служит манометрический тепловой термопарный преобразователь ПМТ-4М.

Измерение абсолютного давления аргона в сварочной камере производится датчиком давления "Сапфир-22МП" с диапазоном давлений от 0 до 4 кПа.

Датчик тока представляет измерительный трансформатор тока, включенный в цепь питания дуги, нагрузкой которого является калиброванный резистор.

В качестве датчика напряжения дуги использована измерительная схема, которая также выполнена на трансформаторе тока. Сигнал с нагрузочного резистора во вторичной обмотке этого трансформатора пропорционален напряжению дуги, так как его первичная обмотка через калиброванный нагрузочный резистор подключена на дуговой промежуток.

Для защиты измерительной схемы от высокого напряжения и исключения ее влияния на процесс зажигания дуги датчик напряжения подключен к дуговому промежутку через ти-

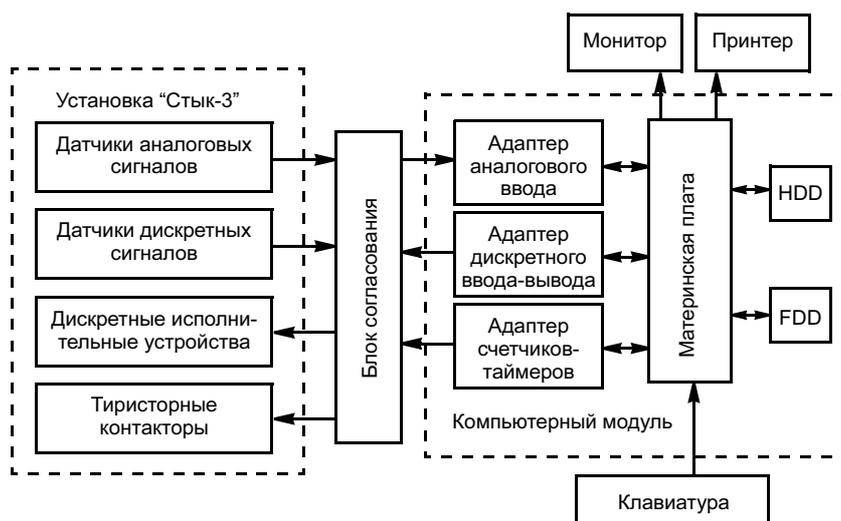


Рис. 7. Структурная схема системы компьютерного контроля и управления процессом сварки

ристорный прерыватель, который включается по переднему фронту полупериодов тока дуги после ее зажигания.

В качестве датчика перемещения подвижного зажима при осадке использован датчик линейного перемещения потенциометрического типа MM15 фирмы "MEGATRON". Параметры датчика: предел измерения 15 мм, погрешность 0,01 мм, максимальная скорость движения 2 м/с.

Для измерения усилия осадки служит датчик силы тензометрического типа, установленный соосно со штоком механизма осадки, для измерения усилия осадки — сменные датчики со следующими диапазонами измерения силы: 0—1000, 0—5000 и 0—10 000 Н.

В установке применены следующие исполнительные устройства: клапаны с электромагнитным управлением для вакуумирования камеры и напуска в нее атмосферного воздуха, напуска аргона в дозатор и вакуумную камеру; электромагнитные контакторы для подключения сварочного трансформатора к силовой электросети, включения секций балластного реостата и контроля работы силовой электрической схемы в режиме короткого замыкания; тиристорный прерыватель для управления сварочным током; тиристорный и электромагнитный контакторы для управления механизмом осадки.

Для контроля и управления процессом сварки разработан программ-

ный модуль "STYK". При разработке программного модуля использованы компилятор GNU C/C++ и библиотека быстрой графики OpenGL (FastGL) для работы в операционной системе DOS.

Программный модуль "STYK" обеспечивает выполнение следующих работ: введение и запись в файл параметров режима сварки и параметров настройки элементов сварочного оборудования; контроль работы отдельных узлов сварочной установки; сварку в автоматическом режиме.

При работе в автоматическом режиме все этапы процесса сварки — вакуумирование сварочной камеры, наполнение ее аргоном, нагрев торцев свариваемых заготовок электрической дугой, осадка торцев заготовок и наполнение камеры атмосферным воздухом — осуществляются автоматически. При сварке обеспечивается стабилизация нагрева торцев свариваемых заготовок при наличии колебаний напряжения силовой электросети.

При работе в автоматическом режиме на экране монитора изображается мнемосхема установки (рис. 8), отображающая все этапы процесса сварки.

Клавиатура компьютера используется только при настройке установки на заданный режим сварки и контроле работы отдельных ее узлов.

При работе в автоматическом режиме процесс сварки включается кнопкой "Пуск — Автомат", установ-

ленной на панели управления сварочной установки.

При сварке партии изделий настройка установки на текущий режим сварки производится автоматически при включении питания установки.

При сварке установочные и контролируемые параметры процесса регистрируются в виде файлов в памяти компьютера, что позволяет провести последующий анализ процесса сварки по значениям параметров и осциллограммам, представленным на экране монитора. При необходимости значения установочных и контролируемых параметров процесса сварки могут быть распечатаны на принтере.

Стыковую сварку дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов применяют в промышленности при изготовлении элементов конструкций космических аппаратов (НПО им. С. А. Лавочкина), криогенной техники (НПО "Кислород-маш", Одесса) и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новый способ стыковой сварки труб малого диаметра / А. Н. Сабанцев, Б. Д. Орлов, В. А. Сидякин, Е. А. Мачнев // Сварочное производство. 1977. № 2. С. 13—14.*
2. *Сидякин В. А. Стыковая сварка оплавлением дугой низкого давления // Новое в технологии контактной сварки. М.: Машиностроение, 1981. С. 25—44.*
3. *Сидякин В. А., Мачнев Е. А. Стыковая сварка дугой низкого давления разнородных металлов // Сварочное производство, 1985. № 2. С. 9—11.*
4. *Стыковая сварка с нагревом дугой низкого давления трубных сталеалюминиевых переходников для криогенных систем и аппаратов / В. А. Веселов, В. А. Сидякин, В. Р. Рябов и др. // Автоматическая сварка. 1990. № 4. С. 50—55.*
5. *Формирование структуры переходной зоны сталеалюминиевых переходников при стыковой сварке с нагревом дугой низкого давления / А. Н. Муравейник, В. Р. Рябов, В. А. Сидякин и др. // Автоматическая сварка. 1990. № 6. С. 34—38.*
6. *Стыковая сварка дугой низкого давления кронштейнов из разнородных сплавов AlMg6 + OT4 / В. А. Сидякин, Д. Н. Боков, В. М. Арбузов, В. С. Хаустов // Технология машиностроения. 2001. № 6. С. 29—33.*
7. *Стыковая сварка трубных переходников сталь — титан / В. А. Сидякин, Д. К. Печенкин, В. М. Арбузов, В. С. Хаустов // Сварочное производство. 2004. № 7. С. 17—22.*
8. *Установка "Стык-3" для стыковой сварки с нагревом электрической дугой низкого давления / В. А. Сидякин, А. Н. Сабанцев, В. В. Орлов, Е. А. Мачнев // Электротехническая промышленность. Сер. Электросварка. 1984. Вып. 4 (85). С. 8—10.*

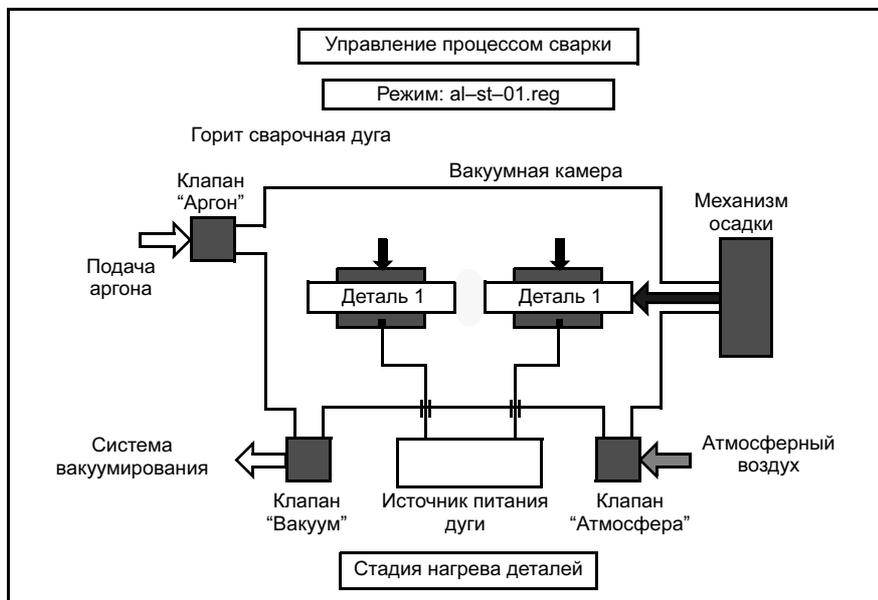


Рис. 8. Изображение на экране монитора при автоматическом режиме работы установки

**В. М. ОГОЛИХИН, канд. техн. наук, С. Д. ШЕМЕЛИН, инж.**  
**Конструкторско-технологический филиал института гидродинамики**  
**им. М. А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск)**

## **Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Замена во многих отраслях промышленности традиционных конструкционных материалов биметаллическими и многослойными композиционными материалами служит основой для существенного повышения качества, надежности и конкурентоспособности изготавливаемых с их помощью изделий и оборудования.

Сварка взрывом — один из перспективных технологических процессов изготовления композиционных материалов различного строения и конфигурации. Высокопроизводительный и экономичный процесс сварки взрывом позволяет получать соединения практически любых разнородных металлов и сплавов с прочностью на отрыв слоев на уровне основных металлов.

При сварке взрывом образование соединения происходит в результате деформационного воздействия на соединяемые материалы, характеризующегося высокой скоростью их соударения при малой длительности процесса и вызывающего двухстадийную топомеханическую реакцию, в результате протекания которой конечные свойства получаемых соединений определяются степенью, характером и временем деформации. Это позволяет рассматривать сварку взрывом как обычный управляемый процесс, являющийся для ряда конструкций и сочетаний материалов безальтернативным технологическим решением, позволяющим получать качественные соединения [1].

### **Пакетная сварка**

При традиционной схеме сварки металлических пластин между собой [2] пластины устанавливают относительно друг друга с зазором, на одной располагают заряд взрывчатого вещества (ВВ), который инициируют, в результате метания пластины продуктами взрыва она соударяется с неподвижной пластиной с образованием сварного соединения. Недостатком способов сварки, осуществляемых по данной схеме, является то, что при сварке тонколистовых заготовок при непосредственном расположении зарядов ВВ на тонколистовой заготовке в процессе взрыва происходит ее частичное разрушение. К недостатку данной схемы следует также отнести невозможность получения за один подрыв нескольких сварных деталей.

Известен способ<sup>1</sup>, в котором с целью получения нескольких деталей за один подрыв листы располагают вертикально в батарею с установкой нескольких зарядов ВВ. Данный способ не может быть применим для сварки

тонколистовых заготовок из-за сильного коробления при сварке.

Известен способ сварки взрывом многослойных композиций [3], при котором заготовки собирают с зазором в пакет, на поверхность верхней заготовки наносят защитный слой, далее устанавливают фальшпластину с зарядом ВВ и последний инициируют. Данный способ позволяет получать из тонколистовых заготовок и фольг одну монолитную композиционную заготовку с большим количеством слоев. Недостатком этого способа является то, что он сложен в осуществлении, особенно в условиях полигона, а также не позволяет получить за один подрыв несколько многослойных тонколистовых заготовок. При осуществлении способа требуется специальное приспособление для предупреждения попадания пыли в зазоры между свариваемыми заготовками.

С учетом вышеизложенного разработан пакетный способ<sup>2</sup> сварки тонколистовых заготовок, позволяющий одним зарядом ВВ сваривать несколько тонколистовых заготовок из предварительно собранных пакетов под сварку. Пакеты могут быть собраны предварительно и далее транспортироваться к месту ведения взрывных работ, при этом предусматривается защита от попадания пыли и песка в зазоры между свариваемыми заготовками. Пакет собирают из двух и более тонколистовых заготовок, расположенных с зазором. Защитный слой наносят на наружную поверхность пакета в виде оболочки, надеваемой на пакет. Защитный слой со стороны действия продуктов детонации при взрыве заряда ВВ может быть усилен за счет установки на пакет, окруженный оболочкой, резиновых, поролоновых или других накладок, соприкасающихся с верхней в пакете тонколистовой заготовкой.

Собранные таким образом пакеты устанавливают горизонтально на основание друг на друга (два и более пакета), над сборкой размещают фальшпластину с зарядом ВВ, последний инициируют. В результате высокоскоростного соударения фальшпластины с пакетом и последующего высокоскоростного соударения листовых заготовок между собой внутри пакета происходит сварка листовых заготовок.

Защитный слой препятствует сварке заготовок из разных пакетов. При данном способе сварки можно вместо фальшпластины использовать один из пакетов с усиленным защитным слоем со стороны заряда ВВ, выполняя этот пакет по габаритным плоским размерам несколько больше остальных.

<sup>1</sup> А. с. 247762 (СССР).

<sup>2</sup> Патент 2074074 (РФ).

На рис. 1 приведен собранный под сварку пакет, на рис. 2 — принципиальная схема пакетной сварки.

Способ заключается в следующем. Тонколистовые заготовки 1 (см. рис. 1) устанавливают с зазором 3 относительно друг друга при помощи фиксаторов 2, на наружные поверхности наносят защитный слой 4, в результате получают пакет 5.

На основание 1 (см. рис. 2) устанавливают горизонтально друг на друга три пакета 2, над сборкой располагают фальшпластину 3 с зарядом ВВ 4 и детонатором 5. Затем производят сварку взрывом.

Предложенный способ экспериментально опробован при изготовлении экспериментальной партии трехслойных листовых заготовок алюминий + медь + титан размером 500×200×3 мм.

В пакет собирали листовые заготовки из алюминия АД1М, меди М1, титана ВТ1-О размером 500×200×1 мм. Сборку пакета производили таким образом: на титановый лист с зазором 1 мм устанавливали медный лист, на последний с зазором 1 мм — лист из алюминия. Зазоры фиксировали V-образными вставками высотой 1 мм из меди толщиной 0,3 мм. На сборку надевали оболочку с внутренним сечением 200×5 мм длиной 550 мм из полиэтилена толщиной 0,3 мм.

Собрав три аналогичных пакета, один устанавливали на стальную плиту без зазора. Плита, выполненная из стали Ст 3, имела размеры 550×250×40 мм. Затем на первый пакет также горизонтально устанавливали второй и третий пакеты без зазора между ними. Над третьим пакетом с зазором 10 мм устанавливали фальшпластину из стали Ст 3 размерами 550×250×6 мм.

На фальшпластине по всей поверхности размещали заряд ВВ из смеси аммонита 6ЖВ с аммиачной селитрой в соотношении 1:1 высотой 40 мм. Заряд ВВ инициировали с помощью электродетонатора.

В результате сварки взрывом тонколистовых заготовок получили за один подрыв три трехслойных листа

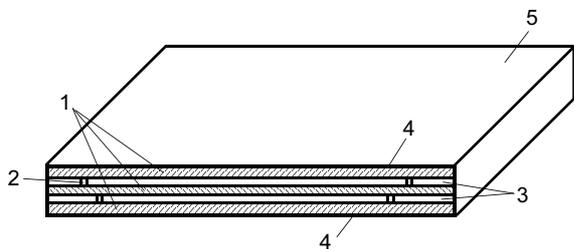


Рис. 1. Принципиальная схема пакета

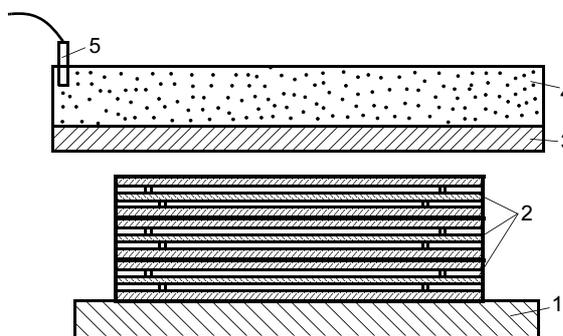


Рис. 2. Принципиальная схема пакетной сварки взрывом тонколистовых заготовок

алюминий + медь + титан размером 500×200×3 мм. Полиэтиленовый защитный слой частично разрушился при сварке, частично был удален механическим путем после сварки. Листы имели допустимое коробление и качественную сварку между слоями.

Прочность шва между алюминиевой и медной заготовками составляла при испытании на срез  $\tau_{cp} = 50 \div 60$  МПа, между медной и титановой заготовками  $\tau_{cp} = 120 \div 130$  МПа.

### Пакетно-рулонная сварка

В работе [4] описан способ сварки металлических пластин, при котором собирают пакет из двух пластин, установленных с зазором, заряд ВВ инициируют и метают одну заготовку на другую.

При сварке тонких листов по данному способу требуется массивное основание для предотвращения коробления пластин в процессе соединения, при этом необходима защита поверхности метаемого тонкого листа от действия продуктов взрыва, которые могут разрушить его.

Предлагаемый пакетно-рулонный способ сварки взрывом тонколистовых заготовок позволяет получать из тонколистовых заготовок длинные многослойные листы с качественным сварным соединением по всей длине с минимальными металлозатратами на технологическую оснастку<sup>3</sup>.

Две и более листовые заготовки устанавливают с зазором между собой в виде пакета, на наружные поверхности которого наносят защитный слой — краску, резину, полиэтилен и другие известные материалы. Собранный таким образом пакет имеет длину  $L$ , равную длине свариваемых тонколистовых заготовок, ширину  $H$ , равную ширине свариваемых заготовок, и высоту  $h$ , равную сумме толщин свариваемых листовых заготовок, защитных слоев и зазоров между листами. Далее пакет по длине  $L$  сворачивают плотно без зазора в многослойный рулон с внутренним диаметром  $d$ , наружным диаметром  $D$ , с числом слоев  $n$  и высотой, равной ширине пакета  $H$ . Внутренний диаметр рулона  $d$  задается исходя из технических возможностей сворачивания пакета в рулон, требуемой длины многослойного листа и выбранной технологии ведения сварочно-взрывных работ.

Наружный диаметр  $D$  рулона зависит от длины пакета  $L$ , его высоты и числа слоев в рулоне  $n$ , получается автоматически при сворачивании и связан с внутренним диаметром рулона  $d$  соотношением

$$D = d + 2hn.$$

Длина сворачиваемого пакета  $L$ , число слоев  $n$  в рулоне и внутренний диаметр рулона  $d$  связаны между собой соотношением

$$L = \pi n \left[ d + \frac{(1 + 2m)n}{2} \right].$$

Концы рулона по высоте пакета закрепляют изнутри и снаружи клинообразными фиксаторами. Благодаря своей клинообразной форме, фиксаторы выравнивают рулон по цилиндрическим наружной и внутренней поверхностям.

<sup>3</sup> Патент 2074075 (РФ).

Рулон ставят вертикально, соосно рулону на его внутреннюю и наружную поверхности с диаметрами  $d$  и  $D$  соответственно размещают заряды ВВ, которые далее инициируют.

Свариваемые тонколистовые заготовки в рулоне, свернутом из пакета, расположены между собой с зазором по спиральным поверхностям. В результате действия продуктов взрыва происходит высокоскоростное косое соударение слоев заготовок между собой, приводящее к их сварке по спиральным поверхностям. Процесс идет последовательно по высоте рулона (ширине свернутых листов).

После сварки рулон по защитным слоям разворачивают в лист. Удаление защитных материалов после сварки возможно непосредственно в рулоне или с развернутого листа механическим или химическим методом.

Для защиты поверхности рулона от действия продуктов детонации и предотвращения раскручивания рулона сразу после сварки и в процессе химического удаления материала защитного слоя из рулона между цилиндрической поверхностью и зарядом ВВ размещают цилиндрическую фальшобечайку, которую убирают после сварки и химического удаления материала защитного слоя из рулона перед его разворачиванием.

В данном способе обечайка выполняет двойную функцию: защищает поверхность рулона от воздействия продуктов детонации, служит фиксатором от раскручивания рулона перед сваркой и особенно после сварки при химическом удалении защитного слоя и может в дальнейшем использоваться как тара-упаковка при транспортировании рулона.

Для упрощения технологии сворачивания пакета в рулон две свариваемые заготовки с защитным слоем собирают в пакет без зазора с расположением защитного слоя только внутри пакета между заготовками. Необходимый для сварки взрывом зазор между свариваемыми поверхностями делают по спиральным поверхностям в процессе сворачивания пакета в рулон, начиная со второго витка, по наружным незащищенным поверхностям пакета. Листовые заготовки при этом свариваются по наружным поверхностям пакета, находящимся в соседних витках рулона.

Для получения сразу нескольких многослойных листов за один подрыв в рулон сворачивают два и более пакетов, выполненных ранее описанным способом.

На рис. 3 приведена схема сборки листовых заготовок с зазором между собой в пакет для последующего сворачивания, на рис. 4 — схема сворачивания пакета в спиральный рулон с использованием клиновидных вставок-фиксаторов, на рис. 5 — схема размещения рулона и заряда ВВ перед сваркой и его поперечное сечение А—А, на рис. 6 — схема установки рулона из пакета, намотанного на внутреннюю оправку, с установкой фальшобечайки между рулоном и зарядом ВВ, на рис. 7 — схема разворачивания рулона после сварки, на рис. 8 — схема сборки пакета без зазора между свариваемыми листовыми заготовками для последующего сворачивания, на рис. 9 — схема сворачивания пакета в рулон с зазором между витками рулона.

Свариваемые тонколистовые заготовки 2 и 3 (см. рис. 3) устанавливают относительно друг друга с зазором 4, определенным фиксаторами 5. На наружную поверхность

собранного таким образом пакета наносят защитный слой 1. Пакет имеет длину  $L$ , равную длине свариваемых тонколистовых заготовок, ширину  $H$ , равную ширине свариваемых тонколистовых заготовок, и высоту  $h$ , равную сумме толщин сворачиваемых заготовок с зазором и толщины защитного слоя.

Пакет (см. рис. 4) по длине сворачивают плотно без зазора в рулон 5 с установкой внутри и снаружи клиновидных вставок-фиксаторов 4 (на рис. 4 наружная вставка не показана) с сохранением зазора 3 между сворачиваемыми заготовками 1 и 2 по их спиралевидным поверхностям, образующимся из плоских поверхностей при сворачивании пакета в рулон.

Пакет сворачивают в рулон 10 (см. рис. 5) с внутренним диаметром  $d$  и наружным  $D$ .

Внутренний диаметр  $d$  задают из технических возможностей сворачивания пакета в рулон, он зависит от схемы ведения сварочно-взрывных работ.

Наружный диаметр рулона зависит от длины пакета  $L$ , его высоты  $H$  и числа слоев  $n$  в рулоне и получается автоматически при сворачивании. Диаметры связаны соотношением

$$D = d + 2hn.$$

Рулон (см. рис. 5) устанавливают на основание 4 вертикально, снаружи и внутри рулона устанавливают цилиндрические заряды ВВ соответственно 8 и 9 соосно оси рулона. От раскручивания рулон закрепляют скобами-фиксаторами 7. Внутри рулона (см. сечение А—А) между свариваемыми заготовками 1 и 2 сохранен зазор 3. Защитный слой 13 пакета, свернутого в рулон, становится защитным слоем рулона по цилиндрическим поверхностям, с которыми соприкасаются заряды ВВ. Последние инициируют детонирующим шнуром 4, собранным в "паук" 6, с помощью детонатора 5.

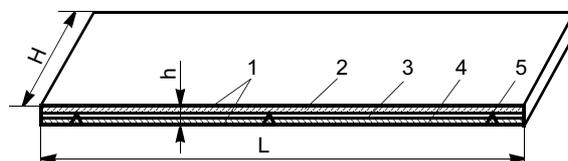


Рис. 3. Схема сборки листовых заготовок с зазором в пакет для последующего сворачивания

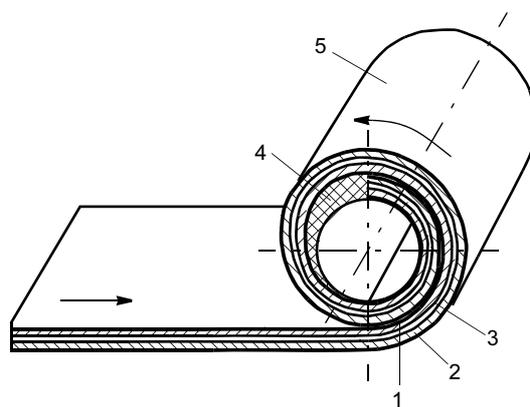


Рис. 4. Схема сворачивания пакета в спиралевидный рулон с применением клиновидных вставок-фиксаторов

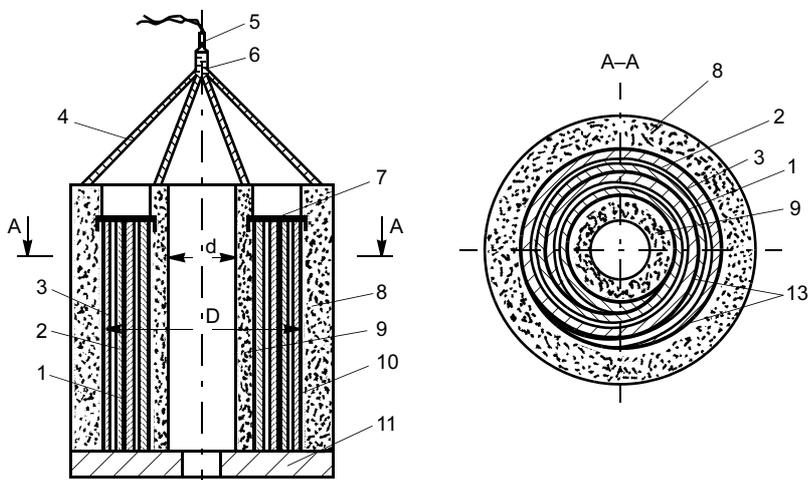


Рис. 5. Схема размещения рулона и заряда ВВ перед сваркой

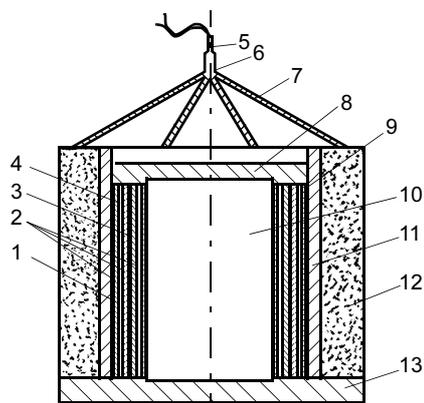


Рис. 6. Схема рулона, намотанного на внутреннюю оправку, с установкой фальшбечайки между рулоном и зарядом ВВ

Рулон 9 (см. рис. 6) образован путем намотки пакета на внутреннюю оправку 10 и установлен на основание 13. Сверху рулон закрывают крышкой-фиксатором 8, затем надевают цилиндрическую фальшбечайку 11, на которой размещают заряд ВВ. В рулоне между свариваемыми заготовками 4 и 3 оставлен зазор 1. Заряд инициируют детонирующим шнуром 7, собранным в "паук" 6, с помощью детонатора 5.

В результате высокоскоростного соударения свариваемых заготовок под действием энергии взрыва они, находясь в рулоне 2 (см. рис. 6), свариваются между собой в рулон 1 (см. рис. 7) с образованием сварного шва 3. Рулон после сварки разворачивают в многослойный лист 2.

Как вариант возможна схема сборки пакета без зазора между свариваемыми листовыми заготовками (см. рис. 8). Пакет собирают без зазора из двух заготовок 1 и 2 с расположением защитного слоя 3 между заготовками. На пакете выполняют технологические скосы 4 под углами  $\alpha$  и  $\beta$  для более качественного сворачивания пакета в рулон.

Пакет 1 (см. рис. 9) сворачивают в рулон 4, при этом на первом витке — без зазора, на последующих — с зазором 3. Для этого устанавливают фиксаторы 2 в процес-

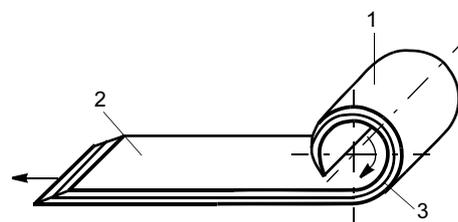


Рис. 7. Схема разворачивания рулона после сварки

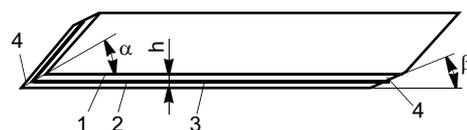


Рис. 8. Схема сборки пакета без зазора между листовыми заготовками для последующего сворачивания

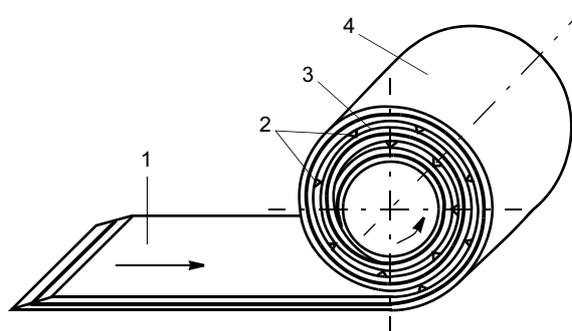


Рис. 9. Схема сворачивания пакета в рулон с зазором между витками

се сворачивания. Зазор образуется по наружным поверхностям пакета, находящимся в соседних слоях рулона.

Предложенный способ экспериментально опробован в четырех вариантах при изготовлении опытной партии биметаллических заготовок медь—никель размером  $1900 \times 200 \times 2$  мм со слоями меди и титана в 1 мм.

*Вариант 1.* Пакет собирают следующим образом. На медной тонколистовой заготовке размером  $1900 \times 200 \times 1$  мм с зазором 1 мм устанавливают никелевую тонколистовую заготовку размером  $1900 \times 200 \times 1$  мм. Зазор между заготовками фиксируют медными вставками-фиксаторами размером  $1 \times 1 \times 1$  мм, установленными по длине и ширине свариваемых заготовок в шахматном порядке. На наружные поверхности собранного таким образом пакета, а именно: сверху — на никелевую заготовку, снизу — на медную, несут защитный слой — масляную краску толщиной 0,2 мм. Пакет получают длиной 1900 мм, шириной 200 мм и высотой  $0,2 + 1 + 1 + 1 = 3,4$  мм.

Пакет по длине сворачивают вручную в рулон с внутренним диаметром 100 мм плотно без зазора между витками пакета, но с сохранением зазора в 1 мм между медной и никелевой заготовками внутри пакета. Число витков в рулоне 5, наружный диаметр 135 мм. По торцам

рулон закрепляют проволочными скобами, по три скобы с каждого торца, для предотвращения раскручивания рулона.

Затем рулон ставят вертикально на один из торцов, соосно рулону на его внутреннюю и наружную поверхности диаметрами соответственно 100 и 125 мм устанавливают кольцевые заряды ВВ. Заряд ВВ, установленный внутри рулона, имеет диаметр 100 мм, толщину 10 мм и высоту 200 мм.

Снаружи рулона устанавливают второй кольцевой заряд ВВ диаметром 135 мм, толщиной слоя 8 мм и высотой 200 мм.

Формирование заряда ВВ производят с помощью картонных вставок. Заряд ВВ — аммонит 6ЖВ + аммиачная селитра в соотношении 1:1. Заряды ВВ инициируют синхронно с помощью детонирующего шнура и электродетонатора после установки всей сборки во взрывную камеру.

После взрывной обработки рулон по защищенным масляной краской участкам разворачивают вручную. В результате получают тонкую биметаллическую листовую заготовку медь + никель размером 1900×200×2 мм со слоем меди и никеля толщиной по 1 мм. Масляную краску удаляют с помощью растворителя РС-2 (на основе скипидара).

*Вариант 2.* Аналогично описанному в варианте 1 собирают пакет и сворачивают в рулон с внутренним диаметром 100 мм. Внутри рулона устанавливают стальной стержень из стали Ст 3 диаметром 100 мм, длиной 200 мм. Снаружи рулона по диаметру 135 мм устанавливают фальшобечайку из полихлорвинила с внутренним диаметром 135 мм, толщиной стенки 2 мм и высотой 250 мм.

На фальшобечайке размещают кольцевой заряд ВВ диаметром 139 мм, толщиной слоя ВВ 10 мм и высотой 250 мм. Состав аналогичен варианту 1. Заряд ВВ инициируют с помощью детонирующего шнура и электродетонатора после размещения всей сборки во взрывной камере. После обработки взрывом всю сборку помещают в сосуд с растворителем РС-2 и выдерживают в течение 3 ч. Далее рулон разворачивают в биметаллическую тонколистовую заготовку.

*Вариант 3.* Пакет собирают следующим образом: на медной и никелевой заготовках размером 1900 × 200 × 1 мм на начальном и конечном участках выполняют скосы по всей ширине 200 мм на толщине 1 мм. Угол скоса на начальных участках

$$\alpha = \arctg \frac{2H}{\pi d} = \arctg \frac{2 \cdot 3,4}{3,14 \cdot 100} = 1^{\circ}14',$$

где  $H$  — толщина собираемого пакета, равная 3,4 мм;  $d$  — задаваемый внутренний диаметр рулона, равный 100 мм.

Угол скоса на конечных участках

$$\beta = \arctg \frac{2H}{\pi D} = \arctg \frac{2 \cdot 3,4}{3,14 \cdot 135} = 0^{\circ}54',$$

где  $D$  — наружный диаметр рулона, равный 135 мм.

На медную заготовку с зазором в 1 мм и со сдвигом по длине для образования у пакета начального угла  $1^{\circ}14'$  и конечного угла  $0^{\circ}54'$  устанавливают заготовку из никеля. Зазор между пластинами фиксируют медными вставками-фиксаторами размером 1×1×1 мм. На наружные поверхности собранного пакета, а именно: сверху — на нике-

левую заготовку, снизу — на медную, наносят защитный слой — масляную краску — 0,2 мм. Пакет получают длиной 2090 мм, шириной 200 мм, высотой 0,2 + 1 + 1 + 1 = 3,2 мм. Далее пакет сворачивают вручную в рулон, наматывая на оправку, выполненную в виде стального стержня диаметром 100 мм и длиной 200 мм. Сворачивают так, что между витками зазор отсутствует, но сохраняется зазор в 1 мм между медной и никелевой заготовками. Число витков в рулоне 5, наружный диаметр 135 мм. По наружному диаметру рулона устанавливают фальшобечайку из полихлорвинила с толщиной стенки 2 мм и высотой 250 мм. На фальшобечайке размещают кольцевой заряд ВВ диаметром 139 мм. Толщина слоя ВВ 10 мм, высота — 250 мм. Состав ВВ аналогичен вариантам 1 и 2. Заряд ВВ инициируют с помощью детонирующего шнура и электродетонатора после установки вертикально всей сборки во взрывной камере.

После обработки — сварки взрывом медной и никелевой заготовок между собой — всю сборку помещают в сосуд с растворителем РС-2 и выдерживают в течение 3 ч. Далее рулон с оправки разворачивают, получая в результате биметаллическую тонколистовую заготовку.

*Вариант 4.* На одну из поверхностей медной листовой заготовки размером 1990×200×1 мм наносят слой масляной краски толщиной 0,2 мм. На одну из поверхностей никелевой заготовки размером 1990×200×1 мм наносят аналогичный защитный слой. Заготовки по защитным слоям собирают в пакет путем укладки одной на другую без зазора. Пакет по длине сворачивают в рулон с внутренним диаметром 100 мм со второго витка с зазором 1 мм, устанавливая для этого медные вставки размером 1×1×1 мм в процессе свертывания рулона. Число витков в рулоне 5, наружный диаметр 135 мм. По торцам рулон закрепляют проволочными скобами, по три с каждого торца. Они предотвращают раскручивание рулона. Далее рулон ставят вертикально на один из торцов. Заряды ВВ в соответствии с размером рулона устанавливают на внутреннюю и наружную поверхности. Заряды ВВ — кольцевые, аналогичны по составу варианту 1. После сварки взрывом рулон раскручивают по защитному слою в биметаллическую тонколистовую заготовку.

## ВЫВОДЫ

1. Сварка взрывом с пакетным расположением свариваемых элементов значительно упрощает технологию сварки тонколистовых заготовок и позволяет одним зарядом взрывчатого вещества сваривать несколько тонколистовых заготовок из предварительно собранных пакетов.

2. Сварка взрывом с пакетно-рулонным расположением свариваемых элементов позволяет сваривать заготовки большой протяженности (длиной до 30 м) без использования массивных фальшпластин и оснований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысак В. И., Кузьмин С. В. Сварка взрывом: научная монография. М: Машиностроение, 2005. 544 с.
2. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. 2 изд., доп. перераб. Новосибирск: Наука, 1980. 219 с.
3. Обработка металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, Г. С. Попов, К. Крестев. М.: Металлургия, 1991. С. 178.

## Опыт стандартизации новых технологий и методов неразрушающего контроля во взаимодействии с Международным институтом сварки

Типовая схема продвижения национальных стандартов в области неразрушающего контроля (НК) на уровень европейских (EN) и международных (ISO) заключается в выполнении необходимых процедур рассмотрения в соответствующих комитетах EN и ISO по представлению Ростехрегулирования РФ. Такая схема может быть реализована для известных методов и технологий НК, когда предлагаются какие-либо улучшения и новые положения к уже имеющимся российским или международным стандартам.

Однако для принципиально новых методов и технологий НК типовая схема продвижения национальных стандартов трудно реализуема по следующим причинам.

Во-первых, для новых технологий и методов НК необходимо по сложившемуся международному опыту организовать широкую их презентацию в авторитетных кругах специалистов.

Во-вторых, необходимо организовать опробование и проверку эффективности нового метода НК в специальных лабораториях, институтах и в промышленных условиях не менее чем в пяти странах мира. При этом необходимо получить положительное заключение о результатах проверки. Если такие условия не выполняются, то в соответствующих комитетах EN и ISO новые неизвестные технологии НК просто не рассматриваются и в этом случае теряется смысл продвижения стандартов на уровень международных.

Автору не известны случаи как минимум за последние 20 лет продвижения новых технологий и методов НК на уровень международных стандартов по представлению Ростехрегулирования. На основе 14-летнего опыта работы автора<sup>1</sup> в МИСе рассмотрим возможности этой организации в области стандартизации новых технологий, в том числе в области НК.

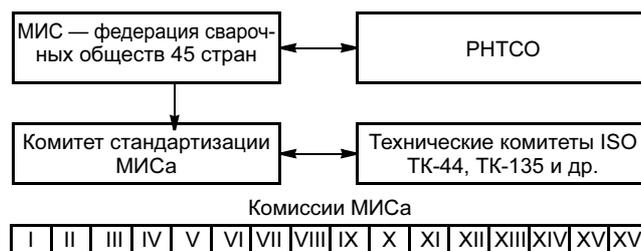
По состоянию на июль 2007 г. членами МИСа являются 45 стран мира. Россию начиная с 1992 г. представляет РНТСО (Москва).

На рис. 1 приведена структурная схема МИСа, на рис. 2 — структурная схема процедуры прохождения национального стандарта, технического регламента (или руководящего документа Ростехнадзора) в комитетах МИСа. Например, для того чтобы оформить национальный стандарт ГОСТ Р 52005—2003 и стандарт СТ РНТСО 004—03 по методу магнитной памяти металла (МПМ) необходимо было при посредстве V комиссии МИСа (контроль и обеспечение качества сварочной продукции) выполнить специальную программу "Round Robin" ("круговое сравнение"). В соответствии с данной программой необходимо выполнить проверку эффективности метода МПМ не менее, чем в пяти странах мира, лабораториях и производствах с составлением итогового отчета и его за-

щитой перед авторитетными учеными и специалистами разных стран. На ежегодных конгрессах МИСа неоднократно проводились презентации отдельных работ, выполняемых специалистами ООО "Энергодиагностика" в России и других странах. За период с 1995 по 2007 г. опубликованы более 40 документов МИСа по методу МПМ в различных аспектах его развития (теория, практика, приборы и методики контроля, подготовка специалистов). Среди этих документов можно отметить, например, сборники материалов четырех международных конференций "Диагностика оборудования и конструкций с использованием метода магнитной памяти металла", проведенных в Москве в 1999, 2001, 2003 и 2007 гг. Статус специального документа МИСа (после дискуссий в V комиссии и устранения замечаний) присвоен учебному пособию "Метод магнитной памяти металла и приборы контроля". Таким образом, учебное пособие приобрело статус международного и рекомендовано МИСом для подготовки специалистов в разных странах.

В итоге многолетней работы по продвижению новой технологии контроля в качестве международного стандарта ISO в 2004—2005 гг. было проведено итоговое голосование делегатов МИСа среди 18 стран мира. В июле 2005 г. на очередном конгрессе МИСа в Праге принята резолюция МИСа с положительным голосованием (более 50 % голосов): "Рекомендовать техническому комитету ISO ТК-135 рассмотреть национальный стандарт России ГОСТ Р 52005—2003 в качестве международного".

В январе 2006 г. на очередном заседании комитета ISO ТК-135 принято положительное решение с небольшими редакторскими правками, поступившими из ряда стран. Проект стандарта ISO по методу МПМ, состоящий



**Рис. 1. Структурная схема МИСа:** I — высоко- и низкотемпературная пайка, термическая резка, пламенные процессы; II — дуговая сварка; III — сварка сопротивлением и смежные процессы сварки; IV — сварка энергией высокой плотности; V — контроль и обеспечение качества сварочной продукции; VI — терминология; VII — полномочие и аттестация; VIII — здоровье и безопасность; IX — поведение металлов при сварке; X — конструктивное исполнение сварных соединений, предотвращение разрушения; XI — сосуды давления, котлы и трубопроводы; XII — процессы дуговой сварки под флюсом и в защитных газах; XIII — усталость сварных узлов и конструкций; XIV — образование и обучение; XV — основы проектирования и изготовления сварных конструкций; XVI — сварка пластмасс

<sup>1</sup> Начиная с 2003 г. автор в РНТСО возглавляет работу комиссии по контролю качества сварки, являясь ее председателем.

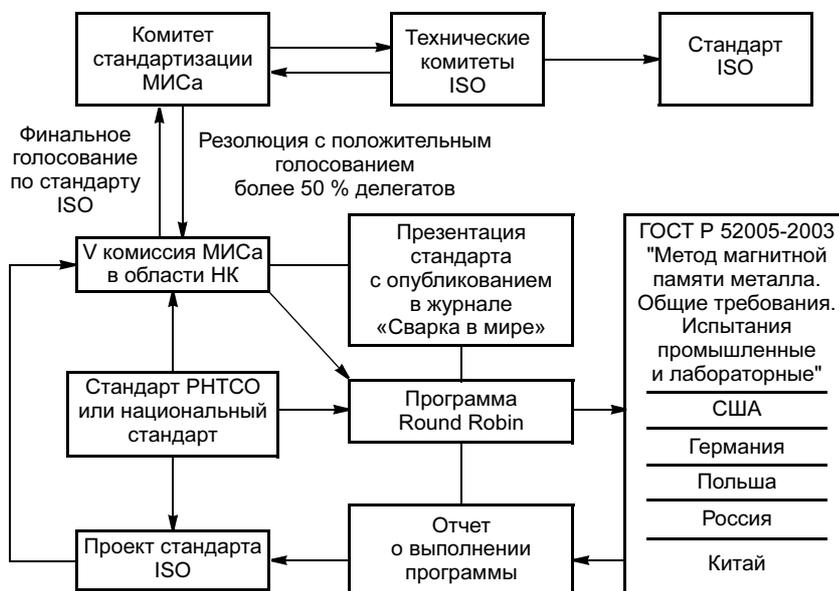


Рис. 2. Процедура прохождения национального стандарта в МИСе

из трех частей (термины и определения, общие требования, контроль сварных соединений), по существующей международной процедуре, согласованной между комитетами стандартизации МИСа и ТК-135 (неразрушающий контроль), в сентябре 2006 г. (конгресс МИСа в Квебеке) принят к опубликованию в качестве международного стандарта ISO. Следует отметить, что за последние 20 лет это единственный стандарт России в области неразрушающего контроля, принятый в качестве международного.

Приведенная процедура (см. рис. 2) позволяет в соответствии с международными нормами и правилами оформить российские технологии в качестве европейских и международных документов и продвинуть эти технологии на зарубежный рынок.

Следует отметить, что именно для новых технологий НК процедура их продвижения на уровень международных и европейских стандартов в МИСе является наиболее пригодной и эффективной. В соответствии с этой процедурой представляется уникальная возможность провести презентацию новой технологии и разъяснить ее особенности в дискуссии со специалистами из разных стран, относительно быстро найти заинтересованных лиц, фирмы и организации для проверки эффективности технологии в лабораторных и промышленных условиях.

В отдельных случаях новые технологии, не имея статуса национальных стандартов, могут быть оформлены

как стандарты РНТСО и представлены в МИС для рассмотрения и дальнейшего продвижения на международный уровень. Благодаря систематической работе в комиссиях МИСа одновременно осуществляются реклама новой технологии и ее распространение в других странах. Например, метод МПМ и соответствующие приборы контроля по состоянию на май 2007 г. стали применять в 25 странах мира.

При непрохождении новой технологии в соответствующих комитетах EN или ISO на уровень стандартов такая технология может быть оформлена в виде отдельного документа (технического отчета) МИСа. В данном качестве могут быть оформлены, например, руководящие документы в области промышленной безопасности (контроль трубопроводов, сосудов и др.).

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время Россия значительно отстает от Европы и Америки в области стандартизации методов НК. За

последние 20 лет стандарты России и СССР практически не пересматривались. Поэтому устранить этот разрыв можно следующим образом.

Вариант первый — наиболее легкий и малозатратный — перевод современных стандартов EN и ISO на русский с приданием им статуса российских. Именно по этому варианту сейчас началась работа в Ростехрегулировании.

Вариант второй — более трудоемкий, затратный и сложный — пересмотр старых и разработка новых национальных стандартов, их гармонизация и продвижение на уровень международных и европейских.

При первом варианте Россия теряет инициативу. Во многих случаях отечественные стандарты в области НК более содержательные и жесткие. Кроме того, переход формально на современные стандарты EN и ISO в определенной степени наносит экономический ущерб России. Известно, что за каждым стандартом стоят соответствующая техника и технологии отечественных производителей.

При втором варианте, сохраняя экономические интересы в России, обеспечивается продвижение отечественных технологий и оборудования на зарубежный рынок.

РНТСО приглашает к сотрудничеству специалистов России в области НК и других родственных технологий для продвижения отечественных разработок на зарубежный рынок путем проведения соответствующих процедур в комитетах МИСа.

### ОАО "Издательство "Машиностроение" предлагает



	Цена с НДС, руб.
Степнов М. Н., Шаврин А. В. <b>Статистические методы обработки результатов механических испытаний:</b> Справочник. 2-е изд., испр. и доп. 2005. 400 с.	363
Суслов А. Г., Дальский А. М. <b>Научные основы технологии машиностроения.</b> 1-е изд. 2002. 684 с.	330
Чернилевский Д. В. <b>Детали машин и основы конструирования:</b> Учебник для вузов. 1-е изд. 2006. 656 с.	440
Чичинадзе А. В., Берлинер Э. М., Браун Э. Д. <b>Трение, износ и смазка (трибология и триботехника)</b> / Под. общ. ред. А. В. Чичинадзе. 1-е изд. 2003. 576 с.	660

Приобрести книги по цене издателя можно, направив заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269 4897; e-mail: realiz@mashin.ru; почте: 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4, ОАО "Издательство "Машиностроение". Тел.: (495) 269-6600, 269 5298.

## 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК"

Со 2 по 5 октября 2007 г. в Москве на ВВЦ прошла 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК". Выставка организована Минпромэнерго РФ при поддержке Администрации Президента РФ, Минобороны, МЧС и МВД России, Федерального агентства по промышленности, Федерального агентства по атомной энергии, Федерального космического агентства, РАН, РИА и РВК "Эксподизайн".

Цель выставки — демонстрация научно-технического потенциала предприятий ОПК страны по развитию наиболее актуальных задач национальной безопасности (информационной, энергетической, экологической и социально-экономической). В выставке участвовали 170 предприятий, организаций и фирм из России и стран СНГ.

Ниже приведены некоторые организации и их перспективные разработки по основным направлениям оборонных отраслей: информационные технологии и электроника, производственные технологии, экология и рациональное природопользование, энергетика и топливо, транспорт, системообразующие материалы и др.

**НПО "АННА"** (Москва—Санкт-Петербург) — аппаратура защиты информации:

— системы быстрого (экстренно-го) уничтожения информации на магнитных носителях;

— комплексы и средства защиты информации;

— оборудование помещений техническими средствами защиты информации;

— нестандартное радиоэлектронное оборудование.

Разработки защищены патентами РФ. Производство сертифицировано Гостехкомиссией. Имеются соответствующие лицензии на деятельность в области создания средств защиты информации.

**ФГУП "Барнаульское СКБ "Вос-ток"** — разработка и производство

радиоэлектронной аппаратуры специального и производственно-технического назначения:

— устройство "БУГ" для контроля и управления дизельными генераторными установками, дизельными передвижными электростанциями и газовыми мотор-генераторами. Устройство защищено патентами и свидетельствами на полезную модель и зарегистрировано в Госреестре РФ;

— комплекс "Телемеханика. КТМ-02" для автоматизированного дистанционного контроля и управления технологическим оборудованием контролируемых пунктов (КП) из центрального диспетчерского пункта (ЦДП) по радиосигналу или по волоконно-оптической линии связи по сети Ethernet (ВОЛС). Питание комплекса осуществляется от сети переменного тока напряжением 187—242 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощ-

ность оборудования КП с учетом радиостанции не более 80 В · А (рис. 1).

**НПП "Электронно-механические системы"** (Муром Владимирской обл.) — единственное в России предприятие, серийно выпускающее автомобильные компьютерные тренажеры вождения легковых автомобилей модели "ВАЗ": — компьютерный тренажер вождения — сложное электронно-механическое устройство для первоначального обучения учащихся автошкол вождению автомобилями (рис. 2).

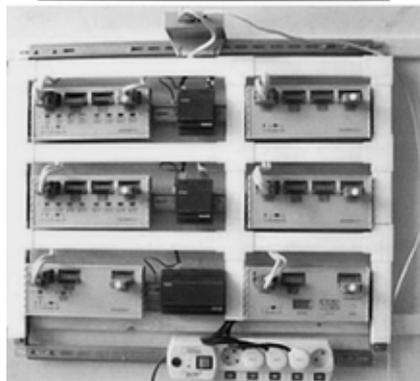
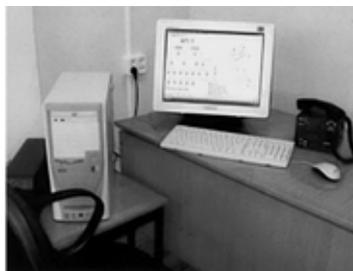


Рис. 1. Комплекс "Телемеханика. КТМ-02" для автоматизированного дистанционного контроля и управления технологическим оборудованием



Рис. 2. Компьютерный тренажер вождения легковых автомобилей модели "ВАЗ"

В компьютер введен математическая модель реального автомобиля. При работе тренажера в каждый момент времени компьютер решает систему специальных уравнений (около 150) и в зависимости от положения органов управления автомобилем на экране монитора выводится соответствующее изменение визуальной обстановки. Тренажер работает в нескольких режимах. Разработка автомобильного тренажера удостоена Золотой медали ВВЦ, медали выставки "Русский щит", награждена различными дипломами.

В настоящее время предприятие разрабатывает тренажер грузового автомобиля "КамАЗ-43114".

**ОАО "АвтоВАЗ"** (Тольятти) — разработка и изготовление различного технологического оборудования:

— роботизированное оборудование — роботы электромеханические на базе лицензии фирмы KUKA (Германия), грузоподъемностью до 350 кг для контактной, дуговой, лазерной резки, механической обработки, штамповки, складирования и выполнения других операций;

— металлообрабатывающее оборудование — специальные агрегатные станки и автоматы с поворотными-делительными столами, автоматические линии с "жестким" спутниковым транспортом для обработки корпусных деталей на базе унифицированных узлов;

— сварочное оборудование и оснастка — гибкие производственные модули для дуговой и контактной сварки, многоточечные сварочные машины, автоматические сварочные линии, сварочная оснастка (рис. 3).



Рис. 3. Гибкий производственный роботизированный модуль для сварки кузовов легковых автомобилей

**ФГУП "Брянский химический завод им. 50-летия СССР"** — изготовление промышленных взрывчатых веществ, утилизация обычных видов боеприпасов и другой продукции производственно-технического назначения. В рамках конверсии завод планирует создать новые производства: изготовление блоков из ячеистого бетона до 60 тыс. м<sup>3</sup> в год, переработка изношенных автомобильных шин, изготовление элементов для сототермоструктурных домов с уникальными теплохимическими характеристиками.

**ОАО "Вятка"** (г. Киров):

— переработка методом горячей винтовой прокатки отработавших свой срок тонкостенных труб специального назначения (бурильных труб, корпусов снарядов) в полые заготовки деталей машин, имеющие точную геомет-

рию и качественную наружную и внутреннюю поверхности;

— горячая пластическая деформация слитков быстрорежущей стали (Р6М5 и др.) винтовой прокаткой взамен традиционно применяемойковки (более трудоемкой и дорогостоящей) с целью улучшения макро- и микроструктуры стали.

**ЗАО "ПСБ-ГАЛС"** (Москва) — ультразвуковое оборудование и технологии очистки изделий из металла, керамики, стекла и др. от различного рода загрязнений с использованием ультразвуковых ванн различных моделей (ПСБ) и технических моющих средств. Принцип действия ультразвуковых ванн основан на применении ультразвуковых колебаний (свыше 16 кГц) в жидких и твердых телах. В современных ультразвуковых ваннах (рис. 4) источник механических колебаний жестко закреплен за пределами сосуда, благодаря чему сама ванна становится резонансным телом, а жидкость, находящаяся в ней, имеет одинаковую интенсивность колебаний. Это обеспечивает абсолютную очистку деталей различной формы, а также деталей точной механики, медицинского инструмента и др.



Рис. 4. Современные ультразвуковые ванны для очистки изделий от различных загрязнений серии ПСБ

**ФГУП "Серовский механический завод"** (г. Серов Свердловской обл.):

— корпуса боеприпасов;

— оборудование и инструмент для нефтедобывающей отрасли (муфты, замки для бурильных труб, бурильные трубы и др.);

— оборудование и инструмент для горнорудной отрасли (буровые штанги, коронки, снаряды, соединительные муфты и др.);

— инструмент для геологоразведочного оборудования (муфты, замки, переходники, противоаварийный инструмент для колонкового (вращательного) бурения и др.).

**Авиамоторный научно-технический комплекс "СОЮЗ"** (Москва):

— разработка газотурбинных энергоустановок серии ГТЭ (рис. 5)

на базе авиационных двигателей серии Р125 собственной разработки, предназначенных для производства электроэнергии и тепла, номинальной мощностью 30 МВт. ГТЭ является составной частью газотурбинной тепловой электростанции, создаваемой в рамках Комплексной программы промышленной деятельности в Москве при содействии Департамента науки и промышленной политики Москвы.

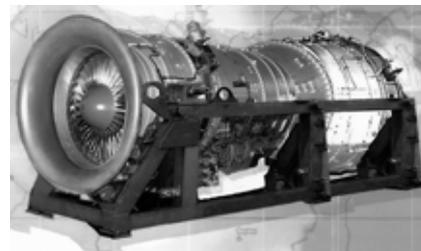


Рис. 5. ГТЭ для производства электроэнергии и тепла

**ООО НПП "Энерготехсервис"** (Челябинск):

— проектирование и внедрение когенераторных (согласованных) установок для малой энергетики;

— диагностика, капитальный ремонт высоковольтного оборудования;

— изготовление мобильных осветительных установок "Световая башня", "Световой шар" для экстренного развертывания на местности в случае природных или техногенных катастроф, при несанкционированном отключении освещения, для освещения больших площадей, а также при проведении ночных работ в промышленности, строительстве и др. (рис. 6).



Рис. 6. Мобильные осветительные установки "Световая башня" и "Световой шар"

**Федеральный научно-производственный центр ФГУП "Алтай"** (Бийск, Алтайский край):

— технологический модуль по выпуску теплоизоляционных материалов из горных пород. Сырьем для производства теплоизоляционных материалов служат нерудные горные породы типа базальтов, диабазов, габбро (глубинная горная порода), порфиринов (аналог базальтов) и др. Предлагаемые теплоизоляционные (базальтоволокнистые) изделия экологически безопасны, негорючи, долговечны, обладают повышенной химической и гидролитической стойкостью, имеют низкий коэффициент теплопроводности. На контрактной основе технологические модули установлены более чем в 10 регионах России;

— газогенератор кислорода предназначен для экстренной подачи кислорода. В отличие от газобаллонной системы имеет ряд преимуществ: автономность, постоянную готовность к работе, прост в эксплуатации, надежен. Газогенераторы кислорода обеспечивают подачу кислорода в аварийных ситуациях, а также могут применяться для газовой сварки и резки металлов с использованием автономных и малогабаритных средств;

— ультрадисперсные детонационные алмазные материалы и наноалмазы для получения износостойких композиционных электрохимических покрытий, полировальных составов и антифрикционных присадок к индустриальным и моторным маслам.

**Федеральное космическое агентство, ФГУП ГКНТЦ им. М. В. Хруничева, Филиал КБ "Арматура", Филиал НИИ космических систем:**

— газодинамические покрытия в космической технике. Газодинамическое напыление представляет процесс нанесения на обрабатываемую поверхность порошков металлов или их смесей с керамическими материалами, ускоренных с помощью сверхзвукового газового потока, создаваемого подачей сжатого воздуха с высоким давлением на вход сверхзвукового сопла. Типичные микроструктуры покрытия: герметизирующее покрытие, медное покрытие с алюминиевой подложкой. Процесс отличается универсальностью, мобильностью, прост в работе;

— экономичная ресурсосберегающая экологически чистая технология термохимического покрытия — оксиазотирование — термохимический процесс диффузионного насы-

щения поверхности изделий азотом, совмещенный с окисидированием в газовой среде. Преимущества: износостойкость, коррозионная стойкость, экологическая безопасность, широкая область использования;

— экономичная ресурсосберегающая экологически чистая технология гидроштамповки элементов трубопроводных элементов (крестовин, тройников, угольников, переходников). Исходная заготовка — труба в состоянии заводской поставки. Роль пуансона при штамповке выполняет жидкость высокого давления (до 350 МПа).

Технология разработана по контракту с Российским космическим агентством;

— межгосударственная информационная система мониторинга и управления транспортом (МИСМУТ) на основе объединения информационных ресурсов систем мониторинга, развертываемых в регионах и имеющих общий транспортный коридор. Основными функциональными элементами системы являются аппаратно-программные сокомплексы диспетчерских центров и абонентские комплексы аппаратуры, устанавливаемые на транспортные средства. Это позволяет с высокой надежностью оптимизировать оперативное управление транспортом.

**Федеральный центр двойных технологий "Союз"** (г. Дзержинский Московской обл.):

— химическая технология, проектирование и конструирование машин и аппаратов, промышленное производство;

— системы и средства аэрозольного и жидкостного пожаротушения, установки и керамические порошки для ремонта футеровок высокотемпературных печей, алмазно-абразивный инструмент и др.

**ФГУП "Государственный научно-производственный ракетно-космический центр "ЦСКБ-ПРОГРЕСС"** (Самара) — разработка и эксплуатация ракет-носителей, космических комплексов дистанционного зондирования Земли и автоматических космических аппаратов прикладного (народнохозяйственного) назначения (космический комплекс "Ресурс-ДК-1") (рис. 7). В настоящее время в Самаре создается Поволжский центр космической геоинформации (оценка состояния и экономического потенциала АПК Самарской обл., инвентаризация земель и строений с целью обновления и формирования картографиче-



**Рис. 7. Автоматический космический аппарат "Ресурс-ДК-1"**

ских баз данных государственного земельного кадастра Самарской области и др.);

— продукция производственно-технического назначения и товары народного потребления: оборудование для пищевой, нефтяной, деревообрабатывающей и автомобильной промышленности, а также товары медицинского назначения и народного потребления (катера, мотолодки, радиаторы и др.).

**ФГУ "33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт МО РФ"** (Вольск Саратовской обл.):

— способ экспрессного определения дисперсного состава аэрозоля с использованием компьютеризированной системы обработки видеозаписей фиксирующих индикаторных подложек с нанесенными частицами аэрозоля. Технический результат — повышение точности, объективности и экспрессности анализа дисперсного состава. Имеется патент РФ;

— способ оценки функционального состояния человека — оператора в системе "человек—машина", что позволяет с высокой достоверностью проводить оценку функционального состояния организма на основе моделирования реальных условий его функционирования. Имеется патент РФ.

**Военно-морская академия им. адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова** (Санкт-Петербург) — научные исследования в области высоких технологий в кораблестроении: системы спасения и эвакуации людей и техники, модернизация энергетических установок, экологические разработки и др.

**Ростовский военный институт ракетных войск им. главного маршала артиллерии М. И. Неделина:**

— технологии контроля технического состояния конструкционных материалов и изделий, основанные на использовании интерференционных методов регистрации и обработки информации, что позволяет существенно повысить точность и информативность регистрируемой информации. Защищены патентами РФ;

— экспериментально-измерительное оборудование для диагностики технического состояния конструкционных материалов и изделий. Основано на использовании оптических интерференционных методов, существенно повышает точность и информативность. Защищено патентами РФ.

Данная разработка выполнена при участии НИИ механики и прикладной математики РГУ.

**61 Научно-исследовательский испытательный институт железнодорожных войск (Москва)** — разработка технологий и средств для восстановления и скоростного строительства железных дорог.

На выставке достаточно широко были представлены научные разработки ГНЦ РФ, вузов, научно-исследовательских и академических институтов (более 30). Отметим только ряд из них.

**ФГУП ВНИИНМ им. акад. А. А. Бочвара (Москва):**

— производство нанокристаллических магнитных материалов с использованием центробежного распыления (патент РФ). Преимущества: высокая точность геометрических размеров, не требующая дополнительной механической обработки, повышенная коррозионная стойкость, управляемые прочностные характеристики. Область применения: магнитные системы для специальных разработок Росатома, а также для автомобильной и авиационной промышленности, радиоэлектроники и др.;

— современная технология и высокопроизводительное оборудование для нанесения покрытий толщиной 0,01—150 мкм, в том числе наноструктурированных, из различных материалов методом высокоскоростного ионно-плазменного магнетронного распыления (ВИПМРС) — пионерская разработка института. Для этого ВНИИНМ совместно с ООО "МЭШ плюс" — специализированным предприятием по созданию вакуум-

ного оборудования — разработали универсальную технологическую установку ВУ—ВСМ нового поколения для процесса ВИПМРС. По степени универсализации и технологическим возможностям технология ВИПМРС превосходит современные технологии покрытия (электронно-лучевого испарения, вакуумно-дугового распыления и др.). Область применения: машиностроение, автомобильная промышленность, энергетика, нефтедобывающая отрасль и др.

**ФГУП "ГНИИХТЭОС" (Москва):**

— оригинальная экологически чистая технология производства нанодисперсных порошков на основе порошков алюминия, бора, оксида железа для изготовления наноматериалов (наноструктурных специальных сплавов, нанокерамики, нанокомпозитов и др.).

Получаемые по данной технологии продукты отвечают мировому уровню качества, но стоимость их в 1,5—2 раза дешевле. Имеется патент РФ;

— низкотемпературный теплоноситель (низкомолекулярная кремний-органическая жидкость) для объектов космической техники и радиоэлектроники, а также эксплуатации хладоносителя в системах терморегулирования (рис. 8). Свойства теплоносителя: температура застывания ниже  $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , химическая инертность, низкая токсичность;



**Рис. 8. Использование низкотемпературного хладоносителя для эксплуатации в системах терморегулирования различных объектов**

— новая универсальная биологически активная субстанция "АСТРА-

ГЕРМ", содержащая биомикроэлемент германий. Исследования химического состава растений, традиционно используемых для профилактики и лечения многих заболеваний человека (жень-шеня, алоэ, чеснока), показали, что они обладают повышенным содержанием германия (до 0,2 %). Препараты, созданные на основе ГОС, являются эффективными регуляторами иммунной системы, оказывают общеукрепляющее действие на организм человека. Это пионерская разработка института.

**ФГУП "ГосНИИмаш" им. В. В. Бахирева" (Дзержинск Нижегородской обл.):**

— импульсный метод нанесения каталитически активных покрытий с помощью метода управляемого взрыва заряда ВВ малой массы. Позволяет создавать прямоточные трубчатые реакторы для процессов глубокой переработки нефтехимического сырья и нейтрализации отходящих газов. Имеется евразийский патент.

Разработка удостоена серебряной медали на международной выставке "ЭВРИКА—2006";

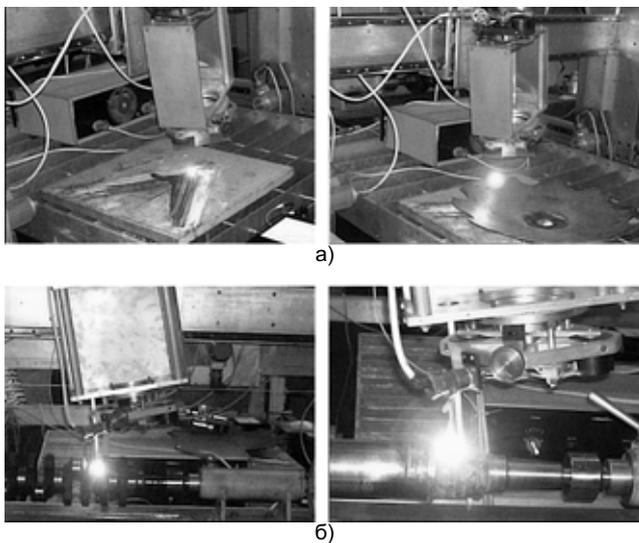
— способ повышения износостойкости рабочих поверхностей металлических изделий с использованием метода взрывного легирования трущихся поверхностей порошками мелкодисперсных частиц. Имеется патент РФ. Преимущества: повышение износостойкости, уменьшение среднего относительного момента трения, варьирование твердости обрабатываемой поверхности. Область применения: машиностроение, металлообработка, транспорт;

— программный комплекс "АВЕРС" для расчета "отклика" топливонасыщенных объектов на аварийные и несанкционированные воздействия.

**РАН, ИМАШ РАН им. А. А. Благонравова (Москва):**

— лазерные системы и технологии для упрочнения, наплавки поверхностей трения и точного раскроя материалов (рис. 9). Преимущества новых технологий: повышение износостойкости поверхностей трения, минимальные деформации деталей, экологическая чистота процесса, обработка без охлаждающих сред;

— электрообогревающий комплект для транспортировки пострадавших от общего охлаждения и для восстановления теплового состояния человека при гипотермии в полевых условиях на этапе эвакуации в лечеб-



**Рис. 9. Лазерные системы и технологии для упрочнения поверхностей трения различных деталей:** а — упрочнение и наплавка деталей сложной формы; б — лазерное упрочнение и наплавка тел вращения

ное учреждение. Разработка выполнена совместно с ВЦМК "Защита" и ООО "Экометр".

**Межрегиональное общественное учреждение "Институт инженерной физики"** (Серпухов Московской обл.):

— система подогрева впускного воздуха двигателей на основе плазмохимической технологии. Предназначена для улучшения пусковых качеств двигателей специального назначения при низких температурах окружающей среды и облегчения холодного пуска двигателя. Защищена патентами РФ;

— мобильная инженерная система для проведения очистных и утилизационных работ. Состав базового комплекса: автомобиль ЗИЛ-139 (МАЗ, КамАЗ), насосная установка высокого давления с приводом от собственного дизельного двигателя и комплектом автоматики, рукава высокого (200—500 п. м.) и низкого давления для подвода воды, резервная емкость для технической жидкости. Возможна модернизация базового модуля мобильной инженерной системы: многофункциональные городские машины, специальные инженерные машины, специализированные установки различного назначения.

**ФГУП "ГосНИИ "Кристалл"** (Дзержинск Нижегородской обл.) — разработка и внедрение ВВ и ВС, зарядов из них для военной техники и промышленности, взрывных технологий и технологий снаряжения боеприпасов. В рамках международной "Конвенции по маркировке пластиче-

ских ВВ в целях их обнаружения" и "Программы борьбы с терроризмом" институт проводит работу по обеспечению безопасности государства в области разработки маркеров, способов и технологий маркирования ВС с целью исключения возможностей использования ВВ в противоправных целях на различных видах транспорта.

**МГТУ им. Н. Э. Баумана** — жаростойкие газонепроницаемые наноструктурные покрытия для защиты рабочих поверхностей деталей энергетических и лабораторных установок, работающих в агрессивных средах при высоких температурах до 2000 °С (например в среде горящего кислорода). Данные покрытия наносят на вакуумных ионно-плазменных установках с использованием электродугового испарителя новой конструкции, обеспечивающего высокую скорость нанесения наноструктурированных покрытий. Толщина покрытий 100—300 мкм, газонепроницаемость — 100 %, адгезия к подложке — высокая;

— дизель, работающий на угольных суспензиях для дизель-электростанций и транспортных силовых установок (преимущественно тепловозов и судов). Принцип действия основан на прямом сжигании угольных суспензий в цилиндре двигателя. Преимущества: затраты на топливо в 3 раза ниже, чем при работе на дизельном топливе, оригинальная топливная система, длительность эксплуатации.

**Рыбинская государственная авиационная технологическая ака-**

**демия (РГАТА) им. П. А. Соловьева** — наноматериалы и нанотехнологии, новые материалы со специальными свойствами для авиа- и энергомашиностроения, теория систем автоматического управления, технологическое обеспечение производства.

**ГНЦ РФ, ФГУП "Обнинское НПП "Технология":**

— полимерные композиты-технологии и конструкции;

— конструкционные и функциональные, цветные и бесцветные стекла, ситалы (стеклокристаллические материалы);

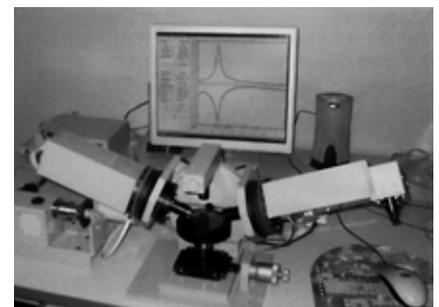
— конструкционная и функциональная керамика;

— функциональные полимерные материалы.

**Концерн "Наноиндустрия" (Москва):**

— базовые технологии модификации традиционных материалов санитарно-гигиенических и дезинфекционных средств наноразмерными частицами с целью придания им биоцидных свойств широкого спектра действия. Обладающие биоцидными свойствами наночастицы серебра наносят на поверхность и имплантируют в структуры традиционных материалов и покрытий, модифицируя их состав и придавая им новые потребительские качества. Сферы применения биоцидных материалов: кабины космических станций, салоны транспортных средств, очистка воды, воздушные кондиционеры, места массового посещения и др. Для модификации данной продукции используются созданные и производимые в концерне концентраты коллоидных растворов наноразмерных частиц серебра АуБион-1 и АуБион-2;

— спектроэллипсометр фотометрический "Эльф" (рис. 10) для измерения толщины пленок и слоев в тон-



**Рис. 10. Спектроэллипсометр фотометрический "Эльф" для измерения толщины пленок и слоев в тонкопленочных структурах**

копленочных структурах (металлах, полупроводниках и диэлектриках, твердых и жидких пленок), а также исследования структуры материалов (состава, неравномерности, пористости, фазового состава, степени кристаллизации, наличия дефектов). Диапазон толщин 0,1 нм—2 мкм. Время измерения от 30 с до 1—2 мин. Прибор обеспечивает возможность построения пространственной карты любой из измеряемых характеристик. Наличие опорного фотоприемника позволяет проводить фотометрические измерения.

Принцип работы прибора основан на поляризационно-оптическом методе исследования — эллипсометрии, которая изучает изменение формы эллипса поляризации световой волны при взаимодействии с образцом. Серийное производство прибора запланировано на начало 2008 г. Один из разделов выставки был посвящен актуальным вопросам жизнеобеспечения и экологии. Здесь можно отметить разработки следующих организаций, предприятий и фирм.

**ИБХФ им. Н. М. Эмануэля РАН** (Москва):

— разработан и изготовлен не имеющий аналогов в мире теплозащитный костюм, предназначенный для защиты оператора от жесткого теплового воздействия. Одноразовый многослойный костюм имеет массу 25—27 кг, снабжен изолирующим противогазом. Полевые испытания костюма показали, что испытатели могут находиться в нем при температуре выше 1600 °С в течение 3—5 мин. Костюм незаменим при тушении особо мощных пожаров на нефтяных и газовых месторождениях, на химических реакторах, при авариях на железных дорогах, терминалах и др.;

— высококачественные упаковочные материалы, обладающие требуемыми эксплуатационными свойствами и способностью биоразлагаться в естественных условиях.

**ЗАО "Дыхательные системы—2000"** (Москва) — противопожарное и аварийно-спасательное оборудование: дыхательные аппараты со сжатым воздухом серии АП "ОМЕГА", АП-96М, "СПИРОГАЙД" (новинка), самоспасатели серии АДА-2, АДА-ПРО, комплекс испытательного оборудования КИО-1, комплектующие дыхательных аппаратов (баллоны высокого давления, панорамные маски, легочные аппараты для отключения/включения избыточного давления и принудительной подачи возду-

ха в дыхательный аппарат, средства связи), компрессорное оборудование, костюмы химической защиты, индивидуальные газосигнализаторы серии ИГС-98 и др. Фирма является официальным представителем ОАО "Кампо" (Орехово-Зуево).

**ФГУП "Муромский приборостроительный завод":**

— средства инициирования для систем пожаротушения (пусковые устройства для приведения в действие исполнительных механизмов автоматических установок пожаротушения, средства для вскрытия запорных устройств, толкатели для перемещения исполнительных устройств, средства для зажигания вышибных зарядов порошковых огнетушителей, изделий светопиротехники);

— капсули-воспламенители с экологически чистым составом для патронов к служебному и гражданскому оружию. Рецептúra всех составов защищена патентами. Завод входит в число мировых лидеров в области капсульного производства. Капсули экспортируются в США, Южную Америку и другие страны;

— сигнальные и спасательные средства (спасательные круги серий КС-01, КС-02, буй светодымящий БСД-02, шашка дымовая плавучая ШДП-01, огонь самозажигающийся ОС-1, фальшфейеры красного и белого огня);

— пистолеты поршневые монтажные ППМ-301, ППМ-307, ППМ-603, строительный крепеж евростандарта (дюбели монтажные для инженерных систем, резьбовые, универсальные). Пистолеты снабжены различными механизмами выброса стреляной гильзы из патронника (автоматический, полуавтоматический, ручной). Конструкция пистолета имеет блокировку от случайного выстрела. Защита от возможного рикошета и разлета мелких частиц поверхности пристрелки обеспечивается упором (экраном). Пистолеты комплектуются индустриальными



**Рис. 11. Пистолет поршневой монтажный ППМ-603 с комплектом индустриальных патронов**

патронами с экологически чистым составом различной мощности (рис. 11). Ряд изделий, выпускаемые заводом — спасательные круги, буй светодымящий, патроны индустриальные — отмечен золотыми знаками выставки "Всероссийская марка (III тысячелетие)". Знак качества XXI века".

**ФГУП "Чебоксарское производственное объединение им. В. И. Чапаева":**

— противогородовые ракеты для защиты сельскохозяйственных культур от града. По своим тактико-техническим характеристикам превосходят мировые аналоги. Технология противогородовой защиты растений основана на радиолокационном обнаружении и распознавании градовых, градоопасных облаков и внесения в них с помощью специальных ракет "Алазань" кристаллизующих агентов на основе йодистого серебра (рис. 12);



**Рис. 12. Специальные противогородовые ракеты "Алазань"**

— патроны для воздействия на облака с целью вызывания и перераспределения осадков — высокоэффективное средство, разработанное на основе последних достижений науки и техники. Запуск патронов производится из пускового устройства, установленного на самолете.

**ООО "Аква-технология"** (Челябинск) — улавливатель нефтепродуктов и твердых отходов из воды. Предназначен для очистки сточных вод, резервуаров и хранилищ с отходами от нефтепродуктов и твердых примесей. Отличительные особенности: увеличение производительности переработки смесей при отделении нефтепродуктов от воды, снижение эксплуатационных затрат.

**Новосибирское производственное объединение "ЛУЧ", Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН** (Новосибирск) — серия фотокаталитических очистителей воздуха "Луч" (четыре модели). Фотокаталитический фильтр — принци-



Рис. 13. Фотокаталитический очиститель воздуха "Луч-22"



ально новый подход к очистке воздуха от летучих органических и неорганических соединений, обеспечивает наиболее полную очистку воздуха по сравнению с известными методами. В отличие от других фильтров не накапливает загрязнения (реакция фильтрации протекает на поверхности катализатора под действием "мягкого" ультрафиолетового излучения).

Фотокаталитическое окисление одинаково эффективно по отношению к токсинам, вирусам и бактериям. Болезнетворные микроорганизмы, даже обладающие повышенной сопротивляемостью к ультрафиолету, погибают. Большинство запахов, вызываемых органическими соединениями, также полностью разлагается при фильтрации. Разработка защищена патентом РФ, удостоена дипломов и медалей отечественных и международных выставок. На рис. 13 приведен фотокаталитический очиститель воздуха "Луч-22". Основные характеристики: потребляемая мощность не более 25 Вт, диаметр 260 мм, высота 74 мм, масса не более 1 кг, коэффициент фильтрации за один проход для пыли 95 %, молекулярных примесей — 20 %, воздухопроизводительность не менее 23 м<sup>3</sup>/ч, срок службы 5 лет.

Определенный интерес у посетителей выставки вызвал стенд "**Молодежного творческого коллектива — изобретатель**" при ФГОУ "Московский государственный университет природообустройства", на котором

были представлены краткие описания различных проектов:

— пневмобетон-мастер широкого профиля (ограждения, выполненные по технологии пневмобетонирования без опалубки и в короткие сроки, с использованием экспериментальной установки для "набрызга" бетонных смесей);

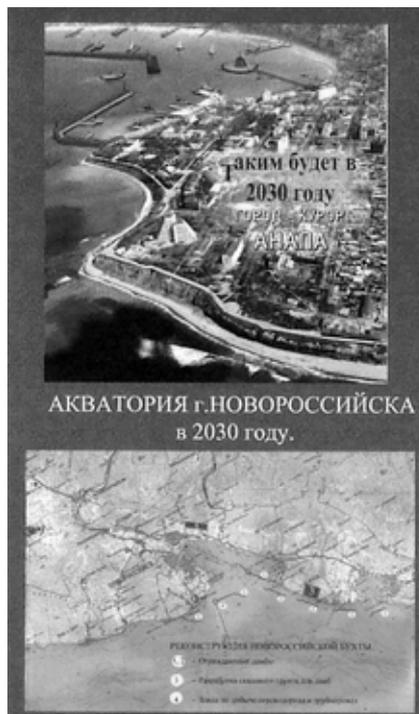


Рис. 14. Проект-идея обустройства Новороссийской акватории в 2030 г.

— проект-идея обустройства Новороссийской акватории для приема кораблей из Севастопольской морской базы — "Искусственные острова, атоллы, дамбы, причалы" (изготовление уникальных по форме и сложности указанных сооружений по технологии пневмобетонирования) (рис. 14);

— ГЭС на донных морских течениях и приливных волнах (программа "Альтернативная или бестопливная энергетика").

Среди других предприятий и организаций можно выделить следующие: ФГУП "Центральный институт по проектированию машиностроительных предприятий" — Центромашпроект, ЗАО "Информационное агентство" "Телеинформационная сеть военно-промышленного комплекса", ФГУ "Российское объединение информационных ресурсов научно-технического развития "Росинформресурс".

В рамках выставки были проведены научная конференция "Ориентированные фундаментальные исследования — федеральные целевые программы, наукоемкое производство", научно-практическая специализированная конференция "Современные технологии для обеспечения экологической безопасности в нефтяной отрасли", круглые столы "Комплексное использование технологий оборонных отраслей в формировании инновационных социально-производственных комплексов", "Новые материалы и технологии диверсификации предприятий промышленности боеприпасов и спецхимии", "Применение двойных технологий в борьбе с парниковым эффектом", семинары по основным направлениям выставочной тематики, конкурсы и церемония награждения.

Выставка продемонстрировала огромные возможности научно-технического и промышленного потенциала предприятий ОПК в решении задач социально-экономического развития России, способствовала установлению деловых партнерских отношений и заключению взаимовыгодных контрактов между производителями и потребителями продукции как гражданского, так и военного назначения, продвижению ее на отечественный и мировой рынки".

**Ан. А. СУСЛОВ,**  
канд. техн. наук

УДК 621.791.(05)(-87):016

## Содержание зарубежных журналов по сварке<sup>1</sup>

### AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL (Vol. 52, Second Quarter, 2007, Австралия)

**5-й конгресс** Азиатского Международного института сварки, организованный Институтом сварочных технологий Австралии (WTIA) 7—9 марта 2007 г. Р. 10—12.

**Prager M.** Проблемы и достижения программы МИСа по сосудам давления, котлам и трубопроводам: усовершенствованные конструкции, прогнозирование долговечности и предупреждение разрушений. Р. 13—17.

**Аттестация** и сертификация. Р. 24—25.

**Godbole A.** Компьютерный анализ гидродинамики отвода аэрозолей от сварочной горелки. Р. 35—41.

**Gupta R. K.** Влияние размера зерен на механические свойства соединений в виде приваренного кольца к плите из алюминиевого сплава AA2219. Р. 42—48.

### BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA W GLIWICACH (Roc. 51, N 3, 2007, Польша)

**Pfeifer T. et al.** Плазменная сварка алюминиевых сплавов — преимущества и ограничения. Р. 24—30.

**Zeman M., Sitko E.** Обзор высокопрочных и сверхвысокопрочных сталей. Р. 30—38.

**Czuchryj J., Sikora S.** Вопросы оценки качества сварных соединений на основании визуального контроля в соответствии со стандартом EN ISO 5817:2003. Р. 39—49.

**Zadroga L. et al.** Точечная сварка листов типа DP450 и DP600. Р. 49—55.

### BULETINUL INSTITUTULUI IN SUDURĂ ȘI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE — BID ISIM (№ 4, 2006, Румыния)

**Kroning M.** Новые датчики для неразрушающего контроля материалов. Р. 3—10.

**Trusculescu M., Padurean I.** Влияние режимов термической обработки на эрозионную стойкость аустенитной коррозионно-стойкой стали GX5CrNi19-10. Р. 11—15.

**Kohler G. et al.** Стекланные припои и их применение при лазерной пайке в микротехнике. Р. 19—24.

**Safta V-I.** Влияние параметров пульсации на эффективное напряжение и ток при импульсной МИГ-сварке сплава AlMgSi0,5. Р. 25—31.

### JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 76, N 2, 2007, Япония)

**Sugitani Yu.** Разработка автоматических систем. Р. 3.

**Ohnawa T., Kawakami H.** Сварка коррозионно-стойкой стали супераустенитного класса. Р. 5.

**Fan H. G., Kovacevic R.** Моделирование тепломассопереноса при дуговой сварке. Р. 6—13.

**Dilthey U., Ohse P.** Моделирование процесса сварки сопротивлением. Р. 14—18.

**Mahoney M. W.** Современный уровень развития сварки и обработки трением с перемешиванием. Р. 19—25.

**Bhadeshia H. K.** Новейшие модели прогнозирования структурных превращений и свойств металла шва при сварке сталей. Р. 26—32.

### SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 2, 2007, Германия)

**Лазерная** сварка + сварка плавящимся электродом в защитных газах высокопрочных сталей и сталей повышенной прочности. С. 62.

**Herzfeld D.** Орбитальная сварка обеспечивает более высокую эффективность в производстве труб и резервуаров. С. 68—70.

**Groß S.-M., Reisinger U.** Пайка стекла — сложная технология соединения не только для высокотемпературных топливных элементов. С. 70—77.

**Karakas Ö. u. a.** Концепция эффекта микропоры для оценки вибрационной прочности сварных соединений магниевых деформируемых сплавов. С. 78—83.

**Новейшие** разработки ведут к повышению экономичности в области обработки поверхности. С. 84—88.

**18-я** Международная конференция по переработке пластмасс. С. 88—94.

**Конференция** в Аахене 22—26 сентября 2006 г. С. 94—102.

**Заседание** комиссий МИСа (комиссия IV "Терминология", комиссия XV "Основы проектирования, расчета и изготовления сварных конструкций", комиссия X "Поведение структуры сварных соединений — предупреждение отказа", комиссия VIII "Техника охраны и здоровья"). С. 102—103.

### (N 4, 2007, Германия)

**DVS** начинает выпускать новый журнал по соединению пластмасс. С. 171.

**Новые** производственные технологии фирмы "Тиссен-Крупп-Сталь" для производства легких автомобилей. С. 175—176.

**Hahn O. u. a.** Моделирование методом конечных элементов поведения сваренных лазерным лучом стальных элементов при ударной нагрузке. С. 182—191.

**Winkelmann R., Bürkner C.** Сварка и пайка с легкоплавкими присадочными материалами. С. 192—199.

**Ji J. u. a.** Эмпирически статистические модели геометрии шва при гибридной сварке алюминиевых сплавов (Nd:YAG-лазер + дуговая сварка в защитных газах). С. 200—206.

**Aichele G.** Сжатый водород для пайки и сварки — идея молодого инженера-производственника Э. Виса. С. 207—212.

**Поведение** материалов и деталей в энергетике и аппаратостроении — семинар в октябре 2006 г. в Штуттгарте. С. 215-220.

### SUDURA

#### (An. XVII, N 2, 2007, Румыния)

**Georgescu B., Georgescu V.** Исследование напряжений и деформаций при холодной сварке зубчатых поверхностей. Р. 4—10.

**Safta V. I.** Влияние параметров сварки на эффективную мощность процесса импульсной МИГ-сварки сплава AlMgSi 0,5. Р. 11—15.

**Mitelea I., Mosila A.** Исследование сварки трением компонентов из разнородных рафинированно-науглеродженных сталей. Р. 16—23.

**Hackl H.** Новые перспективы МИГ-МАГ-сварки с переносом холодного металла — обеспечение чистой поверхности кромок и технико-экономические преимущества. Р. 24—27.

**Shackleton D. N., Hofe D.** Обеспечение качества при сварке. Р. 30—34.

**Badescu P.** Ремонт с помощью сварки компонентов кислородного конвертора. Р. 34—40.

**Winkler F., Hauzenberger R.** Поставка в Гану роторов турбин гидроэлектростанции, сваренных австрийской фирмой Bohler. Р. 41.

<sup>1</sup> 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).

# Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки\*

**Ультразвуковая головка для соединения металлических лент сваркой** содержит помещенный в корпус ультразвуковой преобразователь с волноводной системой, концентратор продольных колебаний, на конце которого установлен сварочный наконечник. Отличается тем, что внутренняя полость корпуса заполнена охлаждающей жидкостью, внешняя сторона корпуса снабжена охлаждающими ребрами, выполненными как и корпус из материала, теплопроводность которого не меньше  $200 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , а отверстие в корпусе для заливки жидкости закрыто заглушкой. 54848 (U1). А. А. Новик (RU). ООО "Ультразвуковая техника-инлаб" (RU). [21].

**Автомат для дуговой сварки кольцевых швов колес транспортных средств** в защитных газах содержит смонтированные на основании узел подъема колеса, центральную колонну с размещенными на ней механизмами перемещения сварочных горелок совместно с механизмами настройки; эстакаду, на верхней площадке которой размещены источники питания сварочной дуги, механизмы подачи сварочной проволоки и разматывающие устройства сварочной проволоки, электрооборудование и пневмооборудование. Отличается тем, что каждый механизм настройки закреплен на поворотном кронштейне с пневмоприводом, содержит двухкоординатный корректор, на подвижной площадке которого размещена штанга с жестко закрепленной горелкой, причем штанга выполнена подвижной относительно корректора за счет клеммного соединения с ней. 54849 (U1). А. Е. Хабаров (RU), В. Н. Дружинин (RU), Е. А. Куприянов (RU), С. И. Тюрчев (RU). ОАО "ГАЗ" [21].

**Установка для автоматической электродуговой наплавки деталей** преимущественно упорных тяг тележек железнодорожного подвижного состава содержит несущий каркас, на котором смонтированы опора в виде патрона для крепления наплавляемой детали, подвижная каретка с наплавочной горелкой, установленная с возможностью относительного продольного перемещения от привода, и пульт управления. Отличается тем, что установка снабжена установочной платформой с дополнительной подвижной кареткой и размещенной в патроне оправкой для закрепления и вращения наплавляемой упорной тяги от привода, при этом дополнительная подвижная каретка смонтирована с возможностью ограниченного горизонтального перемещения по направляющим несущего каркаса, а установочная платформа выполнена с продольными и поперечными горизонтальными направляющими для обеспечения возможности продольного и поперечного возвратно-поступательного перемещения подвижной каретки с наплавочной горелкой и автоматической электродуговой наплавки изношенной поверхности упорной тяги по заданной программе. 54850 (U1). А. В. Чавдаров (RU), С. А. Бульканов (RU), В. С. Деденев (RU) и др. [21].

**Способ контактной стыковой сварки оплавлением** включает оплавление с одновременным контролем изменения физического состояния оплавляемых деталей при возможных отклонениях в ходе процесса и последующую осадку. Отличается тем, что контроль изменения физического состояния оплавляемых деталей осуществляют следующим образом: до начала оплавления устанавливают эталонные значения определенного

интеграла по времени произведения текущих значений сварочного тока на сварочное напряжение, которые определяют заранее опытным путем, устанавливают эталонные значения укорочения свариваемых деталей для каждого из значений определенного интеграла по времени, а в процессе оплавления измеряют текущие значения сварочного тока и сварочного напряжения, вычисляют произведения указанных текущих значений и определенный интеграл по времени указанного произведения, при этом при достижении определенным интегралом по времени эталонного значения замеряют соответствующее ему укорочение свариваемых деталей, сравнивают измеренное значение укорочения с эталонным путем вычитания эталонного значения из измеренного, причем при положительном результате вычитания сварочное напряжение снижают, а при отрицательном повышают. 2281190 (C1). Д. И. Беляев (UA), А. В. Бондарчук (UA), А. В. Гудков (RU) и др. [22].

**Устройство для закрытия и разрезания участка трубы** за счет устройства ультразвуковой сварки включает волновод-концентратор с двумя первыми, дистанцированными друг от друга сваривающими поверхностями, которые согласованы с двумя вторыми сваривающими поверхностями противоположного электрода и проходящими между двумя первыми сваривающими поверхностями и выступающим над первыми сваривающими поверхностями разделительным или режущим элементом, который согласован с пазом между двумя вторыми сваривающими поверхностями противоположного электрода. 2281191 (C2). Р. Мершнер (DE), У. Вагенбах (DE). "ШТАПЛА УЛЬТРАШАЛЛ-ТЕХНИК ГмБХ" (DE). [22].

**Способ снятия остаточных напряжений в сварных соединениях металлов** отличается тем, что в процессе сварки на кристаллизующийся металл сварного соединения воздействуют ультразвуковыми колебаниями от ультразвукового излучателя, установленного на расстоянии 50—150 мм от оси сварного соединения в зависимости от режима сварки под углом  $10\text{--}20^\circ$  к плоскости сварного соединения. 2281192 (C2). А. И. Трофимов (RU), С. И. Минин (RU), В. Н. Деметьев (RU), С. В. Нелюбов (RU). Обнинский государственный технический университет атомной энергетики (RU). [22].

**Неплавящийся электрод для сварки погруженной дугой** содержит цилиндрический корпус с рабочей частью, вершина которой выполнена в форме тора. Отличается тем, что в рабочей части выполнены кольцевая проточка сферической формы, плавно переходящая в вершину рабочей части, и глухое цилиндрическое отверстие с полусферическим дном, которое достигает уровня горизонтальной оси кольцевой проточки. 2281193 (C2). А. Г. Астафьев (RU). ОАО "Корпорация "ИРКУТ" (RU) [22].

**Устройство для пайки деталей неравной толщины, изготовленных из меди и/или медных сплавов**, содержит машину для контактной точечной сварки и сварочные электроды. Отличается тем, что дополнительно введены самофлюсующийся припой, изолирующая пластина и приспособление для пайки электросопротивлением. 55316 (U1). В. Д. Кофнов (RU). ОАО "Концерн Энергомера" (RU). [22].

**Устройство для пайки деталей, изготовленных из меди и/или медных сплавов**, содержит машину для контактной точечной сварки и сварочные электроды. Отличается тем, что дополнительно введены самофлюсующийся припой и приспособление для пайки электросопротивлением. 55317 (U1). В. Д. Кофнов (RU). ОАО "Концерн Энергомера" (RU). [22].

**Устройство для механизированной дуговой сварки в углекислом газе** содержит источник сварочного тока, подающее устройство, сварочный узел, пульт дистанционного управления и блок управления, причем выход источника сварочного тока соединен с силовым входом подающего устройства, выход подающего устройства соединен со сварочным узлом, управляющий выход блока управления соединен с управляющим входом подающего устройства, а пульт дистанционного управления — с управляющим входом блока управления. Отличается тем, что источник сварочного тока выполнен в виде многофазного сварочного выпрямителя, содержащего многофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем (МТВП) с трехфазной

\* 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; U1 — свидетельство РФ на полезную модель.

первичной и  $m$ -фазной вторичной обмотками, управляемый  $m$ -фазный мостовой выпрямитель (ММВ) и блок управления выпрямителем, причем вторичная обмотка МТВП соединена с силовым входом ММВ, а выход ММВ — с управляющим входом блока управления выпрямителя, выход которого соединен с управляющим входом ММВ, причем силовой выход ММВ является также выходом источника сварочного тока. 55318 (U1). Н. А. Сингаевский (RU), С. Н. Великий (RU), А. С. Зубрилин (RU) и др. Дочернее ОАО "Электрогаз" ОАО "ГАЗПРОМ" (RU), ООО "Электроспектр" (RU). [22].

**Порошковая проволока** содержит металлическую оболочку и флюсовый слой из шихты, включающей диоксид циркония, кремний- и углеродсодержащие компоненты. Отличается тем, что в шихту флюсового слоя дополнительно введены оксиды алюминия, меди и вольфрама, в качестве кремнийсодержащего компонента выбран оксид кремния, в качестве углеродсодержащего компонента — графит при следующем соотношении компонентов (%): 50,97—63,99 графита; 15,10—20,39 диоксида циркония; 19,07—26,10 оксида кремния; 0,82—1,14 оксида вольфрама; 0,82—1,14 оксида меди; 0,19—0,27 оксида алюминия при соотношении флюсового слоя к оболочке 11,2—16,8%. 55319 (U1). В. М. Макиенко (RU), В. Г. Григоренко (RU), Д. В. Строителев (RU), И. О. Романов (RU). Дальневосточный государственный университет путей сообщения (RU). [22].

**Способ плазменной сварки алюминиевых сплавов**, при котором возбуждают дежурную дугу между катодом и соплом-анодом и основную дугу постоянного тока обратной полярности между деталью и соплом-анодом с образованием общего анодного пятна, а через канал сопла-анода подают плазмообразующий газ. Отличается тем, что анодное пятно располагают на внутренней кромке канала сопла-анода путем подачи на дежурную и основную дуги токов в соотношении  $I_{д}/I_{о} = 0,4 \div 3,2$ . 2005101727/02 (A). В. В. Авчинникова (RU). В. В. Алексеев (RU). [22].

**Способ образования стыковых сварных швов на трубах** при производстве трубных шпилек включает подготовительные операции на трубах к сварке, их сборку, последующую аргонодуговую сварку сопрягаемых концов труб с присадочным материалом посредством неплавящегося электрода. Отличается тем, что предварительно сопрягаемые концы труб калибруют, раздавая их из цилиндра в цилиндр, присадочный материал выбирают в форме кольца, сборку труб производят на оправке, располагая кольцо из присадочного материала между их торцами с обеспечением контакта, далее последовательно формируют сварные швы сплавлением материала труб с присадочным материалом по обеим сторонам кольца, после чего стык труб подогревают и производят его горячую штамповку на оправке, вызывая пластическую деформацию сварных швов и ОШЗ в условиях всестороннего сжатия и придавая внешнему диаметру стыка труб размер их исходного внешнего диаметра. 2005106769/02 (A). С. И. Козий (RU), Г. А. Батраев (RU), С. С. Козий (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU), ООО "Ремонтно-механический завод" (RU). [22].

**Способ диффузионной сварки разнородных материалов** через две промежуточные прокладки из материалов соединяемых деталей, при котором в последних выполняют глухие, а в промежуточных прокладках — сквозные отверстия и устанавливают в них соединительные стержни. Отличается тем, что для повышения качества соединения стержни изготавливают из материалов, идентичных материалам соединяемых деталей, и с головкой на одном конце, в промежуточных прокладках со стороны соединяемых деталей соосно отверстиям выполняют гнезда под головки стержней, устанавливают в них стержни, каждую

прокладку устанавливают в контакте с деталью из идентичного материала, выступающие концы стержней располагают в глухих отверстиях деталей из идентичного материала, причем глухие отверстия выполняют глубиной меньше длины выступающих концов соединительных стержней. 1381862 (A1). В. Г. Ломоносов, И. С. Любашенко, В. А. Исаев. [23].

**Способ контроля качества подготовки контактирующих поверхностей** преимущественно при диффузионной сварке деталей, при котором поверхность одной детали выполняют большей поверхности другой, детали контактируют, сдавливают и разводят, а о качестве подготовки судят по отпечатку меньшей поверхности на большей. Отличается тем, что для повышения точности контроля и упрощения процесса после сдавливания детали нагревают в окислительной среде до температуры 0,3—0,5 температуры сварки. 1381863 (A1). В. Г. Ломоносов, И. С. Любашенко, В. А. Исаев. [23].

**Способ лазерной резки и установка для его осуществления**. 1. *Способ лазерной резки*, при котором резку осуществляют лазерным излучением, формируют пятно нагрева, ограниченное дугами концентрических окружностей, при помощи аксикона и фокусирующей системы. Отличается тем, что для повышения производительности путем исключения перестройки оптической системы при резке кольцевых шайб по различным радиусам дуги формируют дискретно, при этом радиус и взаимное расположение дуг изменяют путем изменения длины и угла наклона образующей аксикона и фокусного расстояния фокусирующей системы, а резку осуществляют импульсным излучением. 2. *Установка для лазерной резки* содержит лазер и расположенные соосно с ним аксикон и фокусирующую систему. Отличается тем, что для повышения производительности путем исключения перестройки оптической системы при резке кольцевых шайб по различным радиусам аксикон выполнен в виде усеченного конуса. 1358236 (A1). В. В. Кургузов, А. В. Фабриков. [23].

**Устройство для ультразвуковой обработки материалов** содержит акустическую систему, включающую излучатель ультразвука с рабочим наконечником на торце, магнитострикционный преобразователь и концентратор, систему упругоинерционных элементов и подвижную втулку, при этом магнитострикционный преобразователь, соединенный с концентратором, система упругоинерционных элементов и подвижная втулка установлены в корпусе, причем система упругоинерционных элементов выполнена с возможностью регулирования усилия прижатия излучателя ультразвука к обрабатываемой поверхности и содержит закрепленные на торце магнитострикционного преобразователя для полного внутреннего отражения энергии излучателя ультразвука пружину, установленную вдоль продольной оси акустической системы, и фасонную накладку с изоляционным элементом, обладающим пружинными свойствами, а подвижная втулка сопряжена с акустической системой и расположена с противоположной от системы упругоинерционных элементов стороны магнитострикционного преобразователя. 2282525 (C1). Ю. В. Холопов. [23].

**Резак для кислородной резки** включает сопло, головку, корпус, в котором расположены трубки подогревающего кислорода, режущего кислорода и газовой, соединенные с соответствующими каналами головки и сопла. Отличается тем, что каналы подогревающего кислорода сопла выполнены в виде сопла Лавала и расположены под углом к продольным осям газовых каналов и соединены с последним. 55660. (U1). И. М. Захаров (RU), М. И. Сафин (RU), Ю. Б. Снегирев (RU) и др. ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU). [23].

Н. Посметная

## Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.620.192.47

**Влияние качества присадочной проволоки на порообразование при сварке титановых сплавов**. Муравьев В. И., Крупский Р. Ф., Физулаков Р. А. и др. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 3—8.

Исследовано влияние качества поверхности присадочной проволоки из сплава ВТ1-00 на порообразование при аргонодуговой сварке титановых сплавов ОТ4 и ВТ14. Установлено, что применение критерия количественной оценки адсорбированной влаги на поверхности кромок заготовки и сварочной проволоки некорректно:

но: необходимо учитывать глубину дефектного слоя. Приведены результаты экспериментов. Табл. 3. Ил. 8. Библиогр. 8.

УДК 621.791.55:669.715

**Системный анализ свариваемости алюминиевых сплавов**. Фролов В. А., Никитина Е. В. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 8—11.

Выявлены факторы и установлены основные физико-химические закономерности формирования структуры в различных зонах сварного соединения из алюминиевых сплавов. Установлено влияние технологических параметров процесса дуговой сварки на

формирование свойств сварных соединений, разработаны технологические рекомендации по получению сварных конструкций с заданным уровнем и стабильностью свойств. При анализе свариваемости предлагается использовать системный подход, при анализе свойств сварного соединения — выделять пять различных зон. В качестве параметра оптимизации процесса получения сварного соединения с требуемыми свойствами использовать метод ранжирования. Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791.927.2

**Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5+WC.** Гнусов С. Ф., Гнусов К. С., Дураков В. Г. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 12—15.

Исследовано влияние количества вводимого карбида вольфрама в быстрорежущую сталь и термической обработки на структуру и свойства композиционного покрытия сталь Р6М5 + WC. Установлено, что наиболее предпочтительным износостойким материалом является сталь Р6М5 + (20—30 %) WC после однократного отпуска. Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 6.

УДК 621.791.3.01

**Решение осесимметричной тепловой задачи с учетом напряженно-деформационного состояния при пайке конусных металлокерамических соединений.** Виноградов Б. А., Харичева Д. Л., Мещерякова Г. П. и др. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 16—21.

Исследован процесс лазерной пайки металлокерамических соединений. Рассмотрены вопросы математического моделирования теплофизических процессов, происходящих при лазерном нагреве конусных образцов. Приведены результаты исследования. Ил. 7. Библиогр. 7.

УДК 621.791.354.016.623

**Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов.** Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 22—24.

Приведены результаты исследования бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов в аргоне и вакууме. Показано, что использование при пайке в качестве неиспаряемого геттера пористого титана позволяет отказаться от применения паров магния, а предварительная подготовка поверхности в растворе кислотного очистителя "Дескалер ФФ" обеспечивает экологическую чистоту процесса. Ил. 6. Библиогр. 7.

УДК 621.791.14

**Фрикционная сварка алюминиевых лейнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления.** Поповцев В. А., Макаров Н. В., Шилло Г. В. и др. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 24—27.

Описан первый опыт разработки и промышленного внедрения в России фрикционной сварки для производства алюминиевых лейнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления в ГКНПЦ им. М. В. Хруничева. Ил. 7. Библиогр. 14.

УДК 621.791.75.042

**Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения.** Ильященко Д. П., Сапожков С. Б. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 28—31.

Рассмотрено разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Представлены результаты эксперимен-

тальных исследований величины потерь электродного металла на угар и разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Установлена зависимость величины разбрызгивания от сварочного тока. Предложен способ снижения величины разбрызгивания с помощью применения защитных покрытий. Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 13.

УДК 621.791:621.643.1/2

**Применение установок серии "ЭЛТЕРМ УИН" при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.** Рачков С. А., Горяинова Л. П. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 31—32.

Разработаны индукционная нагревательная установка для подогрева зоны сварки кольцевых соединений трубопроводов и мобильный комплекс для нагрева наружной поверхности трубопровода перед нанесением полимерных покрытий в трассовых условиях. Ил. 3.

УДК 621.791.75.04

**К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки.** Сидлин З. А. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 32—34.

Отмечается значительное отличие электродов для ручной дуговой сварки различных производителей по сварочным, технологическим характеристикам и ценовым показателям. Предлагается проводить технологический аудит квалифицированными специалистами производственных мощностей и применяемых технологий предприятий-изготовителей с целью обеспечения стабильности качества производимых электродов. Библиогр. 14.

УДК 621.791.762

**Технология и оборудование стыковой сварки дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов.** Сидякин В. А. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 35—40.

Приведено описание оборудования и технологического процесса стыковой сварки дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов. Приведены режимы сварки, способы контроля и контролируемые параметры, оборудование для контроля и управления процессом сварки. Ил. 8. Библиогр. 8.

УДК 621.791:669.018.29

**Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов.** Оголихин В. М., Шемелин С. Д. — Сварочное производство. 2007. № 12. С. 41—45.

На основе технологии сварки взрывом разработан пакетный способ получения композиционных многослойных листовых материалов. На основе данного способа разработана пакетно-рулонная технология сварки взрывом протяженных многослойных тонколистовых заготовок. Общим в модификациях пакетно-рулонной технологии является сборка заготовок в пакет с нанесением защитного слоя, сворачивание пакета в рулон, установка рулона вертикально и размещение соосно зарядов взрывчатого вещества с последующим их инициированием. Приведены примеры изготовления тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов. Ил. 9. Библиогр. 3.

## Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2007, 12

**Filler wire quality effect on the pore-formation at titanium alloys welding.** Muraviov V.I., Krupsky R.F., Fizulakov R.A., Demyshev P.G., Agalakov Yu.S. P. 3—8.

The BT1-00 filler wire surface quality effect on the pore-formation at argon-arc welding of the OT4 and BT14 titanium alloys is studied. It is established that application of the quantitative assessment criterion adsorbed moisture on the billet edge surface and welding wire is incorrect as it is necessary to consider depth of the imperfect layer. Experimental results are described.

**Systems analysis application to evaluate aluminium alloys weldability under conditions of arc welding.** Frolov V.A., Nikitina Ye.V. P. 8—11.

Factors are shown up and basic physical-and-chemical mechanism of structure formation in different areas of aluminium welded joints is described. Arc welding technical data influence on the welded joints properties formation is established, technological recommendations on obtaining welded constructions of the properties' set level and stability are worked out. Analyzing weldability, it is suggested to apply systems approach; and analyzing welded joint properties it is suggested to single out five different areas. Ranking method is to

be used as an optimization parameter of welded joint obtaining process with required properties.

**Vacuum electron-beam welding deposition of the carbide steels. Part 2: Characteristic properties of the steel P6M5-WC coatings structure and properties formation.** Gnyusov S.F., Gnyusov K.S., Durakov V.G. P. 12—15.

Influence of the tungsten carbide quantity introduced into high-speed steel and of heat treatment on the structure and properties of the composite coating of steel P6M5+WC is studied. It is established that the most preferable wear-resistant substance is steel P6M5+ (20–30 %) WC after one-pass drawback.

**Solution of the axially symmetric heat problem considering mode of deformation at soldering conic metal-and-ceramic joints.** Vinogradov B.A., Kharicheva D.L., Mescheryakova G.P., Denisova A.A., Kudryavtsev A.O. P. 16—21.

Metal-and-ceramic joints laser soldering is studied. Mathematical modelling of the thermal-physic processes occurring at laser heating of the conic specimens is covered. Research results are described.

**Environmentally appropriate technique of aluminium alloys non-fluxing soldering.** Storchay Ye.I., Lantushenko L.S. P. 22—24.

Research results of the aluminium alloys non-fluxing soldering in argon and vacuum are given. It is shown that porous titanium usage as a non-flashing getter allows for refusing from magnesium vapour use; and surface preliminary preparation in the bath of acidic purifier "» enables environmentally appropriate process.

**Metal-composite high-pressure cylinder aluminium liners friction welding.** Polovtsev V.A., Makarov N.V., Shillo G.V., Sabantsev A.V., Smirnova T.N., Shtrikman M.M. P. 24—27.

For the first time practice of development and commercializing in Russia of the friction welding for manufacturing metal-composite high-pressure cylinders aluminium liners at Khronichev SRPSC is described.

**Shielded hand arc welding spitting and ways to its decrease.** Ilyaschenko D.P., Sapozhnikov S.B. P. 28—31.

Shielded hand arc welding spitting is considered. Experimental results of investigating electrode metal loss quantity on waste and

spitting at shielded hand arc welding. Spitting quantity dependence on the welding current is established. Spitting quantity decrease method using protective coatings is suggested.

**Use of the Elterm Win Series installations for the main pipelines welds heat treatment.** Rachkov S.A., Goryainova L.P. P. 31—32.

Inductive heating installation to heat welding area of the ring-shaped pipe unions and a portable complex to heat pipe external surfaces before applying polymeric coatings under trass conditions are developed.

**On the quality problem of the modern domestic electrodes for hand arc welding.** Sidlin Z.A. P. 32—34.

Special attention is paid to the differences in electrodes for hand arc welding by different manufacturers: welding, processing characteristics and cost. It is suggested to put into practice technological audit of manufacturer's production capacity and technologies by skilled technicians, aimed at ensuring electrode quality stability.

**Techniques and equipment for the butt-seam low pressure arc welding of adapting pipes from dissimilar metals.** Sidyakin V.A. P. 35—40.

Equipment and butt-seam low pressure arc welding process technology is described for the adapting pipes from dissimilar metals. Welding modes, control methods and parameters under control, equipment to control; and regulate the welding process are covered.

**Explosion welding of thin sheet slugs: palletized or roll arrangement of the welded elements.** Ogolikhin V.M., Shemelin S.D. P. 41—45.

Based on the explosion welding process technology a packet technique of obtaining composite multi-layer sheet materials is developed. On its base a packet-roll explosion welding practice of lengthy multi-layer blanks is designed. Blanks assembly in a packet covering by a protective layer, rolling the packet, uprighting the roll and the explosive charge lining and initiation afterwards are general in packet-roll technology modification. Examples of blanks manufacturing using packet and roll location of the welded elements are given.



# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РАСКРОЯ МЕТАЛЛА



**EWM** HIGHTEC<sup>®</sup> WELDING  
ПРОСТО ЛУЧШЕ



**TELWIN**



**DALEX**



**ELMATECH AG**  
electronics machines technologies

Оборудование для дуговых способов сварки

Установки для контактной сварки

Установки для плазменной резки



**KOIKE**

Машины для термической резки



**Mazak**  
Your Partner for Innovation

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](http://WWW.DUKON.RU)

Публикуется на правах рекламы

# Алфавитный указатель статей за 2007 г.

- Аверченко В. А., Головин С. И., Попович Л. Г., Пузряков А. А., Пузряков А. Ф.** — Напыление сверхвысокомолекулярного полиэтилена для защиты нефтегазового и химического оборудования от воздействия агрессивных сред — № 7.
- Агеева Н. Г.** — Методология обеспечения конкурентных преимуществ предприятий авиастроения — № 1.
- Алпеева Т. В., Емельянов В. М., Котельников А. А.** — Операции при разработке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов — № 6.
- Алпеева Т. В., Котельников А. А.** — Программирование перемещений при роботизированной сварке трубчатых элементов — № 7.
- Алпеева Т. В., Котельников А. А.** — Роботизированное производство сварных ферм для мачтовых сооружений — № 1.
- Анахов С. В., Сингер К., Пыкин Ю. А., Шакуров С. А., Магушкин А. В.** — Исследование поверхности реза при термической разделительной резке стали 09Г2С — № 7.
- Антонов А. А., Чернышев Г. Н., Овчинников В. В., Замалетдинов Э. Р.** — Остаточные напряжения в сварных соединениях алюминиевого сплава 1460 — № 4.
- Ананьев С. П., Коротков В. А., Головизнин Б. Л., Козлов В. В.** — Совершенствование технологий наплавки крановых колес — № 1.
- Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б., Трухан М. Н., Финогентов О. Г., Кораблев Н. В., Корольков П. М.** — Объемная термическая обработка реактора способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего производства — № 6.
- Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б., Чичеров С. Н., Калганов А. Н., Лазарева В. П., Корольков П. М.** — Технология местной термической обработки сварных соединений реактора Р-1-201 с использованием комбинированного нагрева — № 2.
- Бажанов А. В., Федоров С. А., Пронин Н. С., Фролов В. А.** — Низкотемпературная пайка узлов радиоэлектронной аппаратуры сфокусированным световым лучом — № 5.
- Бажанов А. В., Фролов В. А., Федоров С. А., Пронин Н. С.** — Разработка специализированного светолучевого оборудования для низкотемпературной пайки — № 11.
- Бардин В. М., Борисов Д. А.** — Оптимизация режима работы высокочастотных сварочных аппаратов по критерию минимума потерь — № 2.
- Беликов А. Б.** — Неомедленная проволока ОК AristoRod™ для МАГ-сварки — № 4.
- Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.** — Прогресс сварочного производства Республики Корея — № 8.
- Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.** — Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике — № 2.
- Бирюкова Н. П., Батов Г. П., Котова И. Н.** — Программа подготовки и сертификации специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений — № 10.
- Варуха Е. Н.** — Классификация способов контактного зажигания дуги при сварке проволоками малого диаметра — № 3.
- Василенко Н. Н., Федоров А. Л.** — Организация учебной практики студентов Тольяттинского государственного университета специальности 150202 — № 11.
- Виноградов Б. А., Харичева Д. Л., Мещерякова Г. П., Денисова А. А., Кудрявцев А. О.** — Решение осесимметричной тепловой задачи с учетом напряженно-деформационного состояния при пайке конусных металлокерамических соединений — № 12.
- Волков Д. В., Щукин М. В.** — Проектирование автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации — № 8.
- Волков С. С.** — Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс — № 5.
- Гайтов Б. Х., Кашин Я. М.** — Многофазный сварочный аппарат — № 1.
- Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.** — Плазменная наплавка (обзор) — № 2.
- Гнюсов С. Ф., Дураков В. Г., Гнюсов К. С.** — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 1. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей — № 11.
- Гнюсов С. Ф., Гнюсов К. С., Дураков В. Г.** — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5+WC — № 12.
- Говорин Е. В.** — Установка для метано-кислородного напыления упрочняющих покрытий из порошковых материалов — № 4.
- Голов Р. С.** — Конкурсные закупки как барьер реализации потенциала энергосбережения в бюджетной сфере — № 10.
- Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Чжан Цин** — Формирование наплавленных слоев с использованием импульсно-периодического излучения — № 8.
- Гущин А. Н., Пачурин Г. В.** — Механические характеристики сварных соединений из титана при циклическом нагружении — № 2.
- Дмитрик В. В., Ляпунов А. М.** — Закономерности скольжения в структуре металла шва сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей — № 1.
- Доронин Ю. В.** — Некоторые особенности конструирования формирующих слоев подкладочных устройств для одноострой дуговой сварки сталей — № 3.
- Дубов А. А.** — Опыт стандартизации новых технологий и методов неразрушающего контроля во взаимодействии с Международным институтом сварки — № 12.
- Дубов А. А., Колокольников С. М.** — Оценка контроля сварных соединений методом магнитной памяти металла — № 3.
- Дубов А. А.** — IV Международная научно-техническая конференция "Диагностика оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла" — № 4.
- Завалинич Д. А., Стеклов И. О., Дзюба О. В., Лозовой В. Г., Щеголев В. А.** — Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов — № 4.
- Зенин В. В., Бокарев Д. И., Козинцев О. Г.** — Дистанционный метод контроля трещин в материалах и сварных швах — № 2.
- Зенин В. В., Бокарев Д. И., Козинцев О. Г.** — Устройство для дистанционной регистрации трещин в материалах и сварных швах — № 1.
- Иванайский В. В., Кривочуров Н. Т., Иванайский Е. А.** — Контроль температуры плавления многокомпонентной шихты при индукционной наплавке — № 9.
- Иванников А. В.** — Пути повышения стабильности процесса и снижения потерь электродного металла на разбрызгивание при сварке в CO<sub>2</sub> — № 3.
- Иванов А. Н.** — 8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века" — № 9.
- Иванов А. Н.** — 12-я Международная специализированная выставка "Металлэкспо — 2006" — № 5.
- Иванов А. Н.** — Международная выставка "Интертул. Экспосварка. Мера — 2006" — № 3.
- Иванов А. Н.** — Российский национальный промышленный форум "Промышленные технологии для России" — № 10.
- Иванов А. Н.** — 3-я Международная выставка "Российская неделя контрольно-измерительного оборудования" — № 2.
- Иванова Н. Л.** — 9-я Международная практическая конференция "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки" — № 11.
- Игнатов А. П., Макаренко В. Д., Бакеев Р. Б., Шевцов В. Л.** — Исследование процесса утилизации отходов меди методом электрошлакового переплава — № 8.
- Ильященко Д. П., Сапожков С. Б.** — Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения — № 12.
- Каблов Е. Н.** — ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ — 75 лет — № 6.
- Кавришвили З. О., Чернов А. В., Бурдаков С. М.** — Оценка качества составляющих процесса ручной дуговой сварки электродами методами — № 3.
- Калин Б. А., Мамедова Т. Т., Федотов В. Т., Севрюков О. Н., Исаенкова М. Г., Перлович Ю. А., Тимошин С. Н., Синельников Л. П., Кузнецов В. Р.** — Пайка сплавов циркония аморфным быстрозакаленным ленточным припоем — № 10.
- Капустин О. Е., Вышемирский Е. М.** — Методология аттестации и сертификации оборудования для газовой и плазменной резки, применяемого при ремонтных работах на газотранспортных предприятиях — № 11.

**Капустин О. Е., Вышемирский Е. М., Севостьянов С. П.** — Повышение безопасности и качества процессов газовой резки и сварки в системе предприятия ОАО "Газпром" — № 8.

**Кархин В. А., Левченко А. М., Хомич П. Н.** — Методика ускоренного определения концентрации диффузионного водорода в наплавленном металле — № 1.

**Климов А. С., Герасимов А. А., Анциборов А. Н., Гончаров М. С.** — Обеспечение качества контактной точечной сварки за счет стабилизации вторичного тока при износе сварочных электродов — № 5.

**Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Крампит А. Г.** — Управление процессом каплепереноса при сварке в  $CO_2$  длинной дугой — № 6.

**Константинов В. М., Губанов А. С.** — Влияние легирующих элементов стальной проволоки на структуру и свойства покрытий при электродуговом напылении — № 5.

**Корольков П. М.** — Современные методы термической обработки сварных соединений магистральных нефтегазопроводов — № 1.

**Коротков В. А.** — 2-я Уральская конференция "Сварка — реновация — триботехника" — № 5.

**Коротков В. А., Михайлов И. Д., Бабайлов Д. С.** — Исследование наплавленного слоя опорных роликов машин непрерывного литья заготовок — № 1.

**Коротков В. А., Шекуров А. В.** — Исследование плазменной закалки — № 8.

**Красильников С. Б., Сонин Г. И.** — Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов — № 9.

**Крошкин В. А., Курило В. И.** — Новые нормативно-технические документы по сварке сплавов на железоникелевой и никелевой основе и ремонту отслоений двухслойных сталей — № 4.

**К 100-летию А. А. Алова** — № 6.

**Кудрявцев А. Ю.** — Автоматизация сварочного процесса в стройиндустрии при внедрении линии "АЛИКС-2601" — № 3.

**Кудрявцев Ю. И.** — Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях "АЛИКС" — № 2.

**Курьянинова Е. И., Ерофеев В. А.** — Оптимизация технологических параметров лазерной газопорошковой наплавки на основе математического моделирования — № 4.

**Кучук-Яценко С. И., Швец Ю. В., Дидковский А. В., Чвертко П. Н., Швец В. И., Микитин Я. И.** — Технология и оборудование для контактной стыковой сварки железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями через аустенитную вставку — № 7.

**Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., Наконечный А. А.** — Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг — № 9.

**Латыпова Е. Ю., Фурманов С. М., Цумарев Ю. А., Емельянов С. Н.** — Модернизация системы охлаждения электродов для контактной точечной сварки — № 8.

**Латыпова Е. Ю., Цумарев Ю. А.** — Анализ критериев оценки смачивающей способности материалов при испытаниях на паеамость — № 2.

**Лебедев В. А.** — Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки — № 11.

**Лебедев В. А.** — Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки — № 8.

**Лебедев В. А., Пичак В. Г., Романюк В. С., Кузьмин И. С., Букин И. С.** — Полуавтомат блочной модульной конструкции для сварки, наплавки и резки — № 4.

**Левин Э. Л., Сайфуллин Р. Н.** — Особенности электроконтактной приварки стальной ленты к нормализованным и цементованным деталям — № 10.

**Лукина Н. Ф., Аниховская Л. И., Деметьева Л. А., Петрова А. П., Тюменева Т. Ю.** — Клеи и клеящие материалы для изделий авиационной техники — № 5.

**Люшинский А. В., Ефанов А. А., Чуклинов С. В., Билык А. В., Константинов В. В., Соколов Ю. А., Просвирина В. П., Братчук С. Д.** — Установка УДС-1 для диффузионной сварки — № 6.

**Макаренко Н. Г., Вивденко Ю. Н., Резин С. А.** — Особенности восстановления высоконагруженных деталей с поверхностными дефектами — № 6.

**Марченко А. Е.** — Процессный подход в системах менеджмента качества электродного производства по МС ISO серии 9000:2000 — № 6.

**Мастенко В. Ю.** — Высокопроизводительная механизированная двухэлектродная наплавка проволоками под флюсом с

подачей дополнительной заземленной проволоки в зону горения дуги — № 8.

**Матвеев Н. В.** — Механизм формирования единичного участка вакуумного несплошного покрытия — № 10.

**Матвеев Н. В.** — Получение несплошных износостойких покрытий в вакууме с применением формирующего сепаратора — № 5.

**Мелюков В. В., Корепанов А. Г., Репкин Д. А., Плышевский М. И.** — Управление тепловым режимом комбинированного процесса сварки и локальной термоциклической обработки кольцевых соединений — № 9.

**Метлицкий В. А.** — Порошковые проволоки для дуговой сварки и наплавки чугуна — № 11.

**Милютин В. С., Ездаков Ю. Б., Сивоплясов А. Г., Морозов А. А., Едков С. Н., Костюк Д. Е., Беспалов В. И., Цыплаков А. И., Латышев А. А., Федотов А. В.** — Технологические комплекты источник + полуавтомат с микропроцессорным управлением для сварки неповоротных стыков трубопроводов — № 9.

**Мозок В. М., Лебедев В. А.** — Ремонт крупногабаритных деталей с использованием управляемой импульсной подачи электродной проволоки — № 6.

**Муравьев В. И., Крупский Р. Ф., Физулаков Р. А., Демьшев П. Г., Агалаков Ю. С.** — Влияние качества присадочной проволоки на порообразование при сварке титановых сплавов — № 12.

**Мухин В. Ф., Еремин Е. Н.** — Однофазный сварочный выпрямитель с релейной обратной связью — № 9.

**Мчедлов С. Г.** — Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление — № 10.

**Мчедлов С. Г.** — Поршневые кольца с плазменным покрытием — № 7.

**Нафиков М. З., Загиров И. И.** — Исследование процесса износа ролика-электрода при электроконтактной наплавке проволокой — № 3.

**Новиньков Н. Н.** — Пневмогидравлическая система управления промышленным адаптивным сварочным роботом — № 5.

**Новицкий А. Ф., Крюков Г. М., Анисимов В. Н., Князев М. Ю.** — Создание сварочного комплекса для замоналичивания кромок гофрированных стенок корпусов трансформаторов нового поколения серии ТМГ — № 9.

**Обращение Союза работодателей машиностроения России к предприятиям и организациям машиностроительного комплекса РФ (открытое письмо)** — № 5.

**Овчаренко Ю. Н.** — Методика оценки малоциклового усталости сварных соединений на основе энергетического критерия J-интеграла — № 2.

**Оголихин В. М., Шемелин С. Д.** — Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов — № 12.

**Орсики Л. С., Федоров А. А.** — Оценка эффективности и ранжирование инвестиционных проектов — № 3.

**Орсики Л. С., Федоров А. А.** — Экспертные оценки для организации процесса управления инвестиционными ресурсами предприятия — № 8.

**Павлючков С. Е., Рубцов Е. А., Шилов В. В.** — Опыт взаимодействия вуза и коммерческой фирмы в подготовке специалистов в области информационных технологий — № 3.

**Панин В. Н.** — Особенности сварки гидротехнических конструкций и оборудования — № 3.

**Панин В. Н.** — Расчетные методы анализа параметров термического цикла электрошлаковой сварки — № 7.

**Панов В. И.** — Универсальная методика ремонтной сварки крупногабаритных массивных конструкций тяжелого машиностроения — № 4.

**Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки** — № 1-12.

**Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных технологий** — № 5-7, 9.

**Петров А. П., Галкин В. И., Соколов В. С.** — Практика непрерывной информационно-компьютерной подготовки студентов-технологов — № 2.

**Пешков А. В., Селиванов В. Ф., Петренко В. Р.** — Азотирование и его влияние на свойства титанового сплава ВТ6 — № 4.

**Пещерова Т. Н., Козлов Г. В.** — Зависимость прочности клеевых соединений от конструктивных особенностей и технологических параметров их формирования — № 4.

**Плышевский М. И., Тюрин В. Н., Семенов А. Н.** — Комплексная оценка свойств сварных соединений труб из сплава циркония с содержанием 2,5 % ниобия, выполненных сваркой трением — № 8.

**Половцев В. А., Макаров Н. В., Шилло Г. В., Сабанцев А. В., Смирнова Т. Н., Штрикман М. М.** — Фрикционная сварка алюминиевых лейнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления — № 12.

**Попков А. М.** — Методика расчета параметров режима дуговой сварки толстых листов встык двусторонними швами — № 5.

**Прибытков Г. А., Храмогин М. Н., Дураков В. Г., Коржова В. В.** — Покрытия, полученные электронно-лучевой наплавкой композиционными порошками карбид титана — связка из быстрорежущей стали Р6М5 — № 8.

**Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О., Кровяков К. С.** — Практика использования электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении — № 5.

**Рачков С. А., Горяинова Л. П.** — Применение установок серии "ЭЛТЕРМ УИН" при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов — № 12.

**Раямки П., Кархин В. А., Хомич П. Н.** — Определение основных характеристик температурного поля для оценки типа затвердевания металла шва при сварке плавлением — № 2.

**Решанов В. А.** — Механизированная и автоматическая сварка двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м<sup>3</sup> в условиях Заполярья — № 9.

**Родионов А. М.** — Оценка методов расчета численности специалистов организационных структур управления предприятиями — № 11.

**Савинов А. В., Атаманюк В. И., Лапин И. Е., Лысак В. И., Маркин А. Б.** — Влияние состава защитного газа на тепловые условия работы неплавящихся электродов — № 6.

**Сайфуллин Р. Н.** — Прочность сцепления и пористость покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций — № 9.

**Сахно Л. И., Федоров П. Д., Сахно О. И.** — Двухмостовой сварочный выпрямитель с однофазным многообмоточным трансформатором — № 5.

**Сенченков И. К., Червинко О. П., Турык Е., Рябцев И. А.** — Исследование термомеханического состояния цилиндрических деталей, наплавленных слоями аустенитной и мартенситной сталей — № 8.

**Сидлин З. А.** — К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки — № 12.

**Сидлин З. А.** — Международная конференция по сварочным материалам — № 10.

**Сидлин З. А.** — Отчетное собрание Ассоциации "Электрод" — № 3.

**Сидоров В. П., Ковтунов А. И., Чермашенцева Т. В., Бородин М. Н.** — Особенности процесса автоматической аргонодуговой сварки сталей с алюминиевым покрытием — № 7.

**Сидякин В. А.** — Технология и оборудование стыковой сварки дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов — № 12.

**Содержание зарубежных журналов по сварке** — № 1—12.

**Соколов Г. Н., Зорин И. В., Цурихин С. Н., Лысак В. И.** — Кинетика процесса электрошлаковой наплавки и структура наплавленного металла на основе алюминидов никеля — № 7.

**Старостин Н. П., Аммосова О. А.** — Контактная сварка полимерных труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Математическое моделирование теплового процесса — № 4.

**Степанов Ю. А., Вахрушев О. В., Трофимова А. Н.** — Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений — № 10.

**Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С.** — Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов — № 12.

**Суслов Ан. А.** — 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК" — № 12.

**Суслов Ан. А.** — 3-я Специализированная выставка нанотехнологий и наноматериалов "NTMEX — 2006" — № 4.

**Суслов Ан. А.** — 4-я Международная специализированная выставка и конференция "Покрытия и обработка поверхности — 2007" — № 7.

**Суслов Ан. А.** — 6-я Международная специализированная выставка "POCCBAPKA/WELDEX — 2006" — № 1.

**Табакин Е. М., Семидоцкий И. И., Узиков В. А., Казаков Ю. В.** — Влияние времени существования сварочной ванны на качество сварного шва при лазерной сварке тонкостенных оболочек — № 11.

**Тарасов А. Н., Панфилов В. А., Тилипалов В. Н.** — Технологические особенности изготовления тонколегированных твердосплавных паяных резцов — № 3.

**Ушакова Е.** — Инновационные технологии фирмы "Скансоник" в области соединения лазером — новая глава в развитии лазерной техники — № 6.

**Фатеев А. Е.** — Некоторые вопросы интенсификации процессов в отечественном производстве — № 4.

**Фатеев А. Е.** — Предпринимательские возможности научных и производственных структур инновационной сферы в новой экономической среде — № 6.

**Федоренко Г. А., Трофименко О. В.** — Влияние тороидального вихря на эффективность газовой защиты зоны сварки — № 11.

**Федянин В. С.** — Применение порошкообразных прослоек при контактной сварке металлов с высокой электропроводностью — № 10.

**Феклистов С. И.** — Статистический термодинамический анализ структурного состава сварных соединений аустенитных сталей — № 10.

**Фролов В. А., Никитина Е. В.** — Системный анализ свариваемости алюминиевых сплавов — № 12.

**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") — № 4.

**Фурман Е. Л., Горин М. В.** — Влияние легирующих элементов на склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин — № 1.

**Хорев А. И.** — Комплексное легирование и термическая обработка титановых сплавов — № 6.

**Хромченко Ф. А.** — Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов. Ч. 1. Сварные соединения трубопроводов I категории — № 6.

**Хромченко Ф. А.** — Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов. Ч. 2. Сварные соединения трубопроводов II—IV категорий — № 7.

**Царьков А. В., Раевский В. А.** — Оптимизация режимов сварки трубных досок теплообменных аппаратов методами компьютерного моделирования — № 1.

**Цукуров О. А.** — Национальные стандарты, регламентирующие требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов (на основе международных стандартов ИСО 3834:2005) — № 11.

**Чернявских В. А., Казанцев К. А.** — Бюджетирование заказа производства в машиностроении на примере ОАО "УралНИТИ" — № 7.

**Чигарев В. В., Грановский Н. А., Кондрашов К. А., Макаренко Н. А.** — Мощный возбудитель-стабилизатор сварочной дуги — № 7.

**Штрикман М. М.** — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (аналитический обзор). Ч. 1 — № 9.

**Штрикман М. М.** — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор). Ч. 2. Совершенствование инструмента и технологических схем сварки — № 10.

**Штрикман М. М.** — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор). Ч. 3. Промышленное применение процесса сварки трением с перемешиванием — № 11.

**Штрикман М. М.** — 60-й конгресс Международного института сварки — № 10.

**Шутченко А. П., Малахов Д. В.** — Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия — № 9.

\* \* \*

**А. П. Аммосову** — 70 лет — № 3.  
**В. Н. Ластовице** — 60 лет — № 11.  
**Д. Л. Поправке** — 80 лет — № 10.  
**И. К. Походне** — 80 лет — № 3.  
**А. Ф. Пузрякову** — 70 лет — № 12.  
**В. Ф. Хоруну** — 70 лет — № 9.  
**И. Н. Шиганову** — 60 лет — № 4.

- Аверченко В. А. — № 7.  
 Агалаков Ю. С. — № 12.  
 Агеева Н. Г. — № 1.  
 Алпеева Т. В. — № 1, 6, 7.  
 Аммосова О. А. — № 4.  
 Ананьев С. П. — № 1.  
 Анахов С. В. — № 7.  
 Анисимов В. Н. — № 9.  
 Аниховская Л. И. — № 5.  
 Антонов А. А. — № 4.  
 Анциборов А. Н. — № 5.  
 Атаманюк В. И. — № 6.
- Бабайлов Д. С. — № 1.  
 Бабкин В. А. — № 2, 6.  
 Бакеев Р. Б. — № 8.  
 Бажанов А. В. — № 5, 11.  
 Бардин В. М. — № 2.  
 Батов Г. П. — № 10.  
 Великов А. Б. — № 4.  
 Березников Ю. И. — № 4.  
 Бернадский В. Н. — № 2, 8.  
 Беспалов В. И. — № 9.  
 Билык А. В. — № 6.  
 Бирюкова Н. П. — № 10.  
 Бокарев Д. И. — № 2.  
 Борисов Д. А. — № 2.  
 Бородин М. Н. — № 7.  
 Братчук С. Д. — № 6.  
 Букин И. С. — № 4.  
 Бурдаков С. М. — № 3.
- Варуха Е. Н. — № 3.  
 Василенко Н. Н. — № 11.  
 Вахрушев О. В. — № 10.  
 Вивденко Ю. Н. — № 6.  
 Виноградов Б. А. — № 12.  
 Волков Д. В. — № 8.  
 Волков С. С. — № 5.  
 Вышемирский Е. М. — № 8, 11.
- Гайтов Б. Х. — № 1.  
 Галкин В. И. — № 2.  
 Герасимов А. А. — № 5.  
 Гладкий П. В. — № 2.  
 Гнюсов К. С. — № 11, 12.  
 Гнюсов С. Ф. — № 11, 12.  
 Говорин Е. В. — № 4.  
 Голов Р. С. — № 10.  
 Головизнин Б. Л. — № 1.  
 Головин С. И. — № 7.  
 Гончаров М. С. — № 5.  
 Горин М. В. — № 1.  
 Горяинова Л. П. — № 12.  
 Грановский Н. А. — № 7.  
 Григорьянц А. Г. — № 8.  
 Губанов А. С. — № 5.  
 Гуцин А. Н. — № 2.
- Дементьева Л. А. — № 5.  
 Демьшев П. Г. — № 12.  
 Денисова А. А. — № 12.  
 Дзюба О. В. — № 4.  
 Дидковский А. В. — № 7.  
 Дмитрик В. В. — № 1.  
 Доронин Ю. В. — № 3.  
 Дубов А. А. — № 3, 4, 12.  
 Дураков В. Г. — № 8, 11, 12.
- Едков С. Н. — № 9.  
 Ездаков Ю. Б. — № 9.  
 Емельянов В. М. — № 6.  
 Емельянов С. Н. — № 8.  
 Еремин Е. Н. — № 9.  
 Ерофеев В. А. — № 4.  
 Ефанов А. А. — № 6.
- Завалинич Д. А. — № 4.  
 Загиров И. И. — № 3.  
 Замалетдинов Э. Р. — № 4.  
 Зенин В. В. — № 1, 2.  
 Зорин И. В. — № 7.
- Иванайский В. В. — № 9.
- Иванайский Е. А. — № 9.  
 Иванников А. В. — № 3.  
 Иванов А. Н. — № 2, 3, 5, 9, 10.  
 Иванова Н. Л. — № 11.  
 Игнатов А. П. — № 8.  
 Ильина И. И. — № 4.  
 Ильященко Д. П. — № 12.  
 Исаенкова М. Г. — № 10.
- Каблов Е. Н. — № 6.  
 Кавришвили З. О. — № 3.  
 Казаков Ю. В. — № 11.  
 Казанцев К. А. — № 7.  
 Калганов А. Н. — № 2.  
 Калинин Б. А. — № 10.  
 Капустин О. Н. — № 8, 11.  
 Кархин В. А. — № 1, 2.  
 Кашин Я. М. — № 1.  
 Климов А. С. — № 5.  
 Князев М. Ю. — № 9.  
 Ковтунов А. И. — № 7.  
 Козлов Г. В. — № 4.  
 Козлов В. В. — № 1.  
 Козинцев О. Г. — № 2.  
 Колокольников С. М. — № 3.  
 Кондрашов К. А. — № 7.  
 Константинов В. В. — № 6.  
 Константинов В. М. — № 5.  
 Кораблев Н. В. — № 6.  
 Корепанов А. Г. — № 9.  
 Коржова В. В. — № 8.  
 Корольков П. М. — № 1, 2, 6.  
 Коротков В. А. — № 1, 5, 7, 8.  
 Костюк Д. Е. — № 9.  
 Котельников А. А. — № 1, 6, 7.  
 Котова И. Н. — № 10.  
 Князьков А. Ф. — № 6.  
 Крампит А. Г. — № 6.  
 Крампит Н. Ю. — № 6.  
 Красильников С. Б. — № 9.  
 Кривочуров Н. Т. — № 9.  
 Кровяков К. С. — № 5.  
 Крошкин В. А. — № 4.  
 Крупский Р. Ф. — № 12.  
 Крюков Г. М. — № 9.  
 Кудрявцев А. О. — № 12.  
 Кудрявцев А. Ю. — № 3.  
 Кудрявцев Ю. И. — № 2.  
 Кузнецов В. Р. — № 10.  
 Кузьмин И. С. — № 4.  
 Курило В. И. — № 4.  
 Курьянинова Е. И. — № 4.  
 Кучук-Яценко В. С. — № 9.  
 Кучук-Яценко С. И. — № 7.
- Лавров А. И. — № 2, 6.  
 Лазарева В. П. — № 2.  
 Лантушенко Л. С. — № 12.  
 Лапин И. Е. — № 6.  
 Латыпова Е. Ю. — № 2, 8.  
 Латышев А. А. — № 9.  
 Лебедев В. А. — № 4, 6, 7, 8, 11.  
 Левин Э. Л. — № 10.  
 Левченко А. М. — № 1.  
 Ловырев П. Б. — № 2, 6.  
 Лозовой В. Г. — № 4.  
 Лукина Н. Ф. — № 5.  
 Лысак В. И. — № 6, 7.  
 Люшинский А. В. — № 6.  
 Ляпунов А. М. — № 1.
- Макаренко В. Д. — № 8.  
 Макаренко Н. А. — № 7.  
 Макаренко Н. Г. — № 6.  
 Макаров Н. В. — № 12.  
 Маковецкая О. К. — № 2, 8.  
 Малахов Д. В. — № 9.  
 Мамедова Т. Т. — № 10.  
 Маркин А. Б. — № 6.  
 Марченко А. Е. — № 6.  
 Мاستенко В. Ю. — № 8.
- Матвеев Н. В.** — № 5, 10.  
 Матушкин А. В. — № 7.  
 Мелюков В. В. — № 9.  
 Метлицкий В. А. — № 11.  
 Мещерякова Г. П. — № 12.  
 Микитин Я. И. — № 7.  
 Милютин В. С. — № 9.  
 Мисюров А. И. — № 8.  
 Михайлов И. Д. — № 1.  
 Мозок В. М. — № 6.  
 Морозов А. А. — № 9.  
 Муравьев В. И. — № 12.  
 Мухин В. Ф. — № 9.  
 Мчедлов С. Г. — № 7, 10.
- Наконечный А. А. — № 9.  
 Нафиков М. З. — № 3.  
 Никитина Е. В. — № 12.  
 Новиньков Н. Н. — № 5.  
 Новицкий А. Ф. — № 9.
- Овчаренко Ю. Н. — № 2.  
 Овчинников В. В. — № 4.  
 Оголихин В. М. — № 12.  
 Орскик Л. С. — № 3, 8.
- Павлючков С. Е. — № 3.  
 Панин В. Н. — № 3, 7.  
 Панов В. И. — № 4.  
 Панфилов В. А. — № 3.  
 Пачурин Г. В. — № 2.  
 Пашков И. Н. — № 4.  
 Переплетчиков Е. Ф. — № 2.  
 Перлов Ю. А. — № 10.  
 Петренко В. Р. — № 4.  
 Петров А. П. — № 2.  
 Петрова А. П. — № 5.  
 Пешков А. В. — № 4.  
 Пещерова Т. Н. — № 4.  
 Пичак В. Г. — № 4.  
 Плаунов В. П. — № 4.  
 Плышевский М. И. — № 8, 9.  
 Половцев В. А. — № 12.  
 Попков А. М. — № 5.  
 Попович Л. Г. — № 7.  
 Посметная Н. В. — № 1-12.  
 Прибытков Г. А. — № 8.  
 Пронин Н. С. — № 5, 11.  
 Просвиринов В. П. — № 6.  
 Пузряков А. А. — № 7.  
 Пузряков А. Ф. — № 7.  
 Пыкин Ю. А. — № 7.
- Радченко М. В. — № 5.  
 Радченко В. Г. — № 5.  
 Раевский В. А. — № 1.  
 Рачков С. А. — № 12.  
 Размяки П. — № 2.  
 Резин С. А. — № 6.  
 Репкин Д. А. — № 9.  
 Решанов В. А. — № 9.  
 Родионов А. М. — № 11.  
 Романюк В. С. — № 4.  
 Рубцов Е. А. — № 3.  
 Рязцев И. А. — № 2, 8.
- Сабанцев А. В. — № 12.  
 Савинов А. В. — № 6.  
 Сайфуллин Р. Н. — № 9, 10.  
 Сапожков С. Б. — № 12.  
 Сахацкий А. Г. — № 9.  
 Сахно Л. И. — № 5.  
 Сахно О. И. — № 5.  
 Севостьянов С. П. — № 8.  
 Севрюков О. Н. — № 10.  
 Селиванов В. Ф. — № 4.  
 Сенченков И. К. — № 8.  
 Семенов А. Н. — № 8.  
 Семидоцкий И. И. — № 11.  
 Сивоплясов А. Г. — № 9.  
 Сидлин З. А. — № 3, 10, 12.  
 Сидоров В. П. — № 7.
- Сидякин В. А. — № 12.  
 Сингер К. — № 7.  
 Синельников Л. П. — № 10.  
 Смирнова Т. Н. — № 12.  
 Соколов В. С. — № 2.  
 Соколов Г. Н. — № 7.  
 Соколов Ю. А. — № 6.  
 Сонин Г. И. — № 9.  
 Старостин Н. П. — № 4.  
 Стеклов О. И. — № 4.  
 Степанов Ю. А. — № 10.  
 Сторчай Е. И. — № 12.  
 Суслов Ан. А. — № 1, 4, 7, 12.
- Табакин Е. М. — № 11.  
 Тарасов А. Н. — № 3.  
 Тилипалов В. Н. — № 3.  
 Тимошин С. Н. — № 10.  
 Трофименко О. В. — № 11.  
 Трофимов А. Н. — № 10.  
 Трухан М. Н. — № 6.  
 Турьк Е. — № 8.  
 Тюменева Т. Ю. — № 5.  
 Тюрин В. Н. — № 8.
- Узиков В. А. — № 11.  
 Ушакова Е. — № 6.
- Фатеев А. Е. — № 4, 6.  
 Федоренко Г. А. — № 11.  
 Федоров А. А. — № 3, 8.  
 Федоров А. Л. — № 11.  
 Федоров П. Д. — № 5.  
 Федоров С. А. — № 5, 11.  
 Федотов А. В. — № 9.  
 Федотов В. Т. — № 10.  
 Федянин В. С. — № 10.  
 Феклистов С. И. — № 10.  
 Физулаков Р. А. — № 12.  
 Финогентов О. Г. — № 6.  
 Фролов В. А. — № 5, 11, 12.  
 Фролов В. П. — № 4.  
 Фурман Е. Л. — № 1.  
 Фурманов С. М. — № 8.
- Харичева Д. Л. — № 12.  
 Хомич П. И. — № 1, 2.  
 Хорев А. И. — № 6.  
 Храмогин М. Н. — № 8.  
 Хромченко Ф. А. — № 6, 7.
- Царьков А. В. — № 1.  
 Цукуров О. А. — № 11.  
 Цумарев Ю. А. — № 2, 8.  
 Цурихин С. Н. — № 7.  
 Цыплаков А. И. — № 9.
- Чертко П. Н. — № 7.  
 Червико О. П. — № 8.  
 Чермашенцева Т. В. — № 7.  
 Чернов А. В. — № 3.  
 Чернышев Г. Н. — № 4.  
 Чернявских В. А. — № 7.  
 Чжан Цин — № 8.  
 Чигарев В. В. — № 7.  
 Чичеров С. Н. — № 2.  
 Чуклинов С. В. — № 6.
- Шакуров С. А. — № 7.  
 Швеф В. И. — № 7, 9.  
 Швеф Ю. В. — № 7.  
 Шевцов В. Л. — № 8.  
 Шевцов Ю. О. — № 5.  
 Шехуров А. В. — № 7, 8.  
 Шемелин С. Д. — № 12.  
 Шилло Г. В. — № 12.  
 Шиллов В. В. — № 3.  
 Штрикман М. М. — № 9—12.  
 Шутченко А. П. — № 9.
- Щеголев В. А. — № 4.  
 Щукин М. В. — № 8.

## А. Ф. ПУЗРЯКОВУ — 70 лет

Исполнилось 70 лет профессору кафедры "Технологии ракетно-космического машиностроения" МГТУ им. Н. Э. Баумана, д-ру техн. наук Анатолию Филипповичу Пузрякову.

А. Ф. Пузряков родился 24 ноября 1937 г. в г. Ново-Каширске Московской области. В 1967 г. окончил МВТУ им. Н. Э. Баумана по специальности "Летательные аппараты", где прошел трудовой путь от инженера до начальника отдела. С 1992 по 2005 г. являлся директором и научным руководителем НПП "Гиперон".

В 1971 г. А. Ф. Пузряков защитил кандидатскую диссертацию, а в 1999 г. стал доктором технических наук. С 1971 г. он является руководителем научного направления "Плазменные технологии в машиностроении". Под его руководством защищены 5 кандидатских диссертаций.

А. Ф. Пузряков — автор 155 печатных работ, 19 авторских свидетельств, 2 патентов и учебных пособий "Теоретические основы технологии плазменного напыления" и "Газотермическое напыление".

За большой вклад в развитие науки и подготовку высококвалифицированных кадров А. Ф. Пузряков награжден орденом "Знак Почета", медалью Федерации космонавтики РФ им. летчика-космонавта СССР Ю. А. Гагарина, знаком Минвуза СССР "За отличные успехи в работе".

В 1999 г. за разработку и внедрение системы экологически чистых технологий нанесения покрытий многофункционального назначения ему присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

*Сердечно поздравляем Анатолия Филипповича с юбилеем,  
желаем здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!*

МГТУ им. Н. Э. Баумана,  
редколлегия и редакция журнала "Сварочное производство"

*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".



Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 15.10.2007. Подписано в печать 21.11.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 11,02. Заказ 23/07.

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".