



# Сварочное производство

8 (873)  
Август  
2007

## УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

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

## Редакционная коллегия:

Гл. редактор В. А. Казаков

Зам. гл. редактора Н. В. Посметная

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| В. К. Драгунов   | О. Н. Севрюков  |
| А. С. Зубченко   | З. А. Сидлин    |
| Е. А. Калашников | Н. В. Смирнов   |
| В. И. Лукин      | В. А. Судник    |
| В. П. Лялякин    | В. А. Фролов    |
| Г. А. Меньшиков  | В. А. Хаханов   |
| В. Н. Панин      | Ф. А. Хромченко |
| И. Н. Пашков     | О. А. Цукуров   |
| В. В. Пешков     | И. Н. Шиганов   |
| А. И. Рымкевич   |                 |

## Редакция:

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

Электронная верстка: И. С. Павлова  
Дизайн обложки: Е. С. Благовидов  
Редактор-переводчик Е. О. Егорова  
Редактор-обозреватель Ан. А. Суслов  
Корректор 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 Woodhead  
Publishing Ltd. (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное  
производство" возможна при обязательном пись-  
менном согласовании с редакцией журнала.

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

В случае обнаружения полиграфического брака ре-  
дакция журнала просит обращаться в типографию.  
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по  
делам печати, телерадиовещания и средств массо-  
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-7778.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ  
изданий для публикации трудов соискателей ученых  
степеней.

За содержание рекламных материалов ответствен-  
ность несет рекламодатель.

Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Мастенко В. Ю. — Высокопроизводительная механизированная двухэлектрод-  
ная наплавка проволоками под флюсом с подачей дополнительной заземлен-  
ной проволоки в зону горения дуги \_\_\_\_\_ 3
- Сенченков И. К., Червинко О. П., Турык Е., Рябцев И. А. — Исследование тер-  
момеханического состояния цилиндрических деталей, наплавленных слоями  
аустенитной и мартенситной сталей \_\_\_\_\_ 6
- Прибытков Г. А., Храмогин М. Н., Дураков В. Г., Коржова В. В. — Покрытия, по-  
лученные электронно-лучевой наплавкой композиционными порошками кар-  
бид титана — связка из быстрорежущей стали Р6М5 \_\_\_\_\_ 14
- Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Чжан Цин — Формирование наплавленных  
слоев с использованием лазерного импульсно-периодического излучения \_\_\_\_\_ 18
- Латыпова Е. Ю., Фурманов С. М., Цумарев Ю. А., Емельянов С. Н. — Модер-  
низация системы охлаждения электродов для контактной точечной сварки \_\_\_\_\_ 22
- Коротков В. А., Шекуров А. В. — Исследование плазменной закалки \_\_\_\_\_ 25

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Лебедев В. А. — Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной  
проволоки \_\_\_\_\_ 30
- 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 \_\_\_\_\_ 35
- Капустин О. Е., Вышемирский Е. М., Севостьянов С. П. — Повышение безо-  
пасности и качества процессов газовой резки и сварки в системе предприятий  
ОАО "Газпром" \_\_\_\_\_ 37
- Игнатов А. П., Макаренко В. Д., Бакеев Р. Б., Шевцов В. Л. — Исследование  
процесса утилизации отходов меди методом электрошлакового переплава \_\_\_\_\_ 39
- Волков Д. В., Щукин М. В. — Проектирование автоматизированной системы  
электронного архива конструкторской документации \_\_\_\_\_ 44

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Орлик Л. С., Федоров А. А. — Экспертные оценки для организации процесса  
управления инвестиционными ресурсами предприятия \_\_\_\_\_ 51

### ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

- Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. — Прогресс сварочного производства в  
Республике Корея \_\_\_\_\_ 53

### БИБЛИОГРАФИЯ

- Содержание зарубежных журналов по сварке \_\_\_\_\_ 58
- Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства  
и патенты СССР на изобретения в области сварки \_\_\_\_\_ 60
- Рефераты опубликованных статей \_\_\_\_\_ 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

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>V. K. Dragunov</b>    | <b>O. N. Sevryukov</b>   |
| <b>A. S. Zubchenko</b>   | <b>Z. A. Sidlin</b>      |
| <b>E. A. Kalashnikov</b> | <b>N. V. Smirnov</b>     |
| <b>V. I. Lukin</b>       | <b>V. A. Sudnik</b>      |
| <b>V. P. Lyalyakin</b>   | <b>V. A. Frolov</b>      |
| <b>G. A. Menshikov</b>   | <b>V. A. Khavanov</b>    |
| <b>V. N. Panin</b>       | <b>F. A. Khromchenko</b> |
| <b>I. N. Pashkov</b>     | <b>O. A. Tsukurov</b>    |
| <b>V. V. Peshkov</b>     | <b>I. N. Shiganov</b>    |
| <b>A. I. Rymkevich</b>   |                          |

## Editorial staff:

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

Electron galley: *I. S. Pavlova*  
Cover design: *E. S. Blagovidov*  
Editor-translator *E. O. Egorova*  
Editor-reviewer *An. A. Suslov*  
Proof-reader *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](mailto:svarka@mashin.ru)  
[Http://www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)

In case of printing waste you should appeal to the printing establishment.

Reprinting of materials from "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is possible with writing permission of editorial staff.

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

*The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Woodhead Publishing Ltd." (Great Britain).*

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.

Registration certificate ПИ N 77-7778.

Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation Committee for publication of competitors works for scientific degrees.

## CONTENTS

### SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Mastenkov V. Yu.** — Highly productive mechanized bielectrode build-up submerged arc welding feeding auxiliary earth wire into the arc burning zone \_\_\_\_\_ 3
- Senchenko I. K., Chervinko O. P., Turyk E., Ryabtsev I. A.** — Study of the thermo-mechanical state of the cylindrical parts padded by austenitic and martensitic steels \_\_\_\_\_ 6
- Pribytkov G. A., Khramogin M. N., Durakov V. G., Korzhova V. V.** — Coatings electron-beam surfaced by composite powders of titanium carbide — binder from the rapid machining steel P6M5 \_\_\_\_\_ 14
- Grigoryants A. G., Misurov A. I., Chzhan Tsin** — Formation of pads by pulse periodic laser emission \_\_\_\_\_ 18
- Latypova Ye. Yu., Furmanov S. M., Tsumarev Yu. A., Yemelyanov S. N.** — Spot contact welding die cooling system update \_\_\_\_\_ 22
- Korotkov V. A., Shekurov A. V.** — Study of plasma hardening \_\_\_\_\_ 25

### PRODUCTION SECTION

- Lebedev V. A.** — Peculiar properties of steels pulsed welding \_\_\_\_\_ 30
- Plyshevsky M. I., Tyurin V. N., Semionov A. I.** — Property integrated assessment of the welded joints of pipes from zirconium alloy containing 2,5 % of niobium, conducted by friction welding \_\_\_\_\_ 35
- Kapustin O. Ye., Vyshemirsky Ye. M., Sevostyanov S. P.** — Gas cutting and welding processes safety and quality upgrading in the "Gasprom" JSC enterprises system \_\_\_\_\_ 37
- Ignatov A. P., Makarenko V. D., Bakeev R. B., Shevtsov V. L.** — Study of the copper wastes recovery by electroslog remelting \_\_\_\_\_ 39
- Volkov D. V., Schukin M. V.** — Design of a computer-aided system for design documentation electronic repository \_\_\_\_\_ 44

### ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Orsik L. S., Fiodorov A. A.** — Expert evaluation to arrange plant investment resources management \_\_\_\_\_ 51

### FOREIGN EXPERIENCE

- Bernadsky V. N., Makovskaya O. K.** — Advancement in welding production of Republic of Korea \_\_\_\_\_ 53

### BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding \_\_\_\_\_ 58
- RF patents**, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding \_\_\_\_\_ 60
- Abstracts** of the published articles \_\_\_\_\_ 64

**В. Ю. МАСТЕНКО, канд. техн. наук  
ОАО НПО "ЦНИИТМАШ" (Москва)**

## **Высокопроизводительная механизированная двухэлектродная наплавка проволоками под флюсом с подачей дополнительной заземленной проволоки в зону горения дуги**

Среди многообразных способов нанесения защитных покрытий различного назначения на рабочие поверхности деталей при их изготовлении и ремонте в машиностроении заметное место занимают способы автоматической наплавки, в том числе под флюсом. Основными характеристиками способов наплавки являются доля участия основного металла в наплавленном и производительность процесса, определяющие экономические показатели процесса. Из-за большой доли участия основного металла в наплавленном для обеспечения требуемых свойств последнего необходимо производить наплавку защитного покрытия в два и более слоев, что существенно снижает производительность и способствует появлению значительных деформаций самого изделия. Особенно большие трудности возникают при наплавке тел вращения небольших диаметров (100—200 мм): возможно стекание жидких шлаковой и металлической ванн с наплавливаемых поверхностей, что приводит к ухудшению качества формирования валиков и появлению недопустимого брака.

Применение для нанесения защитных покрытий способа наплавки одной проволокой под флюсом ограничено из-за большой доли участия основного металла в наплавленном. Этот способ вызывает существенные затруднения при нанесении защитных покрытий на полые изделия с незначительной толщиной стенок и малого диаметра (трубы, патрубки и т. д.) вследствие значительной глубины проплавления основного металла и больших деформаций.

Применяют различные варианты наплавки проволочным электродом под флюсом цилиндрических изделий малого диаметра [1, 2]. Однако эти способы не обеспечивают необходимую производительность наплавки и хорошее качество наплавленного слоя. Кроме того, при всех приведенных способах наплавки значительное тепловложение в основной металл приводит к образованию в ЗТВ закалочных структур, вызывающих появление трещин, увеличению деформаций и существенному ухудшению эксплуатационных свойств изделий.

Для уменьшения доли участия основного металла в наплавленном, обеспечения хоро-

шего формирования валика и необходимой производительности процесса предложено производить наплавку двумя проволоками с подачей дополнительной подогретой проволоки в хвостовую часть ванны. Однако этот способ не получил широкого применения из-за незначительного уменьшения доли участия основного металла в наплавленном и необходимости применять для разогрева проволоки дополнительный источник теплоты. Приведенные недостатки можно частично компенсировать, используя наплавку проволочными электродами с применением добавочного электрода, находящегося под потенциалом изделия. В работах [3, 4] отмечены преимущества предложенного способа наплавки, однако не представлены в полной мере результаты исследований, что существенно затрудняет применение этого способа при нанесении защитных покрытий.

В НПО "ЦНИИТМАШ" усовершенствован данный способ наплавки двумя проволочными электродами с подачей в зону горения дуги дополнительной заземленной проволоки под флюсом (ДЭНЗП)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> А. с. 1660885 (СССР).

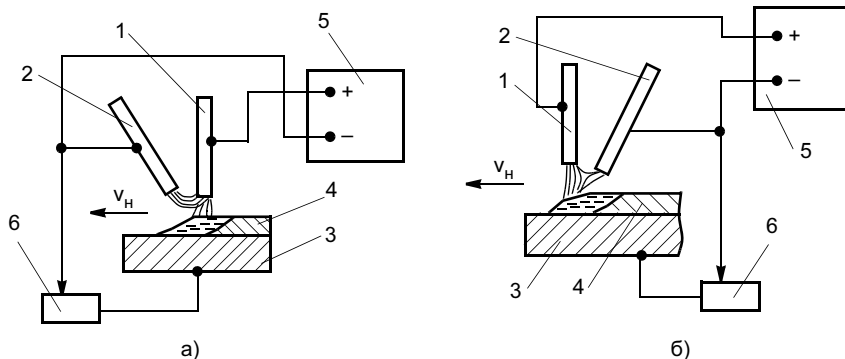


Рис. 1. Схема двухэлектродной наплавки проволоками под флюсом с одной заземленной проволокой ( $v_n$  — скорость наплавки): 1 — основная проволока; 2 — дополнительная заземленная проволока; 3 — основной металл; 4 — наплавленный металл; 5 — источник питания; 6 — балластный реостат

[5]. Проведены исследования разных вариантов подачи дополнительной проволоки с применением при этом разных сочетаний диаметров основной и дополнительной заземленной проволок. При сравнительных исследованиях дополнительную заземленную проволоку подавали как перед основной проволокой — по ходу наплавки (первый способ — рис. 1, а), так и после (второй способ — рис. 1, б), т. е. непосредственно в жидкую металлическую ванну.

Наплавку выполняли проволоками Св-07Х25Н13 диаметром (5 + 5) мм (диаметры основной и дополнительной заземленной проволок по 5 мм соответственно) под флюсом ОФ-10 на сталь СтЗсп. Режим наплавки:  $I_d = 600$  А,  $U_d = 30$  В и  $v_{д.п} = 35$  м/ч, скорость наплавки  $v_n = 25$  м/ч в первом случае и 33 м/ч — во втором. Геометрические характеристики валиков при подаче дополнительной заземленной проволоки перед основной и после при скорости наплавки 25 м/ч: ширина валика 24 и 20 мм, высота валика 2,6 и 3,0 мм, глубина проплавления 3,6 и 6,5 мм, доля участия основного металла в наплавленном 49 и 59 % соответственно. При  $v_n = 33$  м/ч ширина и высота валика, глубина проплавления и степень перемешивания составляли 19, 2,6, 3,2 мм и 53 % соответственно при наплавке первым спо-

собом и 16, 3,1, 6,5 и 65 % — при наплавке вторым способом (рис. 2). Таким образом, наиболее целесообразно дополнительную проволоку подавать перед основной.

Предварительные эксперименты показали, что при двухэлектродной наплавке подача дополнительной заземленной проволоки перед основной по ходу наплавки способствует лучшему внешнему формированию валиков с большей их шириной (на 20—25 %), меньшей высотой (на 15—20 %) и долей участия основного металла в наплавленном (на 20—25 %) по сравнению с вариантом подачи дополнительной проволоки после основной при равных прочих условиях.

Дальнейшие исследования проводили при подаче дополнительной заземленной проволоки

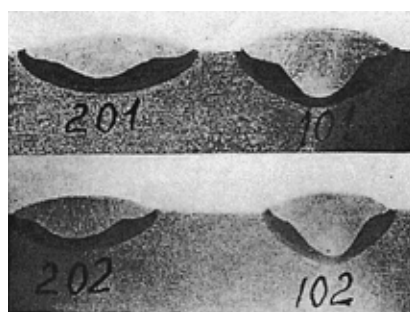


Рис. 2. Поперечное сечение валиков в зависимости от варианта подачи дополнительной проволоки и скорости наплавки (кл. 101, 201 —  $v_n = 25$  м/ч; кл. 102, 202 — 33 м/ч; кл. 201, 202 — наплавка первым способом, кл. 101, 102 — вторым)

перед основной по ходу наплавки. ДЭНЗП выполняли под флюсом ОФ-10 с применением различных сочетаний диаметров основной и дополнительной проволок Св-07Х25Н13: (3 + 3), (4 + 4) и (5 + 5) мм. При этом сварочный ток увеличивали на 20—25 %, напряжение и скорость наплавки оставались такими же, как при наплавке с одним проволочным электродом диаметром, равным диаметру основной проволоки.

В результате проведенных экспериментов установили, что при наплавке на оптимальных режимах приведенных сочетаний диаметров основной и заземленной проволок ширина валика, его высота и доля участия основного металла в наплавленном составляли 14—16, 4—5 мм и 18—25 % при сочетании диаметров проволок (3 + 3) мм; 18—22, 4—5 мм и 22—28 % — при (4 + 4) мм; 25—28, 4,5—5,0 мм и 25—30 % — при (5 + 5) мм соответственно. При этом производительность процесса составляла 10—12, 15—18 и 20—22 кг/ч соответственно для приведенных сочетаний.

Кроме того, исследовали влияние основных параметров процесса (сварочного тока, напряжения, скорости наплавки и подачи дополнительной проволоки) ДЭНЗП при различных сочетаниях диаметров основной и дополнительной проволок. Так, при наплавке проволоками диаметром (3 + 3) мм сварочный ток, напряжение, скорость наплавки и подачи дополнительной проволоки изменялись в пределах 300—450 А, 26—36 В, 18—26 и 25—45 м/ч соответственно, при этом ширина валика составляла 10—17 мм, высота — 4,0—6,5 мм, а доля участия основного металла в наплавленном — 10—40 %. При использовании проволок диаметром (4 + 4) мм параметры процесса ДЭНЗП изменялись в пределах 450—750 А, 30—40 В, 20—50 и 25—55 м/ч соответственно, что



обусловило изменение высоты и ширины валика, степени перемешивания металла в пределах 4—7, 14—30 мм и 20—50 % соответственно. Производительность процесса наплавки изменялась от 8 до 16 кг/ч в первом случае и от 12 до 22 кг/ч – во втором. Во всех случаях в проведенных исследованиях угол между дополнительной проволокой и основным металлом составлял 45°.

Следует отметить, что качество формирования валиков существенно зависит от угла подачи  $\alpha$  дополнительной проволоки и расстояния  $a$  от точки пересечения осей электродов между собой и наплавляемой поверхностью. При этом угол можно изменять в пределах 5—75°, а расстояние  $a$ , зависящее от диаметров используемых проволок и значения тока, проходящего через основной и дополнительный проволоочные электроды, – в пределах 10 мм.

Приведенные характерные для этого способа наплавки параметры ( $a$  и  $\alpha$ ) существенно влияют на основные характеристики валиков, особенно на долю участия основного металла в наплавленном, которая может изменяться в пределах 5—65 %.

Существенным преимуществом процесса наплавки ДЭНЗП под флюсом являются значительное увеличение производительности и возможность изменять в широких пределах долю участия основного металла в наплавленном. При использовании разных сочетаний диаметров основной и заземленной проволок и параметров режима производительность процесса может увеличиваться от 30 до 100 % по сравнению с наплавкой одной проволокой диаметром, равным диаметру основной.

Этот способ также позволяет уменьшить величину тепловложения в наплавляемый металл, поскольку расплавление дополнительной проволоки происходит за счет теплоты, выделяющейся при горении дуги между ней и ос-

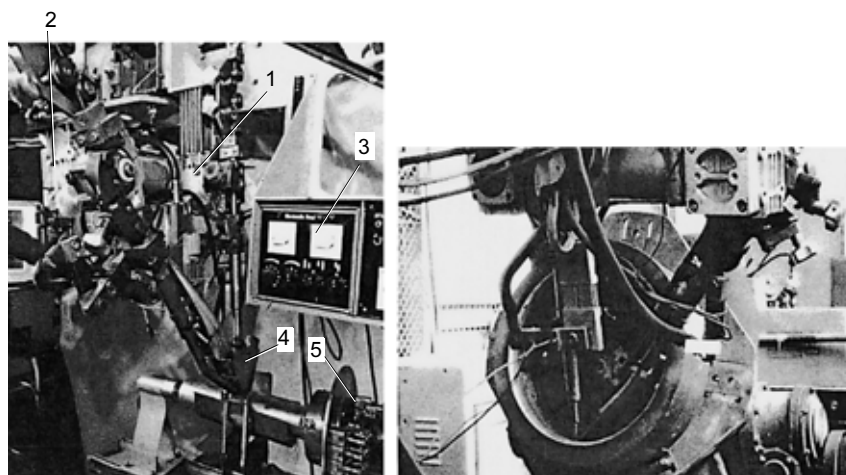


Рис. 3. Установка для двухэлектродной наплавки под флюсом с подачей дополнительной заземленной проволоки (а) и наплавка внутренней поверхности трубы (б): 1 — подающий механизм основной проволоки; 2 — подающий механизм дополнительной заземленной проволоки; 3 — пульт управления; 4 — флюсовая воронка; 5 — привод вращения детали

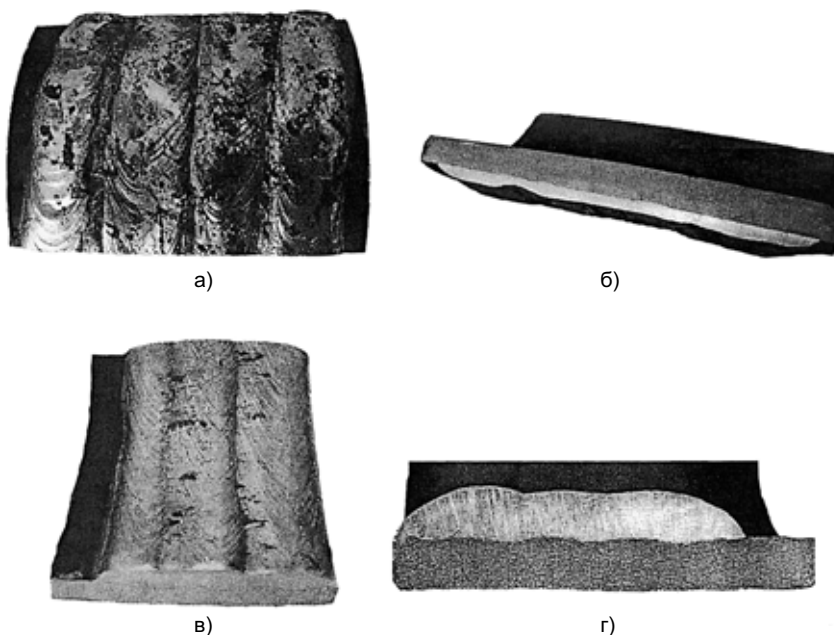


Рис. 4. Наплавленная поверхность (а, в) и макрошлиф (б, г), полученные при наплавке наружной поверхности трубы размером 96 × 6 мм (а, б) и внутренней поверхности торца трубы размером 200 × 6 мм

новной проволокой, а следовательно, уменьшаются количество теплоты, вводимой в основной металл, и размеры ЗТВ. Предварительные исследования показали, что время пребывания металлической ванны при температуре выше 1200 °С на 80—120 % меньше при наплавке предложенным способом, чем при наплавке одной проволокой под флюсом. При этом эффективное тепловложение снижается на 60—80 %, что

существенно уменьшает ЗТВ и величину остаточных напряжений.

Для реализации технологии ДЭНЗП разработана установка, состоящая из двух подающих механизмов (рис. 3). Регулирование параметров режима наплавки (сварки) осуществляют с помощью двух самостоятельных блоков управления приводами, работа которых синхронизирована. В качестве источника питания можно применять выпрямитель, обеспе-

чивающий необходимый сварочный ток.

С применением разработанных технологий<sup>2</sup> и оборудования производили антикоррозионную наплавку наружной поверхности образцов трубы диаметром 96 мм с толщиной стенки 6 мм, а также наплавляли внутреннюю поверхность торцев трубы диаметром 200 мм с толщиной стенки 6 мм. Макрошлифы биметаллических соединений приведены на рис. 4.

Таким образом, полученные предварительные данные позволяют рекомендовать способ ДЭНЗП для сварки сталей, склонных к образованию в металле шва и ЗТВ закалочных структур, при нанесении специальных слоев с требуемыми свойствами в

один проход, обеспечивая при этом небольшую толщину слоя, а также для наплавки изделий малого диаметра (до 100 мм) и труб с толщиной стенки 4 мм и более по наружной поверхности и внутренней поверхности торцев труб диаметром более 200 мм.

## ВЫВОДЫ

1. Способ двухэлектродной проволоочной наплавки с подачей дополнительной заземленной проволоки под флюсом обеспечивает хорошее формирование валиков с незначительной долей участия основного металла в наплавленном, повышает производительность и уменьшает тепловложение в наплавляемый металл.

2. Разработанный способ наплавки и соответствующее оборудо-

дование можно рекомендовать для нанесения защитных покрытий на круглые изделия малого диаметра, включая трубные изделия с толщиной стенки 5 мм и более.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибродуговая наплавка чугуновых деталей в потоке воздуха / П. А. Норин, И. Р. Пацкевич, Г. Д. Куликов и др. // Автоматическая сварка. 1967. № 3. С. 56—57.
2. Анис А. Е., Гутман Л. М. Особенности двухэлектродной наплавки // Автоматическая сварка. 1977. № 12. С. 57—58.
3. Конищев Б. П., Каманин В. И. Зависимость скорости подачи присадочной проволоки от ее нагрева // Автоматическая сварка. 1977. № 8. С. 49—51.
4. Ригдал С., Каряссон Л., Остгарен Л. Сварка под флюсом "Synergie Cold Wire (SCW™)" — Синергетическая присадочная проволока // Svetsare. 2002. № 2. С. 28—33.
5. Лукашек Я., Карель Л. Способ автоматической наплавки высоколегированных сталей и сплавов под флюсом // Автоматическая сварка. 1959. № 12. С. 3—12.

<sup>2</sup> А. с. 1731508 (СССР).

УДК 621.791.019:539.376

**И. К. СЕНЧЕНКОВ**, д-р физ.-мат. наук, **О. П. ЧЕРВИНКО**, канд. физ.-мат. наук (Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины),  
**Е. ТУРЫК**, канд. техн. наук (Instytut Spawalnictwa, Польша),  
**И. А. РЯБЦЕВ**, канд. техн. наук (ИЭС им. Е. О. Патона)

## Исследование термомеханического состояния цилиндрических деталей, наплавленных слоями аустенитной и мартенситной сталей

Наплавка деталей в настоящее время является широко применяемой многоцелевой технологией. Как показывает производственный опыт, в процессе эксплуатации наплавленных деталей в наплавленном металле в результате циклического механического или термомеханического воздействия возможно появление дефектов усталостного характера [1]. Например, из практики эксплуатации наплавленных валков горячей прокатки, роликов машин непрерывной разливки заготовок (МНРЗ) и других цилиндрических деталей известно, что через некоторый период работы в результате циклического термомеханического воздействия в наплавленном металле образуются кольцевые тре-

щины термической усталости. Одна из возможных причин их появления — химическая и структурная неоднородность в металле наплавленных валиков или в местах их перекрытия [2]. Кроме того, значительную роль в образовании таких трещин играют величина и характер распределения остаточных напряжений в соседних валиках и слоях при винтовой многослойной наплавке цилиндрических поверхностей.

В работе [3] с использованием теории растущих вязкопластических тел проведено численное моделирование термомеханических процессов при наплавке роликов МНРЗ слоями из аустенитной стали. Однако в производственной практике значи-

тельно чаще приходится производить наплавку слоев из твердых и износостойких мартенситных сталей. При этом для предотвращения образования трещин в наплавленном металле применяют предварительный подогрев и наплавку подслоя из пластичной стали [1].

Цель данной работы — анализ распределения остаточных напряжений и деформаций в наплавленных слоях в зависимости от технологии дуговой многослойной наплавки цилиндрических деталей (роликов, валков и др.) с учетом структурных превращений в материале детали и наплавленных слоев. Исследовали термомеханические процессы при наплавке роликов с применением элементов теории растущих термовязкопластических тел [3] в сочетании с численным методом конечных элементов (МКЭ). Для расчета фаз применяли термокинетические диаграммы [4, 5]. Термомеханическое поведение материала описывается с помощью унифицированной модели течения Боднера—Партома [6, 7].

**Условия и режим наплавки.** Рассматривали остаточное НДС ролика из стали 35ХМ, наплавленного двумя слоями хромоникелевой стали 1Х18Н10 с аустенитной структурой и одним (наружным) слоем стали 3Х13 (30Х13). Расположение слоев I—III и валиков 1—10 в меридиональном сечении ролика в системе координат  $Orz\varphi$  приведено на схеме (рис. 1).

При расчете считали, что первый и второй наплавленные слои имеют чисто аустенитную структуру. Ролик имеет форму цилиндра диаметром  $D = 0,126$  м и длиной  $L = 0,250$  м. Толщины всех слоев одинаковы и равны 2,3 мм. Наплавку производят на ролик, предварительно подогретый до температуры  $\theta$ , равной 300 и 200 °С. Диаметр проволоки 1,2 мм. Параметры режима наплавки: ток 190 А, напряжение дуги 23,6 В, скорость наплавки 40 см/мин, количество введенной теплоты 6,7 кДж/см.

Процесс наплавки моделировали на основе теории наращивания деформируемых тел [3, 6—8]. Такой подход ранее применялся для моделирования процессов сварки [9, 10]. Неосесимметричную трехмерную в общем случае задачу спиральной наплавки рассматривали как осесимметричную, т. е. наплавку валика заменяли наращиванием рабочей поверхности цилиндрической детали (ролика) за

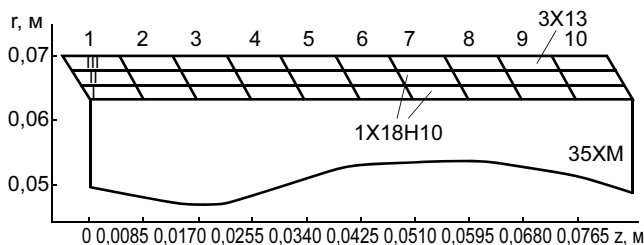


Рис. 1. Схема наплавки

счет эквивалентных кольцевых валиков. Временной интервал между наложениями валиков, их размеры, температуру материала, время охлаждения выбирали из условия эквивалентности геометрических, энергетических и других параметров технологического процесса. В частности, интервал наложения валиков принимали равным 45 с — времени выполнения одного кольцевого шва.

Математическая постановка задачи включает следующие соотношения:

уравнения равновесия и теплопроводности

$$\operatorname{div} \sigma = 0; \quad (1)$$

$$c_v \dot{\theta} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} \theta) + Q, \quad (2)$$

где тензор напряжений  $\sigma$  имеет компоненты  $\sigma_{ij}$ ,  $i, j = r, z, \varphi$ ;

определяющие уравнения основного материала

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon_{ij}^{\theta ph}, \quad \varepsilon_{kk}^p = 0;$$

$$s_{ij} = 2G(e_{ij} - \varepsilon_{ij}^p); \quad \sigma_{kk} = 3K_V(\varepsilon_{kk} - \varepsilon_{kk}^{\theta ph});$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = D_0 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(\bar{K}_0 + K)^2}{3J_2} \right]^n \right\} s_{ij} / J_2^{1/2}, \quad \varepsilon_{ij}^p(0) = 0;$$

определяющие уравнения для наплавленного материала

$$s_{ij} = 2G_f(e_{ij} - \varepsilon_{ij}^p - \varepsilon_{ij}^*),$$

$$\sigma_{kk} = 3K_{Vf}(\varepsilon_{kk} - \varepsilon_{kk}^{\theta ph} - \varepsilon_{kk}^*); \quad (3)$$

уравнение эволюции для параметра изотропно-го упрочнения

$$\dot{K} = m_1(\bar{K}_1 - K)\dot{w}^p, \quad K(0) = 0. \quad (4)$$

Здесь  $G, G_f, K_V, K_{Vf}$  — модули сдвига и объемного сжатия соответственно;  $\bar{K}_0, \bar{K}_1$  — параметры, определяемые по формулам  $\bar{K}_0 = C^\xi K_0^\xi, \bar{K}_1 = C^\xi K_1^\xi$  ( $C^\xi$  — объемное содержание фаз  $\xi$  (аустенита  $a$ , феррита  $\varphi$ , перлита  $p$ , бейнита  $b$  и мартенсита  $m$ );  $K_0^\xi, K_1^\xi, m_1, n, D_0$  — параметры модели;  $s_{ij}$  — девиатор тензора напряжений, равный  $\sigma_{ij} - 1/3\sigma_{kk}\delta_{ij}$ ;  $\dot{w}^p$  — пластическая мощность, равная  $\sigma_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij}^p$ ;  $J_2$  — второй инвариант тензора напряжений, равный  $1/2s_{ij}s_{ij}$ ;  $\lambda, c_v$  — коэффициенты теплопроводности и объемной теплоемкости соответственно;  $Q$  — характеристика источника теплоты.

Термоструктурная деформация  $\varepsilon_{ij}^{\theta ph}$  определяется через удельные объемы фаз  $V_\xi$  по формуле

$$\varepsilon_{ij}^{\theta ph}(\theta, \theta_r, C^\xi) = \frac{V_\xi(\theta)C^\xi(\theta) - V_\xi(\theta_r)C^\xi(\theta_r)}{3V_\xi(\theta_r)C^\xi(\theta_r)} \delta_{ij}, \quad (5)$$

где  $\theta$  — текущая температура;  $\theta_r$  — некоторая отчетная температура.

В уравнении (5) производят суммирование по повторяющемуся индексу  $\xi$ .

Температурные зависимости удельных объемов  $V_\xi(\theta)$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ), отнесенные к  $\theta_r = 20^\circ\text{C}$ , принимают в виде [11]

$$\begin{aligned} V_a(\theta, C_p)10^3 &= 0,12282 + 8,56 \cdot 10^{-6}(\theta - 20) + \\ &+ 2,15 \cdot 10^{-3}C_p; \\ V_{\varphi,p,b}(\theta, 20^\circ\text{C}, C_p)10^3 &= \\ &= 0,12708 + 5,528 \cdot 10^{-6}(\theta - 20); \\ V_m(\theta, 20^\circ\text{C}, C_p)10^3 &= \\ &= 0,12708 + 4,448 \cdot 10^{-6}(\theta - 20) + 2,79 \cdot 10^{-3}C_p, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $C_p$  — содержание углерода, %.

Деформация  $\varepsilon_{ij}^* = e_{ij}^* + \frac{1}{3} \varepsilon_{kk}^* \delta_{ij}$  и температура

$\theta^*$  определяют искажение пустых элементов конечно-элементной сетки в момент заполнения материалом наплавки и температуру заполняющего материала соответственно. При данном определении этих величин и определяющих уравнений (3) на поверхности наплавки (роста) автоматически выполняются необходимые условия [3, 8]:

$$\sigma_{rr} = \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{zz} = \sigma_{rz} = 0.$$

Кроме того, на этой поверхности принимали  $\varepsilon_{ij}^p = 0$  и  $K = K_{0f}(\theta^*)$ . Значения  $\varepsilon_{ij}^*$  и  $\theta^*$  рассчитывали в процессе решения задачи. Для наплавленных слоев в формуле (5) принимали  $\theta_r = \theta^*$ . Очевидно, что при отсутствии структурных превращений термоструктурная деформация (5) имеет вид обычной тепловой деформации  $\varepsilon_{ij}^{\theta ph} = \alpha(\theta - \theta_r)\delta_{ij}$ , где  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения конкретной фазы.

Начальное и граничные условия:

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_0 \text{ при } t = 0, \sigma \cdot n = 0, \\ -\lambda \text{grad} \theta \cdot n &= -q + \gamma(\theta - \theta_c) + \sigma\varepsilon(\theta^4 - \theta_c^4), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\theta_0$  — начальная температура;  $\sigma$  — постоянная Стефана;  $\theta_c$  — температура окружающей среды, равная  $20^\circ\text{C}$ ;  $\gamma$  — коэффициент теплоотдачи, равный  $30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ ;  $\varepsilon$  — коэффициент черноты.

Рассмотрим схему заполнения объема  $\Delta V$  валика. Пусть  $t^*$  — момент заполнения объема  $\Delta V$  расплавом. Для  $t < t^*$  считали, что объем заполнен "пустым" упругим материалом с характеристиками  $E = 0$ ,  $\nu = 0$ ,  $\alpha = 0$ . В момент заполнения  $t = t^*$  фиксировали  $\varepsilon_{ij}^*$  и  $\theta^*$  — деформацию и температуру

объема  $\Delta V$  соответственно, которые при  $t > t^*$  использовали в уравнениях (3).

**Расчет содержания фаз.** На рис. 2 приведена схема термокинетической диаграммы для стали 35ХМ. По оси абсцисс отложено относительное время  $\tau = t - t_a$ , где  $t_a$  — время пересечения кривой охлаждения температуры  $\theta = A_{c1} = 790^\circ\text{C}$  — температура начала распада аустенита. Сплошные жирные линии ограничивают области фазовых превращений (ОФП):  $A-F$  — аустенит—феррит;  $A-P$  — аустенит—перлит;  $A-B$  — аустенит—бейнит;  $A-M$  — аустенит—мартенсит. Тонкие линии соответствуют экспериментальным траекториям охлаждения образцов (ТКД-траектории). Штриховой линией обозначена некоторая произвольная траектория охлаждения. Цифрами обозначено процентное содержание фаз феррита  $p_{\varphi e}$ , перлита  $p_{pe}$  и бейнита  $p_{be}$ , соответствующее ТКД-траекториям при выходе из ОФП.

Закон накопления новой фазы  $p_\xi$  вдоль отрезков ТКД-траекторий, принадлежащих областям фазовых превращений (кроме  $A-M$ ), аппроксимируется выражением

$$p_\xi = \left[ 1 - \exp\left(-k \frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_e}\right) \right] p_{\xi e}; \quad p_\xi = C^\xi 100 \%, \quad (8)$$

где  $k = 3$ ;  $\theta_s, \theta_e$  — температура начала и конца преобразования соответственно;  $p_{\xi e}$  — максимальное значение новой фазы для данной траектории.

Поскольку реальные кривые охлаждения при условии их монотонности обычно слабо отличаются от ТКД-траекторий, принято считать [12, 13], что фазовые преобразования происходят только тогда, когда точки кривой охлаждения попадают в области ОФП. Содержание новой фазы (%) определяли по формуле

$$p_\xi = p_{as} Y_\xi, \quad (9)$$

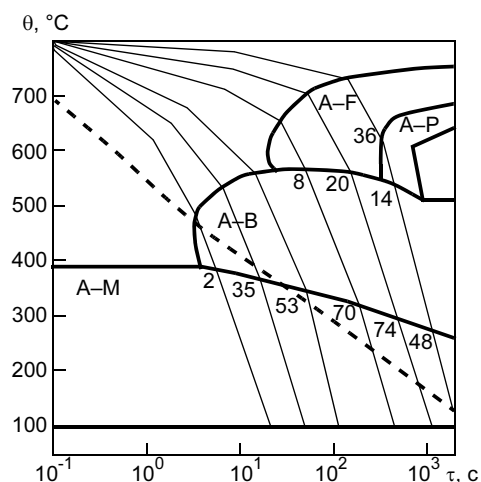


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма для стали 35ХМ



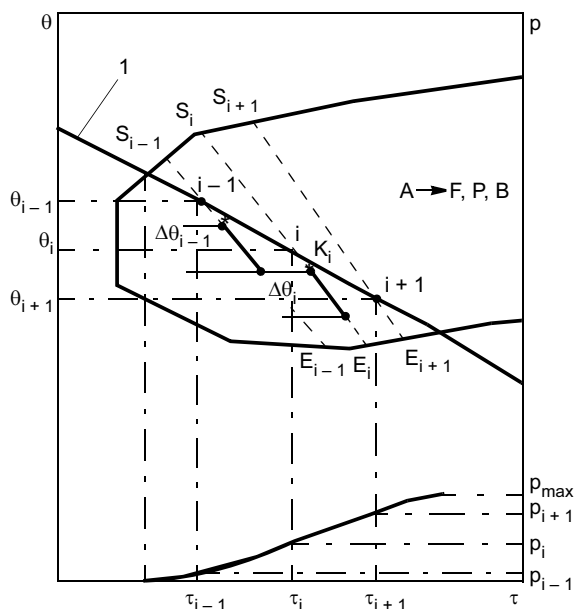


Рис. 3. Схема расчета фаз: 1 — кривая охлаждения

где  $p_{as}$  — содержание аустенита при входе кривой охлаждения в ОФП;  $y_\xi$  — текущее значение относительной фазы, равное  $p_\xi/p_{as}$ . Значение  $y_\xi$  определяли по соответствующим ТКД-траекториям аналогично уравнению (8):

$$y_\xi = \left[ 1 - \exp\left(-k \frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_e}\right) \right] y_{\xi e} \quad (10)$$

В этом случае  $y_{\xi e}$  — отношение содержаний новой фазы при выходе из ОФП и нераспавшегося аустенита при входе в нее.

Процесс охлаждения разбивали на шаги по времени  $\Delta\tau_i$ . При первом попадании точки кривой охлаждения в ОФП фиксируется величина  $p_{as}$  аустенитной фазы.

При расчете фазы (рис. 3) на каждом  $i$ -м шаге по времени на образовавшейся  $i$ -й траектории определяется точка  $K_i(\hat{\tau}, \hat{\theta})$ , отвечающая относительной фазе  $y_{i-1}$  (маркеры — точки, обозначенные значком "\*"), в окрестности которой определяли приращение относительной фазы  $y$ :

$$\Delta y_i = (y_{ie} - y_{i-1}) \frac{k|\Delta\theta_i|}{\theta_{si} - \theta_{ei}}, \quad (11)$$

где  $\Delta\theta_i = \theta_i - \theta_{i-1}$ .

Затем определяли фазу в точке  $i$ :

$$p_i = p_{i-1} + p_{as}\Delta y_i. \quad (12)$$

Увеличение мартенситной фазы при попадании в ОФП А—М определяли по уравнению (8), причем температура окончания преобразования одинакова для всех траекторий охлаждения  $\theta_e = 100^\circ\text{C}$ , а конечное содержание мартенситной фазы  $p_{me}$  равно содержанию фазы аустенита, оставшейся после прохождения остальных ОФП:

$$p_{me} = 100 - p_\varphi - p_p - p_b. \quad (13)$$

Температура начала преобразования  $\theta_s$  определяется точкой входа кривой охлаждения в мартенситную область. Для малого времени преобразования  $\tau \leq 6$  с  $\theta_s = 390^\circ\text{C}$ , а при  $\tau > 6$  с  $\theta_s$  мартенситной области совпадает с  $\theta_e$  бейнитной.

**Свойства материалов.** Термомеханические свойства основного материала ролика и материала наплавляемых слоев определяются диаграммами нагружения при различных температурах и скорости деформации  $\dot{\varepsilon} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  [14]. Они показаны сплошными кривыми на рис. 4, 5. Штриховые линии и маркеры — расчет по модели Бодне-

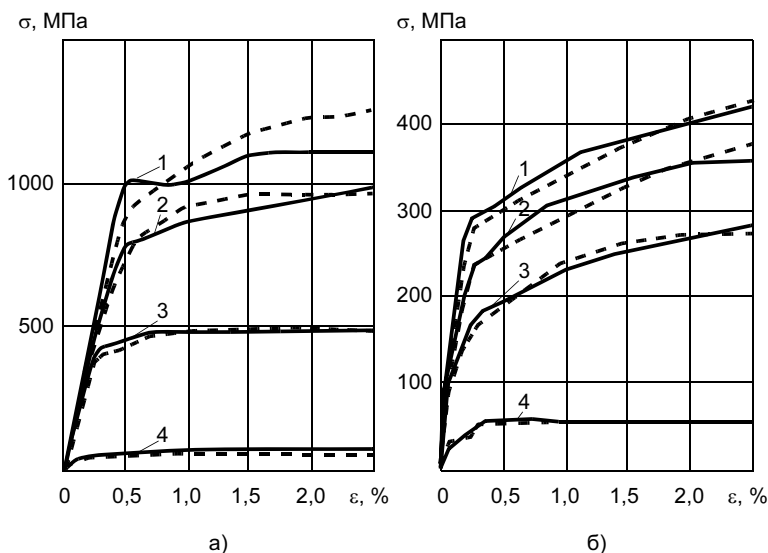


Рис. 4. Диаграмма нагружения сталей 35XM (а) и 3X13 (б) при 20 (1), 400 (2), 600 (3) и 800 (4) °C

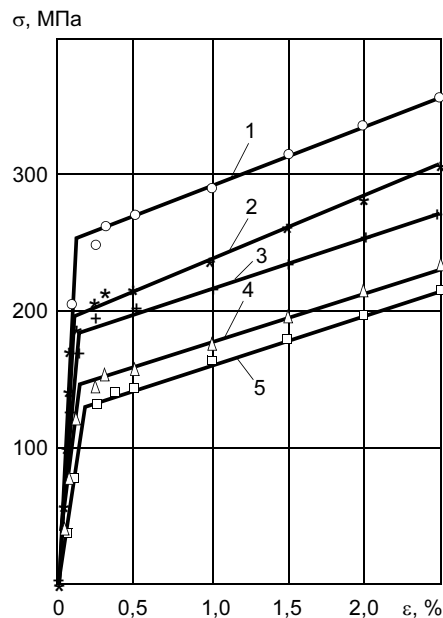


Рис. 5. Диаграмма нагружения стали 1X18N10 при 20 (1), 200 (2), 300 (3), 600 (4) и 800 (5) °C

Таблица 1

| $\theta, ^\circ\text{C}$ | 20     | 400    | 600    | 800    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $n$                      | 1,20   | 1,03   | 0,80   | 0,50   |
| $m_1, \text{МПа}^{-1}$   | 0,15   | 0,50   | 1,00   | 10,0   |
| $K_0, \text{МПа}$        | 3720,0 | 3620,0 | 3200,0 | 2200,0 |
| $K_1, \text{МПа}$        | 5520,0 | 5320,0 | 4400,0 | 2700,0 |

Таблица 2

| $\theta, ^\circ\text{C}$ | 20     | 400    | 600    | 800    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $n$                      | 1,05   | 1,00   | 0,90   | 0,54   |
| $m_1, \text{МПа}^{-1}$   | 0,16   | 0,20   | 0,80   | 10,0   |
| $K_0, \text{МПа}$        | 1350,0 | 1200,0 | 900,0  | 650,0  |
| $K_1, \text{МПа}$        | 2450,0 | 2300,0 | 1800,0 | 1300,0 |

Таблица 3

| $\theta, ^\circ\text{C}$ | 20     | 400    | 600    | 800    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $n$                      | 1,05   | 0,93   | 0,90   | 0,85   |
| $m_1, \text{МПа}^{-1}$   | 0,043  | 0,12   | 0,155  | 0,24   |
| $K_0, \text{МПа}$        | 1360,0 | 1220,0 | 1050,0 | 1030,0 |
| $K_1, \text{МПа}$        | 2100,0 | 1200,0 | 1190,0 | 1100,0 |

ра—Партома для значений параметров, приведенных в табл. 1—3 для сталей 35ХМ, 3Х13 и 1Х18Н10 соответственно.

Принимали  $D_0 = 10^4 \text{ с}^{-1}$ . В расчетах для простоты предполагали, что приведенные в табл. 1—3 значения параметров, а также тепловые характеристики одинаковы для всех фаз данных материалов.

Термокинетические диаграммы для сталей 35ХМ и 3Х13 приведены на рис. 6 [4].

### Результаты расчетов. Влияние температуры подогрева.

При решении задачи применяли методику конечных элементов, приведенную в работах [3, 15]. Влияние температуры подогрева на содержание фаз распада аустенита и максимальные нормальные напряжения иллюстрируют рис. 7, 8 для  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$  и рис. 9, 10 для  $\theta_0 = 200^\circ\text{C}$ . Арабскими цифрами обозначены номера наплавленных валиков. Из анализа результатов следует, что при  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$  металл ЗТВ имеет преимущественно бейнитную структуру, а металл наружного наплавленного слоя — мартенситную

(порядка 80 %). Такой структурный состав наплавленного металла с учетом свободных объемов фаз вызывает растягивающие напряжения в первом и втором аустенитных слоях и в прилегающей к ним области основного материала ролика. В наружном слое, имеющем мартенситную структуру, а также в центральной части ролика формируются сжимающие напряжения. Ширина ЗТВ составляет 3—4 мм.

При начальной температуре  $\theta_0 = 200^\circ\text{C}$  металл ЗТВ также имеет преимущественно бейнитную структуру. Содержание мартенсита в наружном слое увеличивается до 85 %. Радиальные распределения осевых и окружных напряжений при  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$  в сечениях 1 и 2 отмечены штриховыми линиями (сплошные линии соответствуют сечению 1, а штриховые — сечению 2) (рис. 11).

Сложный характер распределения отражает процессы упрочнения и структурных превращений в материалах слоев и основном материале ролика при последовательной наплавке отдельных слоев и валиков. Кривые 1 и 2 для радиальных сечений в пределах одного наплавленного валика отличаются несущественно.

Отметим наличие минимума радиальных распределений компонентов напряжений на границе

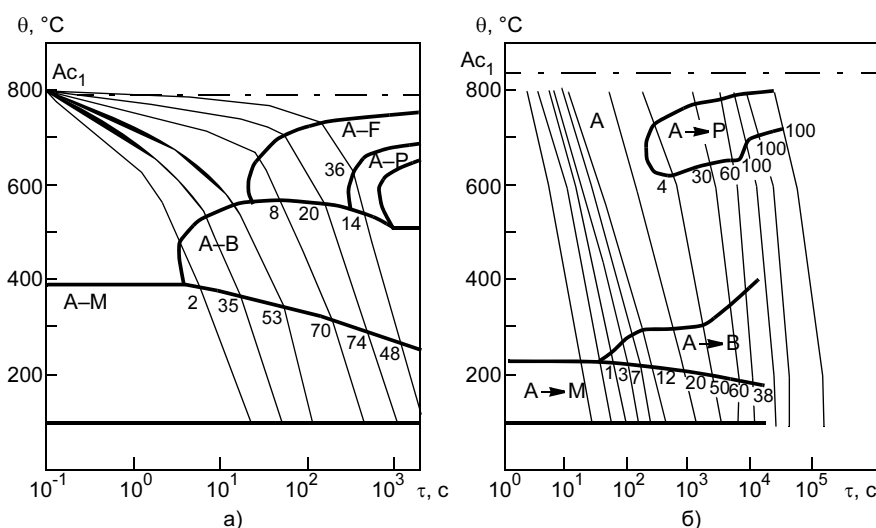


Рис. 6. Термокинетическая диаграмма для сталей 35ХМ (а) и 3Х13 (б) (цифрами обозначено содержание фаз, %)

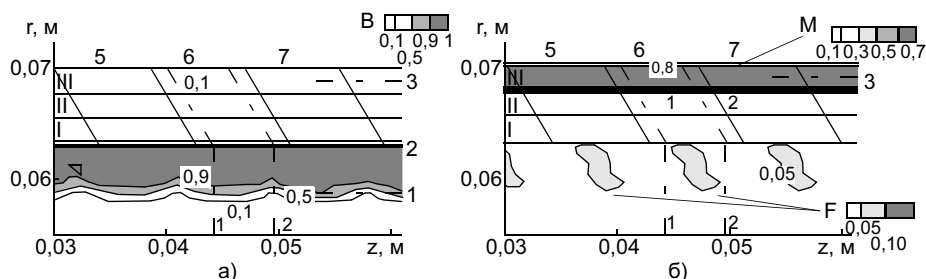


Рис. 7. Содержание бейнита В (а), мартенсита М и феррита F (б) в наплавленном металле и ЗТВ при температуре подогрева  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$

ролик — первый наплавленный валик. Эффект обусловлен структурными превращениями в материале ролика, связанными с формированием фаз с большим свободным объемом (бейнита, мартенсита). Экстремумы в расчетных распределениях напряжений возникают в результате многостадийности процесса наложения валиков и упрочнения материала ролика в ЗТВ.

Для определения влияния подогрева сопоставим результаты расчета для  $\theta_0 = 200 \div 300^\circ\text{C}$  и  $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$ . При  $\theta_0 = 200 \div 300^\circ\text{C}$  металл ЗТВ имеет однородную бейнитную структуру (см. рис. 7, а и 9, а). В случае  $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$  после наплавки первого слоя и остывания структура ЗТВ мартенситная (около 80 %). После наплавки второго слоя и полного остывания мартенсит в ЗТВ превращается в бейнит, поскольку в этом слое температура превышает  $A_{c1}$ . При этом мартенсит сохраняется в более глубоких слоях ЗТВ, где при наплавке второго слоя выполнялось условие  $\theta < A_{c1}$ . Такая структура ЗТВ остается неизменной после наплавки третьего слоя, имеющего структуру мартенсита (более 90 %). Окончательная структура приведена на рис. 12. Эти результаты свидетельствуют о возможности управления структурным составом ЗТВ при наплавке слоев путем выбора температуры предварительного подогрева, тепловложения и др. В частности, возможно снижение температуры предварительного подогрева за счет отпуска при наплавке последующих слоев. Экспериментальные данные, подтверждающие такую возможность, приведены в работах [17, 18].

Максимальные значения компонентов напряжений  $\sigma_{zz}$  и  $\sigma_{\varphi\varphi}$  в ролике при  $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$  на

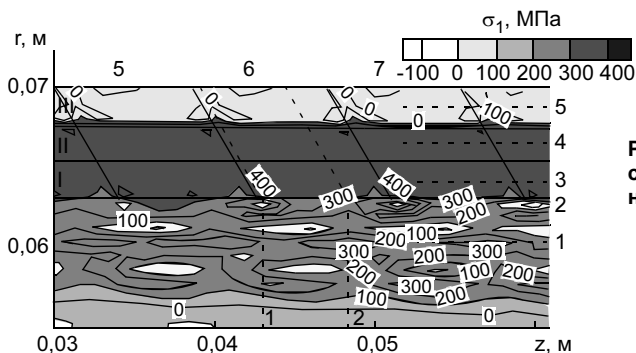


Рис. 8. Распределение максимальных нормальных напряжений при  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$

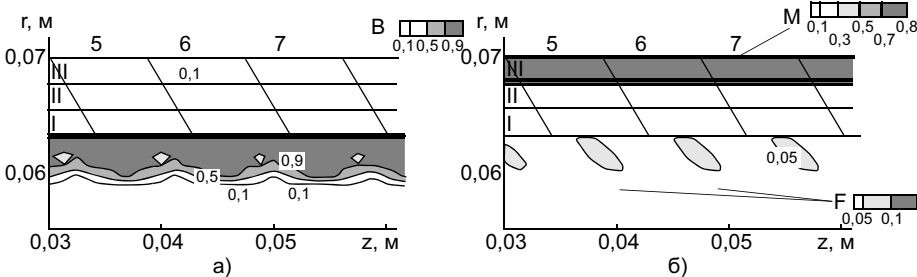


Рис. 9. Содержание бейнита  $B$  (а), мартенсита  $M$  и феррита  $F$  (б) в наплавленном металле и ЗТВ при температуре подогрева  $\theta_0 = 200^\circ\text{C}$

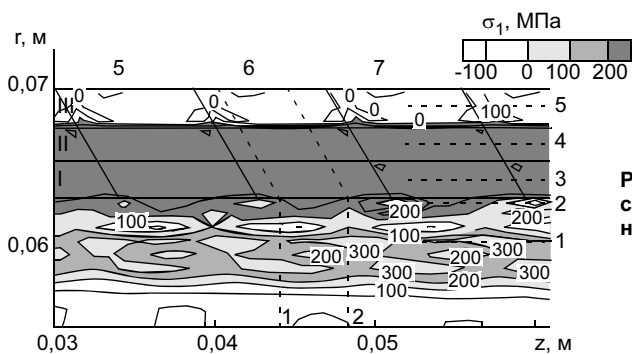


Рис. 10. Распределение максимальных нормальных напряжений при  $\theta_0 = 200^\circ\text{C}$

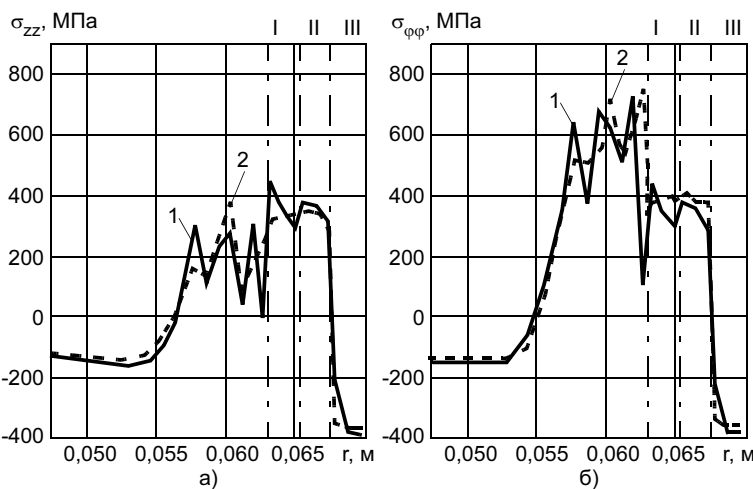


Рис. 11. Радиальное распределение осевых (а) и окружных (б) напряжений при  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$

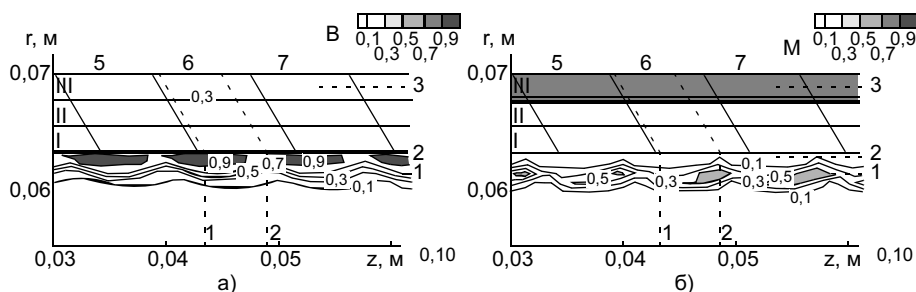


Рис. 12. Распределение бейнита (а) и мартенсита (б) для  $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$  после наплавки I, II слоев и остывания

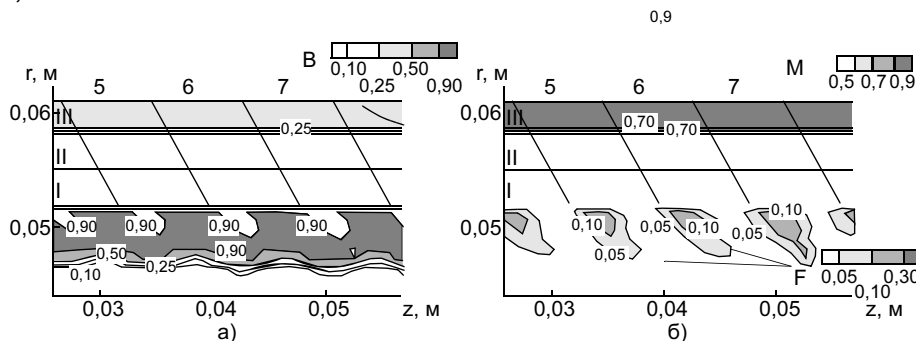


Рис. 13. Содержание бейнита (а), мартенсита и феррита (б) в основном и наплавленном металле после остывания (расчет)

25—30 % выше, чем при  $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$ . Растягивающие напряжения в аустенитных слоях не изменяются, так как соответствуют пологому участку упрочнения материала на диаграмме нагружения.

**Влияние тепловложения.** Для оценки влияния тепловложения проводили расчет при погонной энергии на 10 % большей, чем в базовом примере ( $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$ ). Увеличение погонной энергии достигается увеличением электрической мощности дуги. По сравнению с базовым примером ЗТВ расширяется на 12—14 %, при этом уровни растягивающих напряжений в аустенитных наплавленных слоях и ролике, а также содержание фаз заметно не изменяются.

**Сопоставление теоретических и экспериментальных данных.** Для оценки достоверности принятых моделей и расчетной схемы измеряли остаточные напряжения в наплавленном ролике. Исходные размеры ролика: диаметр 103 мм, длина 160 мм. Материал ролика — сталь 35ХМ. На ролик

наплавлены три слоя (табл. 4): I, II слои — хромоникелевая сталь 1Х18Н10 (наплавка проволокой Х5СrNi 18—10 по стандарту EN 10088-1) с аустенитно-ферритной структурой, толщина слоев 3,4 мм; III слой — хромистая сталь 3Х13 (MSG 5-GF-40-C по DIN 8555) с мартенситной структурой, толщина слоя 2,7 мм. Структура основного материала ролика до наплавки — перлит + феррит.

Структурный анализ показал, что после наплавки материал ролика в ЗТВ (около 3 мм) имеет преимущественно бейнитную структуру с небольшим содержанием феррита. В остальной части ролика структура не изменяется. Остаточная структура наружного (III) наплавленного слоя — мартенсит. Эти результаты подтверждают расчетные данные рис. 13,

на котором приведена структура металла ролика и наплавленных слоев после остывания.

Параметры НДС определяли по тензометрическим данным в процессе расточки ролика по методике работы [16]. Тензометры располагали в двух точках по окружности в срединной части ролика. На рис. 14 приведено сопоставление экспериментальных и расчетных распределений осевых  $\sigma_{zz}$  и окружных  $\sigma_{\phi\phi}$  напряжений. Уровень радиальных напряжений существенно ниже, поэтому их распределение не приводили.

Приведенные распределения согласуются по чередованию зон растяжения и сжатия вдоль радиуса, а также по уровням значений максимальных растягивающих напряжений. Различие наблюдается в области стыков основного материала ролика и первого слоя, а также наружного (третьего) и прилегающего к нему внутреннего (второго) слоев. Оба указанных расхождения, по-видимому, связаны с тем, что модель не учитывает изменений химиче-

Таблица 4

| Наплавленный металл (электродная проволока) | Слой    | Процесс наплавки (защитный газ) | Диаметр проволоки, мм | Ток, А | Напряжение, В | Скорость наплавки, см/мин | Диаметр после наплавки, мм |
|---------------------------------------------|---------|---------------------------------|-----------------------|--------|---------------|---------------------------|----------------------------|
| 1Х1810 (LNM347Si)                           | I<br>II | 135 (M13)                       | 1,2                   | 200    | 23—24         | 40                        | 109,8<br>116,6             |
| 3Х13 (Cromecore 410G)                       | III     | 136 (M13)                       | 2,0                   | 280    | 28,6          | 50                        | 122,0                      |

Примечание. Температура предварительного подогрева  $\theta_0 = 200^\circ\text{C}$ , промежуточная —  $320^\circ\text{C}$ .



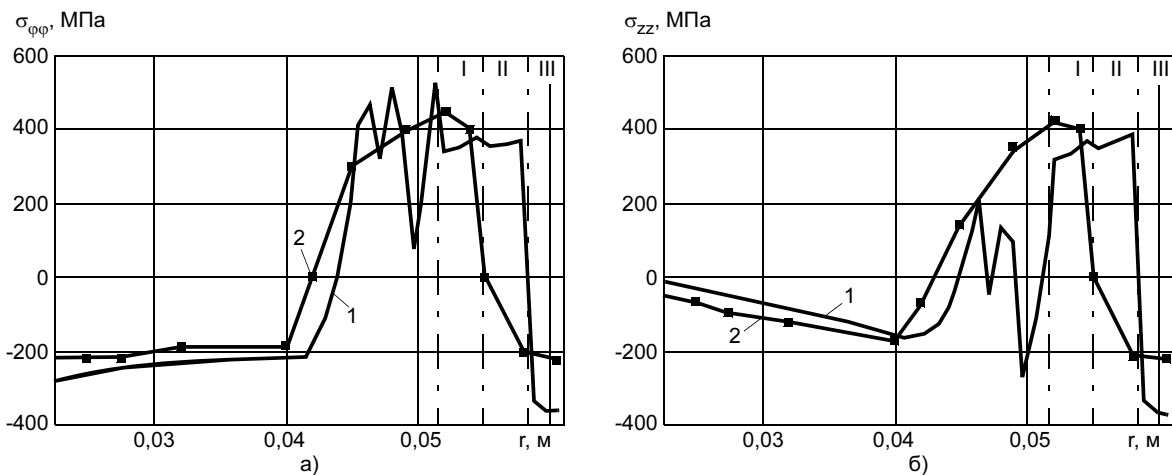


Рис. 14. Расчетное (1) и экспериментальное (2) распределения осевых  $\sigma_{zz}$  (а) и окружных  $\sigma_{\phi\phi}$  (б) напряжений

ского состава материала слоев в результате переплавления на указанных стыках. В результате расчетные распределения напряжений являются более выраженными, чем экспериментальные.

Для дальнейшего развития принятой модели с целью уточнения как уровней максимальных напряжений, так и областей их распределения рекомендуется учитывать переплавления на границах ролик — наплавленный слой и аустенитный наплавленный слой — мартенситный наплавленный слой.

## ВЫВОДЫ

1. С помощью методики численного моделирования термомеханических процессов при спиральной наплавке цилиндрических деталей, основанной на теории растущих вязкопластических тел, модели течения Боднера—Партома и методе конечных элементов, выполнен расчет остаточных напряжений и деформаций ролика из стали 35ХМ, наплавленного двумя слоями стали 1Х18Н10 и слоем стали 3Х13, с учетом структурных превращений в материале слоев и ролике.

2. Установлено, что температура предварительного подогрева в пределах 200—300 °С приводит к образованию в ЗТВ ролика из стали 35ХМ бейнитной структуры. В случае наплавки без подогрева после нанесения первого слоя и остывания структура ЗТВ мартенситная, после наплавки последующих слоев мартенсит замещается бейнитом, а в более глубоких слоях ЗТВ остается мартенсит. Это указывает на возможность управления структурным составом ЗТВ при многослойной наплавке за счет изменения температуры предварительного подогрева, тепловложения, наплавки пластичного подслоя и др. Структура наплавленного наружного слоя из стали 3Х13 для всех температур подогрева остается мартенситной. При данных режимах наплавки напряжения в наружном слое являются сжи-

мающими, а во внутренних аустенитных слоях — растягивающими.

3. Проведено сопоставление значений осевых и окружных напряжений в наплавленной цилиндрической детали, полученных расчетным и экспериментальными методами. Удовлетворительное в целом совпадение расчетных и экспериментальных данных свидетельствует об обоснованности и достоверности предложенной методики моделирования термомеханических процессов при спиральной наплавке цилиндрических деталей слоями из аустенитной и мартенситной сталей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. Киев: Экотехнология, 2004. 160 с.
2. Кондратьев И. А., Васильев В. Г., Дзыкович И. Я. Структурная и химическая неоднородность наплавленного металла типа 35В9ХЗСФ // Автоматическая сварка. 1996. № 5. С. 15—17.
3. Расчет остаточных напряжений при многослойной спиральной наплавке цилиндрических деталей на основе теории наращивания вязкопластических тел / И. К. Сенченков, И. А. Рябцев, Е. Турек, Г. А. Табиева // Сварочное производство. 2005. № 9. С. 18—25.
4. Попов А. А., Попова Л. Е. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. М.: ГНТИ машиностр. лит., 1961. 430 с.
5. Seyffarth P., Kusch G. Schweiss-ZTU-Schaubilder. Berlin: VEB Verlag Technik, 1982. 233 с.
6. Bodner S. R. Unified Plasticity — An Engineering Approach (Final Report). Israel Inst. of Techn. Haifa, 2000. 105 p.
7. Моделирование неизотермического наращивания физически нелинейных тел и технологические приложения / И. К. Сенченков, Е. Турек, И. А. Рябцев, Г. А. Табиева // Теоретическая и прикладная механика. 2003. Вып. 38. С. 109—114.
8. Арутюнян Н. Х., Дроздов А. Д., Наумов В. Э. Механика растущих вязкоупругопластических тел. М.: Наука, 1987. 472 с.
9. Математическая модель для определения взаимных продольных смещений элементов конструкций при сварке / Л. М. Лобанов, В. А. Санченко, В. И. Павловский и др. // Автоматическая сварка. 1998. № 3. С. 5—9.
10. Закономерности относительных продольных смещений пластин из алюминиевого сплава при сварке встык / И. К. Сенченков, Л. М. Лобанов, О. П. Червинко, Н. А. Пашин // Докл. НАНУ. 1998. № 6. С. 66—70.
11. Юрьев С. Ф. Удельные объемы фаз в мартенситном превращении аустенита. М.: Металлургиздат, 1950. 48 с.

12. Численное исследование термомеханических процессов при наплавке валов судовых механизмов и устройств / В. И. Махненко, Е. А. Великоиваненко, Т. Г. Кравцов, В. В. Севрюков // Автоматическая сварка. 2001. № 1. С. 3—10.

13. Leblond J. B., Mottet G., Devaux J. C. A theoretical and numerical approach to the plastic behavior of steel during phase transformation. — I. Derivation of general relations // J. Mech. Phys. Solids. 1986. Vol. 34. N 4. P. 395—409.

14. Безухов Н. И., Бажанов В. Л. Расчеты на прочность, устойчивость и колебания в условиях высоких температур. М.: Машиностроение, 1965. 567 с.

15. Мотовиловец И. А., Козлов В. И. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 1. Термоупругость. Киев: Наукова думка, 1987. 264 с.

16. Бургер И. А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

17. Dachelean D., Delamahan S. Application of welding for increasing the service life of the power station equipment // Welding and Related Technologies for the 21st Century. Kiev, 1998. P. 78—87.

18. Turyk E. Czynniki warunkujące stan naprężeń w elementach napawanych // IX Naukowo-Techniczna Krajowa Konferencja Spawalnicza. Międzyzdroje, 2004. S. 197—207.

УДК 621.791.92:669.018.25

**Г. А. ПРИБЫТКОВ, д-р техн. наук, М. Н. ХРАМОГИН, инж.,**

**В. Г. ДУРАКОВ, канд. техн. наук, В. В. КОРЖОВА, инж.**

**Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск)**

## **Покрyтия, полученные электронно-лучевой наплавкой композиционными порошками карбид титана — связка из быстрорежущей стали Р6М5**

Доля традиционных инструментальных быстрорежущих сталей в металлообработке резанием непрерывно сокращается ввиду их недостаточной теплостойкости и твердости. Для резания современных высокопрочных труднообрабатываемых материалов вместо быстрорежущих сталей применяют спеченные твердые сплавы и сверхтвердые керамические материалы. Однако режущие свойства инструментальных сталей можно существенно повысить путем увеличения содержания дисперсной упрочняющей карбидной фазы. Такие спеченные композиционные материалы с дисперсными включениями карбида титана в стальной матрице (карбидостали или безвольфрамовые твердые сплавы) по режущим свойствам занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и карбидовольфрамовыми твердыми сплавами [1]. Важным преимуществом карбидосталей над карбидовольфрамовыми твердыми сплавами является относительная дешевизна порошкового сырья, используемого для получения карбидосталей. Дополнительное удешевление достигается при использовании порошков быстрорежущей стали, полученных переработкой отходов — стружки [2]. Другой путь удешевления инструмента — применение твердой и износостойкой наплавки на лезвийную часть инструмента. В этом случае для изготовления инструмента (например массивных фрез) можно применять дешевые углеродистые стали вместо легированных быстрорежущих. Лезвийную часть инструмента со структурой и свойствами кар-

бидостали можно получить электронно-лучевой наплавкой (ЭЛН) композиционными порошками карбид титана — стальная связка [3]. Композиционные порошки для наплавки в работе [3] получали спеканием смесей порошков карбида титана и стали, последующим дроблением спеков и отсевом подходящей для наплавки фракции. Этот малопроизводительный метод получения композиционных порошков в работе [4] заменен самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в смесях порошков титана, углерода (сажи) и стали Р6М5, причем стальной порошок был получен из стальной стружки [5], а реакция СВС инициировалась после предварительного подогрева реакционных смесей в форвакууме 10 Па. Однако качество покрытий, полученных композиционными СВС-порошками в условиях подогрева реакционной смеси в форвакууме, оказалось значительно хуже, чем у покрытий, наплавленных композиционными порошками, спеченными в высоком вакууме [6]. Предположительная причина — взаимодействие компонентов реакционной смеси с остаточными газами форвакуума на стадии ее подогрева.

Цель данной работы — разработка технологического варианта СВС, позволяющего получить высококачественные композиционные порошки карбид титана — связка из быстрорежущей стали. Качество порошков оценивали по результатам исследования ЭЛН-покрытий, наплавленных с их применением.

Синтез композиционных порошков проводили в откачиваемом реакторе при вакууме 7,0 Па. Реакционные смеси получали смешиванием порошков титана, сажи и стали Р6М5. Технология получения порошка из стружки стали Р6М5 приведена в работе [5]. Соотношение содержания титана и сажи в смесях можно представить в виде  $(\text{Ti} + \text{C}) + \Delta\text{C}$ , где  $\text{Ti} + \text{C}$  соответствует эквиатомному составу карбида титана, а  $\Delta\text{C}$  — добавка, необходимая для устранения дефицита углерода в стальном порошке и составляющая около 1 % массы инертной стальной связки в реакционной шихте. Содержание порошка стальной связки варьировали в диапазоне 20—50 %. Сборку из нескольких таблеток реакционной смеси с помещенной сверху поджигающей таблеткой и вольфрамовой спиралью монтировали на столике реактора. После достижения внутри реактора указанного выше вакуума инициировали начало синтеза кратковременным нагревом вольфрамовой спирали. Откачку реактора продолжали до полного остывания продукта синтеза — пористого спека. Композиционный порошок получали дроблением и рассевом СВС-спеков с выделением необходимой для наплавки фракции. Электронно-лучевую наплавку порошковых покрытий проводили на подложку из стали Ст3 на установке, конструкция и принцип работы которой описаны в работе [7]. Фазовый состав синтезированных композиционных порошков и наплавленных покрытий определяли методами рентгеноструктурного анализа на установке ДРОН-1. Рентгеносъемку проводили на фильтрованном Со-излучении со скоростью 4 °/мин. Микроструктуру наплавленных покрытий исследовали металлографически микроскопом МИМ-8 на нетравленных шлифах. Определяли твердость по Роквеллу и абразивную износостойкость покрытий по ГОСТ 23.208—79. В качестве абразива использовали кварцевый песок с размером частиц 200—300 мкм. Эталоном служила отожженная углеродистая сталь 45 твердостью 200 НV.

СВС-спеки, полученные в результате вакуумного синтеза, легко дробятся. Выход фракции (50—200 мкм), которую далее использовали для наплавки, составлял около 90 %. Фракционный состав СВС-композиционных порошков  $\text{TiC} + \text{Р6М5}$  приведен в табл. 1. При наплавке композиционных порошков получены плотные покрытия для трех со-

Таблица 1

| Содержание стальной связки (по массе), % | Выход фракций, %, размером |            | Дробимость |
|------------------------------------------|----------------------------|------------|------------|
|                                          | <50 мкм                    | 50—200 мкм |            |
| 20                                       | 9,2                        | 90,8       | Хорошая    |
| 30                                       | 9,1                        | 90,9       |            |
| 40                                       | 8,8                        | 91,2       |            |
| 50                                       | 10,2                       | 89,8       |            |

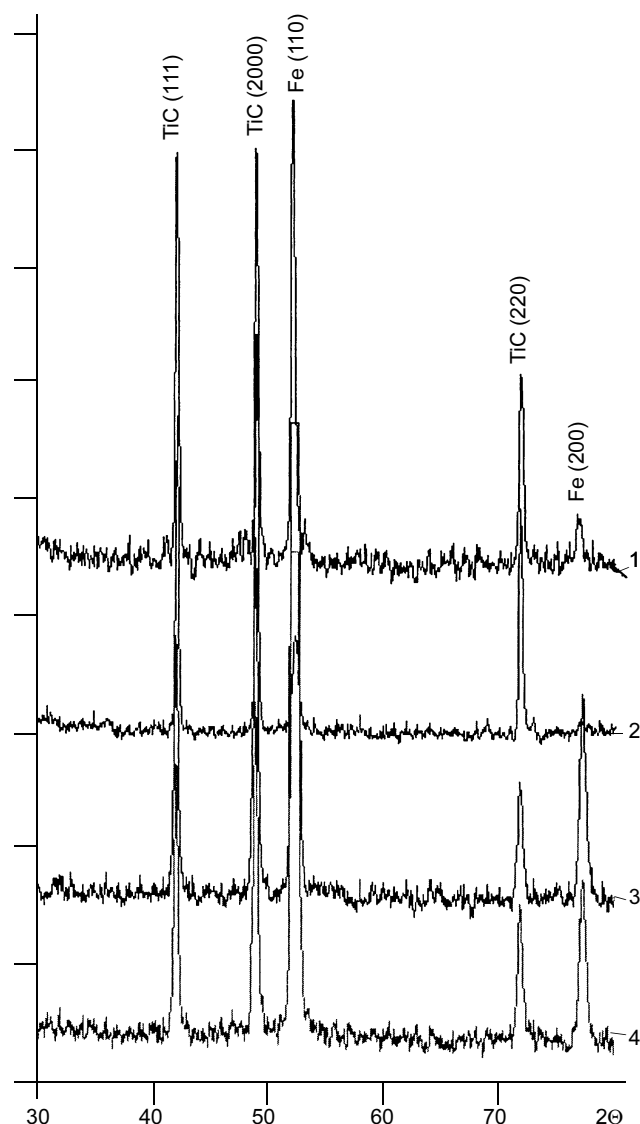


Рис. 1. Рентгенограммы СВС-композиционных порошков (1, 2) и наплавленных покрытий (3, 4) с различным объемным содержанием стальной связки (Р6М5): 1, 2 — 37 и 20 % соответственно; 3, 4 — 37 и 20 % соответственно

ставов. При наплавке порошка с минимальным объемным содержанием стальной связки (13 %) сплошное покрытие получали только при большой мощности электронного луча. При этом происходило глубокое проплавление стальной подложки, приводящее к сильному разбавлению связки и уменьшению объемной доли карбидной фазы в наплавленном покрытии по сравнению с шихтовым составом. Свойства этого покрытия в работе не исследовали.

На рис. 1 приведены рентгенограммы композиционных порошков и наплавленных покрытий при различном содержании связки. При расшифровке рентгенограмм выявлены две основные фазы: карбид титана и  $\alpha$ -железо, которые присутствуют как в порошках, так и в наплавленных покрытиях. В процессе съемки какие-либо смещения линий на

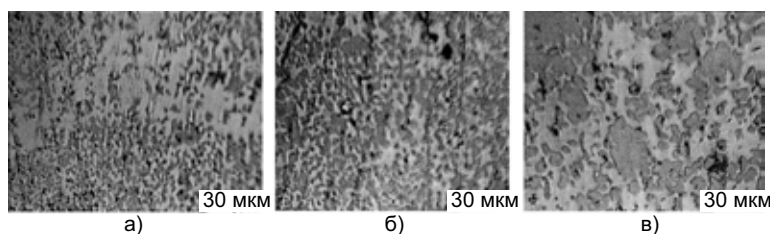


Рис. 2. Микроструктура электронно-лучевых покрытий TiC + P6M5 с объемным содержанием связки 37 (а), 29 (б) и 20 (в) %

рентгенограммах при переходе от порошка к наплавке или при изменении содержания металлической связки не выявлены. Это свидетельствует о примерном постоянстве элементного состава фаз в исследованных порошках и наплавленных покрытиях. Параметр решетки карбида титана равен 0,432 нм. Эта величина несколько ниже значений, приводимых в справочной литературе [8, 9] для стехиометрического карбида титана. Относительная интенсивность линий TiC и  $\alpha$ -Fe на рентгенограммах рис. 1 различается прежде всего вследствие различного шихтового состава наплавляемых порошков. Кроме того, содержание карбида титана в наплавке уменьшается по сравнению с его содержанием в порошке, по-видимому, вследствие подмешивания расплава подложки к расплавленной стальной связке в процессе наплавки.

Микроструктура наплавленных покрытий, выявленная на нетравленных шлифах, приведена на рис. 2.

Изменение содержания стальной связки влияет на средний размер частиц карбида титана (табл. 2) и морфологию карбидной фазы. Механизм этого влияния — понижение температуры горения в присутствии инертной в тепловом отношении стальной связки в реакционной порошковой смеси [10]. Чем меньше содержание связки, тем выше температура горения и тем благоприятнее условия для огрубления структуры под действием термодинамической движущей силы, связанной с межфазной поверхностной энергией. Размер частиц карбида титана минимален в покрытии с максимальным содержанием связки (см. рис. 2, а, табл. 2). При относительно невысокой температуре горения в этом случае рост зародышей карбида титана, возникающих из металлического расплава, подавлен и структура карбидной фазы наиболее дисперсная по сравнению с

другими составами. При минимальном содержании связки время существования металлического расплава достаточно не только для роста крупных кристаллов карбида из жидкого расплава, но и для их сращивания при соприкосновении со смежными плоскостями (см. рис. 2, в). Изменение объемного соотношения компонентов реакционной смеси влияет также на однородность распределения включений карбида титана по объему покрытия. Наиболее однородное

распределение карбидной фазы в объеме связки наблюдается в покрытии с содержанием связки 29 % (см. рис. 2, б). Избыток металлической связки (см. рис. 2, а) или ее недостаток (см. рис. 2, в) приводит к неоднородности в структуре покрытия — появлению областей связки, почти свободных от карбидов.

Описанные выше изменения структуры при увеличении объемного содержания стальной связки влияют на твердость и абразивную износостойкость наплавленных покрытий (см. табл. 2), причем эти зависимости имеют экстремальный характер (рис. 3).

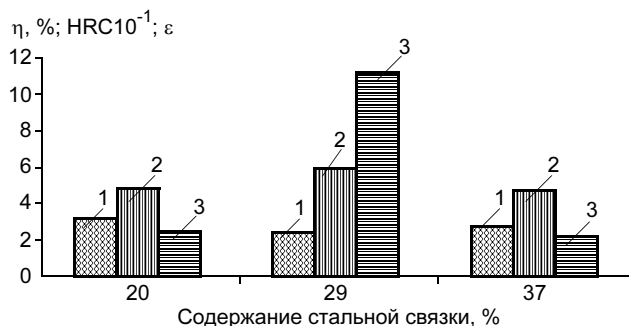


Рис. 3. Зависимость средних значений пористости  $\eta$  (1), твердости (2) и относительной износостойкости  $\varepsilon$  (3) электронно-лучевых покрытий TiC + P6M5 от объемного содержания связки в наплавляемом порошке

Максимальную твердость и износостойкость имеет покрытие с 29 % связки. Как отмечено выше, покрытие этого состава отличается от остальных однородным по объему распределением мелких зерен карбида титана. Покрытие с максимальным объемным содержанием (37 %) стальной связки имеет значительно меньшую твердость и в 4 раза меньшую износостойкость, несмотря на то, что зерна карбида титана в этом покрытии мельче, а пористость не намного больше, чем в предыдущем. Уменьшение твердости с уменьшением содержания карбида титана, имеющего рекордную для металлических карбидов твердость (31,0—34,8 ГПа), закономерно; на падение абразивной износостойкости дополнительно влияет неоднородность распределения включений карбида титана (см. рис. 2, в). Обширные области связки, свободные от карбидных включений, не могут противостоять изнашивающему действию абразива.

Покрытие с малым объемным содержанием стальной связки (20 %) также заметно уступает по

Таблица 2

| Содержание стальной связки, % | Пористость, % | Размер включений TiC, мкм | Твердость, HRC | Относительная износостойкость $\varepsilon$ |
|-------------------------------|---------------|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|
| 20                            | 3,2 ± 1,2     | 5—11                      | 49,0 ± 1,1     | 2,5 ± 0,4                                   |
| 29                            | 2,5 ± 1,1     | 3—6                       | 60,2 ± 1,6     | 11,4 ± 1,2                                  |
| 37                            | 2,8 ± 1,4     | 1—3                       | 47,9 ± 1,9     | 2,3 ± 0,2                                   |



свойствам покрытию с содержанием связки 29 %. Увеличение содержания карбида титана сопровождается уменьшением твердости и износостойкости. В этом покрытии повышающее влияние карбида титана на твердость с избытком компенсируется понижающим влиянием пористости, размера карбидного зерна и неоднородности структуры. Основной причиной невысокой износостойкости покрытия, по мнению авторов, является его грубодисперсная структура со свободными от карбидных включений областями связки, которые чередуются с крупными карбидными включениями и их конгломератами. В такой структуре обособленные области металлической связки легко изнашиваются абразивом. При этом площадь контакта крупных карбидных включений и их конгломератов со связкой уменьшается, и они вырываются целиком под силовым воздействием абразивных частиц.

## ВЫВОДЫ

1. Методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) без предварительного подогрева реакционных смесей получены композиционные порошки карбид титана — быстрорежущая сталь Р6М5 с объемным содержанием стальной связки 20—37 %.

2. Твердость и абразивная износостойкость электронно-лучевых покрытий, наплавленных с при-

менением СВС-композиционных порошков, определяются дисперсностью карбидных зерен и морфологическими особенностями структуры композита.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич Ю. Г., Нарва В. К., Фраге Н. В. Карбидостали. М.: Металлургия, 1988. 143 с.
2. Кипарисов С. С., Падалко О. В. Проблемы получения порошков и изделий из них с использованием в качестве сырья стружковых отходов // Порошковая металлургия. 1979. № 9. С. 56—65.
3. Электронно-лучевая наплавка карбидосталей / В. Е. Панин, В. Г. Дураков, Г. А. Прибытков и др. // Физика и химия обработки материалов. 1998. № 6. С. 53—59.
4. Храмогин М. Н. Исследование покрытий, наплавленных композиционными порошками карбид титана — связка из быстрорежущей стали // Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии. Томск: ИОА СО РАН, 2006. С. 290—293.
5. Прибытков Г. А., Храмогин М. Н., Коржова В. В. Переработка стружковых отходов быстрорежущей стали в порошок для электронно-лучевой наплавки покрытий // Материалы, технологии, инструменты. 2004. № 3. С. 88—92.
6. Прибытков Г. А., Полев И. В., Коржова В. В. Композиционные порошки для электронно-лучевой наплавки покрытий карбид титана — высокохромистый чугун // Сварочное производство. 2006. № 5. С. 38—41.
7. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства и применение покрытий / В. Е. Панин, С. И. Белюк, В. Г. Дураков и др. // Сварочное производство. 2000. № 2. С. 34—38.
8. Миркин Л. И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1979. 132 с.
9. Кипарисов С. С., Левинский Ю. В., Петров А. П. Карбид титана. Получение, свойства, применение. М.: Металлургия, 1987. 217 с.
10. Безгазовое горение в системе титан — углерод — никель / А. С. Рогачев, В. М. Шкиро, И. Д. Чаусская, В. М. Швецов // Физика горения и взрыва. 1988. № 6. С. 86—93.



**СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА**

# ФОРСАЖ

**INVERTER**

реклама

**НА ТОК**

125 A
160 A
250 A
315 A
500 A

- ✦ **РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА (MMA)**
- ✦ **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](http://www.grpz.ru)



ТЕХНОЛОГИЯ

сварки **XXI**

века

Публикуется на правах рекламы

**А. Г. ГРИГОРЬЯНЦ, д-р техн. наук, А. И. МИСЮРОВ, канд. техн. наук,  
ЧЖАН ЦИН, аспирант  
МГТУ им. Н. Э. Баумана**

## **Формирование наплавленных слоев с использованием лазерного импульсно-периодического излучения**

С начала 80-х годов интенсивно развиваются технологии формирования трехмерных объектов не за счет удаления материала, а постепенным наращиванием или добавлением его при изменении фазового состояния вещества в заданной области пространства. В настоящее время прогрессивными являются технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам, с применением которых можно как изготавливать новые детали, так и формировать на поверхности изделия объемные элементы, например при ремонте. Они применимы для широкого круга материалов, включая коррозионно-стойкую сталь, цветные металлы и сплавы, алюминиевые, титановые сплавы, а также керамику, полимеры и композиты. Кроме того, можно осуществлять локальные изменения состава материала, микроструктуры и текстуры поверхности. Благодаря широкому выбору присадок возможно получение деталей с высокими механическими и служебными свойствами. Примером может служить изготовление штамповой оснастки, ремонт лопаток ГТД и др.

Фирма POM (Precision Optical Manufacturing, США) [1] разработала и изготовила оборудование для технологии Direct Metal Deposition (DMD). Основная часть работ при разработке этой технологии выполнена Национальным центром по производственной науке по контракту с Департаментом энергетики США. Ряд зарубежных фирм также провел разработки в этой области. Так, в 1997 г. компанией Sandia был сформирован LENS-консорциум, в состав которого вошли Lockheed Martin, 3M, Honeywell, Optomec, Wyman-Gordon, Laser Fare, KAPL, NASA и Ford (США). Разработанный процесс получил название LENS (Laser Engineered Net Shaping). Имеется еще ряд фирм, реализовавших этот процесс.

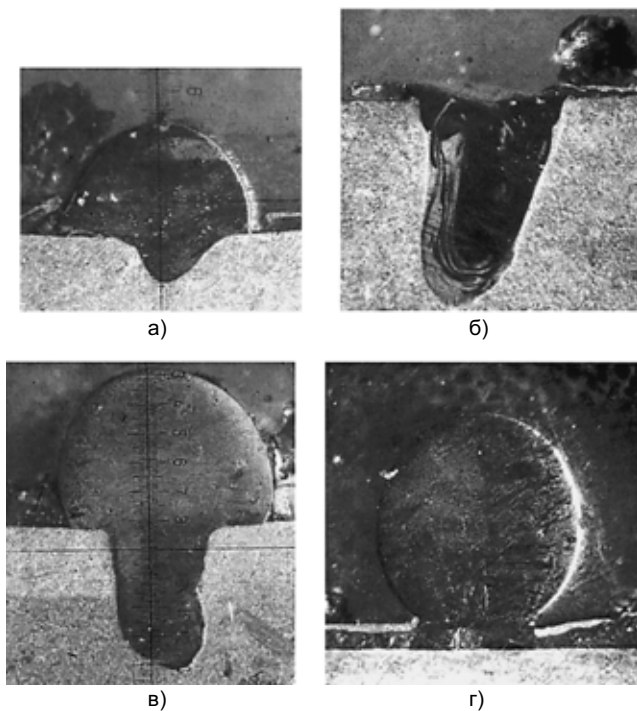
В процессе объемного формообразования построение объекта осуществляется послойно по электронной трехмерной модели. Деталь разбивают на тонкие слои. Подложка перемещается относительно лазерного луча по программируемой траектории. Одновременно в зону обработки подается порошок. При переплаве присадочного материала получается наплавленный слой. Далее слой за слоем формируется деталь. Применение в качестве ис-

точника нагрева лазерного излучения, а также возможность смешивания присадочных порошков позволяют регулировать свойства материала детали.

При решении практических задач получения особых свойств возникает ряд трудностей из-за низкой технологической прочности высоколегированных сталей и сплавов. Повышение технологической прочности при сохранении высокой эксплуатационной при лазерной обработке может быть достигнуто за счет получения структур, характеризующихся высокими однородностью, дисперсностью и приближающихся к аморфным. Однако, если деталь работает при повышенных температурах, все структурные метастабильные эффекты могут сниматься уже через минуты или часы после выхода на рабочий режим. Подобные задачи по обеспечению высокотемпературной прочности локальных областей встанут как перед технологами, так и перед конструкторами, особенно при проектировании новых перспективных изделий с повышенными силовыми и температурными нагрузками. Существует ряд практических задач по разработке деталей, состоящих из композиций с различными упрочняющими фазами, например, карбидом хрома, вольфрамом, бором и др. Высокая склонность их к разложению и растворению при воздействии высоких температур создает трудности при формировании композитной структуры с большим количеством упрочняющей фазы.

Несмотря на высокую концентрацию энергии в пятне нагрева, способы наплавки с использованием непрерывного излучения предполагают относительно большой перегрев металла, возникает высокое термомеханическое воздействие на обрабатываемый металл и, как следствие, значительное проплавление основы, перемешивание основного и присадочного металлов, относительно сильный перегрев подложки.

Наряду с указанными трудностями в наплавленном металле и ЗТВ возможно образование трещиноподобных дефектов. В научно-технической литературе отмечается сложность выбора параметров режима, обеспечивающих сохранение исходной упрочняющей фазы и не приводящих к появлению трещин. Для получения бездефектного изделия приходится снижать производительность.



**Рис. 1. Поперечное сечение наплавленных валиков ( $\times 70$ ):**  
 а —  $W = 6,25$  Дж,  $v = 0,5$  мм/с,  $\Delta F = 0$ ,  $f = 2$  Гц,  $h = 0,2$  мм; б —  $9,8$  Дж,  $2,5$  мм/с,  $2$  мм,  $2$  Гц,  $0,5$  мм; в —  $9,8$  Дж,  $0,5$  мм/с,  $0,2$  Гц,  $0,5$  мм; г —  $9,8$  Дж,  $0,5$  мм/с,  $2$  мм,  $10$  Гц,  $0,5$  мм

Так, скорость нанесения наплавленного валика составляет примерно  $65,5 \text{ см}^3/\text{ч}$ , ширина наносимого слоя —  $1 \text{ мм}$ , толщина —  $0,25 \text{ мм}$ . В среднем для изготовления изделия требуется  $40\text{--}50 \text{ ч}$ . Применение лазерного импульсно-периодического излучения позволяет избежать данных трудностей.

Цель данной работы — определение влияния режимов импульсно-периодического лазерного излучения на формирование наплавленных слоев.

На первом этапе исследовали формообразование отдельных единичных валиков в условиях импульсно-периодического излучения. Эксперименты проводили на установке "Квант-15" с применением методов математического планирования. Для наплавки использовали порошковые присадочные материалы системы  $\text{Ni—Cr—B—Si}$ . Диапазоны варьирования параметров режима выбраны в соответствии с литературными данными и проведенными предварительными экспериментами. Энергию

импульса  $W$  варьировали от  $6,25$  до  $9,8$  Дж, частоту следования импульсов  $f$  — от  $2$  до  $10$  Гц, скорость наплавки  $v$  — от  $0,5$  до  $2,5$  мм/с, расфокусировку  $\Delta F$  — от  $0$  до  $2$  мм, расход порошка, задаваемый толщиной переплавляемого слоя  $h$ , — от  $0,2$  до  $0,5$  мм. Слой порошка необходимой толщины наносили на поверхность образца с помощью специального трафарета. После наплавки измеряли высоту и ширину валика, а также глубину проплавления основы. Для получения регрессионной зависимости использовали среднее значение, измеренное в трех сечениях трех валиков. Глубину проплавления замеряли на поперечных шлифах.

В зависимости от режимов форма наплавленных валиков претерпевает существенное изменение. Возможно получение большого количества наплавленного металла при малом подплавлении основы (рис. 1, а). Существуют режимы, на которых глубина проплавления основы резко возрастает (рис. 1, б), причем на некоторых не происходит формирования наплавленного слоя (рис. 1, в), а также сплавления с подложкой (рис. 1, г).

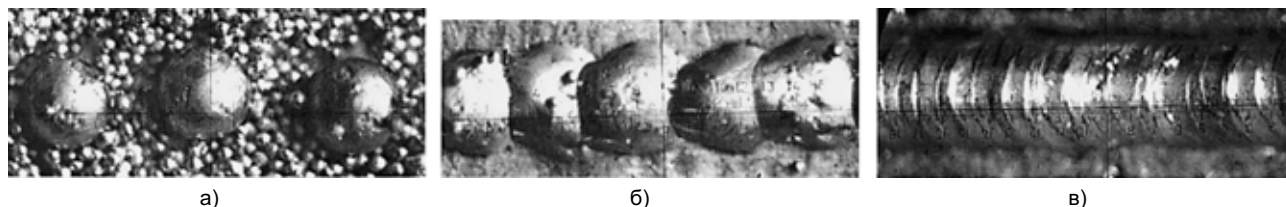
Особое влияние на формирование наплавленного слоя оказывает частота следования импульсов. Порционное вложение энергии приводит к существенному отличию протекания процесса затвердевания по сравнению с непрерывным. Основными отличительными параметрами импульсно-периодического излучения являются длительность импульса  $\tau_{\text{и}}$  и паузы  $\tau_{\text{п}}$ , длительность цикла  $\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{и}} + \tau_{\text{п}}$ . Они определяют расстояние между расплавленными объемами металла

$$S = v_{\text{н}}(\tau_{\text{и}} + \tau_{\text{п}}),$$

где  $v_{\text{н}}$  — скорость перемещения основы.

Наплавленный валик формируется из перекрывающихся друг друга точек. Кристаллизация происходит периодически, так как скорость охлаждения жидкого металла значительна (порядка  $10^5\text{--}10^6 \text{ К/с}$  [2]), а время паузы достаточно для затвердевания ( $\tau_{\text{п}} = 0,1 \text{ с}$ ). Чем больше частота импульсов, тем больше перекрытие точек при постоянной скорости.

При малой частоте следования импульсов на поверхности наблюдаются отдельно расположенные капли переплавленного присадочного материала (рис. 2). Их форма зависит от сочетания рас-



**Рис. 2. Наплавленные валики, полученные при различной частоте следования импульсов лазерного излучения ( $\times 20$ )**  
 ( $h = 0,25 \text{ мм}$ ): а—в —  $f$  равна  $0,5$ ,  $1,0$  и  $4,0$  Гц



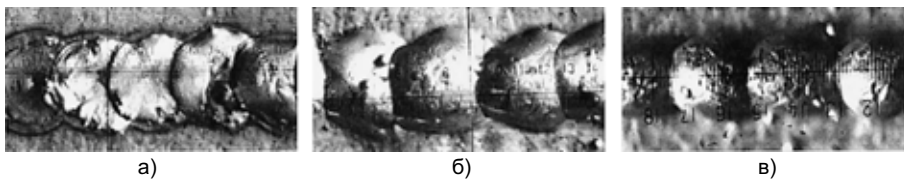


Рис. 3. Наплавленные валики, полученные при различной высоте переплавляемого металла ( $\times 20$ ) ( $f = 1$  Гц): а—в —  $h$  равна 0,05, 0,25 и 0,50 мм соответственно

хода порошка, определяемого высотой насыпанного слоя, и плотности мощности в пятне нагрева. Чем больше высота слоя насыпанного порошка относительно диаметра пятна, тем меньше радиус кривизны капли (рис. 3), которая приобретает сферическую форму. Уменьшение высоты насыпанного слоя приводит к увеличению радиуса кривизны. Капля становится плоской. Увеличение энергии в импульсе или плотности мощности приводит к возрастанию температуры расплавленного металла, что вызывает снижение поверхностного натяжения, а также активацию подложки. Это способствует смачиванию поверхности подложки и увеличению радиуса кривизны капли.

Увеличение частоты следования импульсов приводит к перекрытию наплавленных точек, и валик становится непрерывным. При большом расходе порошка или большой высоте насыпанного слоя наблюдается несплавление наплавленного металла с подложкой. Происходит отделение валика от основы. Полученные данные не противоречат результатам работы [3].

Обработка экспериментальных данных позволила получить следующие регрессионные зависимости, связывающие режимы наплавки с размерами единичного валика.

Ширина валика

$$B = 0,174 + 0,0680W + 0,0627v - 0,0102\Delta F + 0,0311f + 0,345h - 0,00706Wv + 0,00178W\Delta F - 0,00478Wf - 0,0250Wh + 0,00772v\Delta F - 0,00337vf - 0,0348vh - 0,000883\Delta Ff - 0,0210\Delta Fh + 0,00859fh.$$

Высота валика

$$H = -0,173 + 0,0202W + 0,0784v + 0,0567\Delta F + 0,0247f + 1,88h - 0,001831Wv - 0,00549W\Delta F - 0,0246Wh + 0,001625v\Delta F - 0,00338vf - 0,375vh - 0,00134\Delta Ff - 0,0788\Delta Fh + 0,00240fh.$$

Глубина проплавления

$$h_1 = -0,0065 + 0,109W - 0,0933v - 0,161\Delta F - 0,015f - 0,388h - 0,00361Wv - 0,00628Wf - 0,111Wh + 0,0278v\Delta F + 0,00488vf + 0,121vh + 0,00627\Delta Ff + 0,151\Delta Fh + 0,0928fh.$$

Анализ уравнений регрессии показал, что с увеличением частоты следования импульсов высота валика увеличивается, а ширина валика и глубина подплавления подложки уменьшаются (рис. 4, а),

возрастание энергии в импульсе приводит к увеличению высоты, ширины валика и глубины подплавления подложки (рис. 4, б). С увеличением скорости высота, ширина валика, а также глубина подплавления подложки уменьшаются (рис. 4, в). Повышение расхода порошка или высоты его слоя вызывают увеличение высоты и ширины валика и уменьшение глубины проплавления подложки (рис. 4, г). Влияние расфокусировки зависит от толщины насыпанного слоя. При его большой толщине, равной 0,5 мм, высота, ширина валика и глубина подплавления подложки уменьшаются с увеличением расфокусировки (рис. 4, д). При толщине менее 0,2 мм наблюдается некоторое увеличение их высоты и ширины (рис. 4, е).

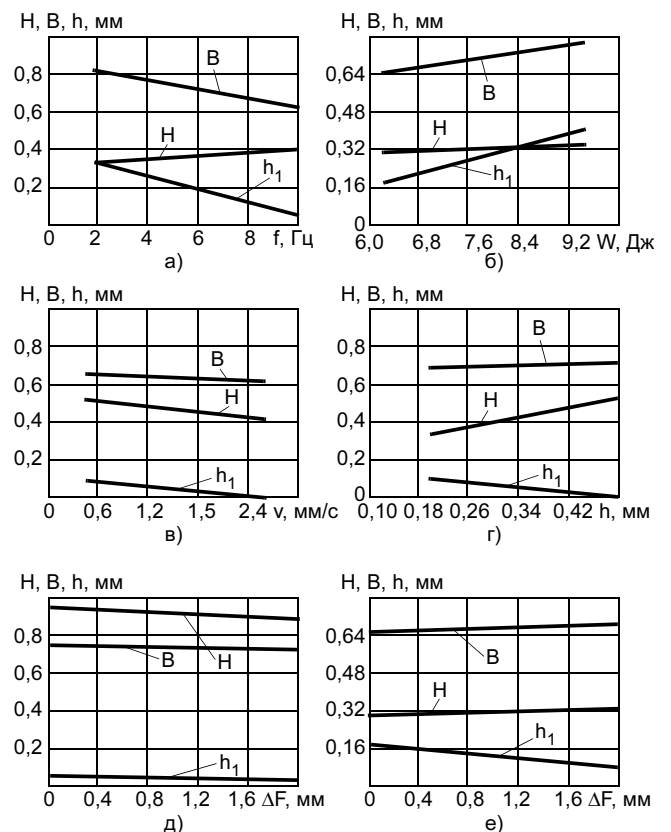


Рис. 4. Зависимость размеров валиков, наплавленных импульсно-периодическим лазерным излучением, от режимов наплавки ( $B$  — ширина,  $H$  — высота,  $h_1$  — глубина проплавления): а —  $f = 2 \div 10$  Гц,  $h = 0,2$  мм,  $W = 9,8$  Дж,  $v = 2,5$  мм/с,  $\Delta F = 2$  мм; б —  $W = 6,25 \div 9,8$  Дж,  $f = 2$  Гц,  $h = 0,2$  мм,  $v = 2,5$  мм/с,  $\Delta F = 0$ ; в —  $v = 0,5 \div 2,5$  мм/с,  $f = 10$  Гц,  $h = 0,2$  мм,  $W = 6,25$  Дж,  $\Delta F = 0$ ; г —  $h = 0,2 \div 0,5$  мм,  $f = 2$  Гц,  $W = 6,25$  Дж,  $v = 2,5$  мм/с,  $\Delta F = 2$  мм; д —  $\Delta F = 0 \div 2$  мм,  $f = 10$  Гц,  $h = 0,5$  мм,  $W = 6,25$  Дж,  $v = 0,5$  мм/с; е —  $f = 2$  Гц,  $h = 0,2$  мм,  $W = 6,25$  Дж,  $v = 2,5$  мм/с



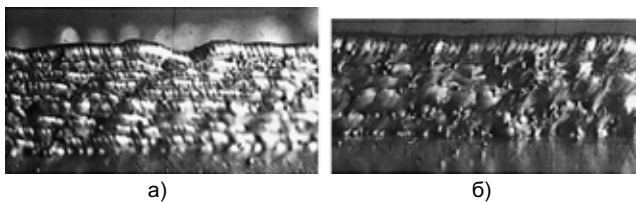


Рис. 5. Многопроходные валики ( $v = 1$  мм/с,  $\Delta F = 2$  мм (первый—пятый слой),  $\Delta F = 3$  мм (шестой—десятый слой),  $f = 4$  Гц, расход порошка  $G = 0,400$  г/мин): а, б — боковая и коаксиальная подача порошка соответственно

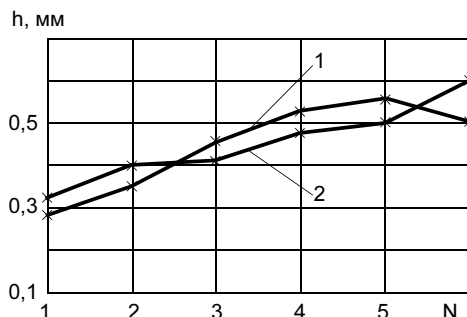


Рис. 6. Зависимость высоты наплавленного слоя от числа проходов при боковой (1) и коаксиальной (2) подаче порошка

Следующий этап посвящен исследованию особенностей формирования многопроходных объемных элементов. Эксперименты проводили на установке "Квант-15", оснащенной устройством подачи порошка, подаваемого в зону обработки одновременно с лазерным лучом. Специфика использования импульсно-периодического излучения заключается в подаче порошка с малыми расходами. Для этого применяли специальное устройство, принцип действия которого основан на использовании гравитационных сил. Эксперименты показали, что для стабильного формирования валика необходимо разделять порошок на фракции, в пределах которых разброс диаметров порошинок составляет 50 мкм. Использовали порошок фракции 50—100 мкм.

Исследовали формообразование наплавленных валиков при боковой и коаксиальной подачах порошка (рис. 5). На оптимальных режимах лазерной обработки наплавленные валики имели равномерные геометрические размеры по длине и малую глубину подплавления основы. Поверхность валика, как и в случае однослойной наплавки, имеет "чешуйчатое" строение. Расстояние между чешуйками пропорционально частоте импульсно-периодического излучения. По длине валика происходит колебание его высоты в пределах 0,1 мм. Внешне это выражается в волнистости поверхности.

При боковой подаче порошка отмечены неравномерные колебания высоты наплавленного слоя по длине наплавки (рис. 5, а). Разброс высоты по

длине наплавленного валика при боковой подаче в 1,87 раз больше, чем при коаксиальной.

Установлено, что равномерность формы валика по высоте и ширине зависит от концентрации порошка в струе. При попадании его в зону обработки в виде распыленной струи получается равномерный валик. Это происходит при коаксиальной подаче. То же наблюдается в случае малого расхода порошка при боковой подаче. Некоторыми технологическими приемами удается получить распыленную струю при боковой подаче. В этом случае высота наплавленного валика также равномерная.

Экспериментально исследовали изменение высоты наплавленного слоя в зависимости от числа проходов при сохранении положения фокальной плоскости относительно поверхности предыдущего валика. При боковой подаче отмечено некоторое снижение темпа прироста высоты по мере увеличения числа проходов (рис. 6). Важное значение имеет положение фокальной плоскости относительно наплавленной поверхности. При уменьшении расфокусировки наблюдаются выбросы жидкого металла и уменьшение количества необходимого присадочного порошка.

## ВЫВОДЫ

1. Установлена принципиальная возможность применения объемного лазерного формообразования для изготовления и восстановления деталей машин с использованием импульсно-периодического лазерного излучения.

2. При исследовании влияния режимов лазерного объемного формообразования на форму и размеры наплавленных валиков при применении твердотельных импульсно-периодических лазеров установлено, что при боковой подаче порошка темп прироста высоты отдельного валика снижается по мере увеличения числа проходов. Равномерность формы валика зависит от концентрации порошка в струе. При попадании его в зону обработки в виде распыленной струи получается равномерный по высоте и ширине валик. При боковой подаче наблюдается неравномерность высоты наплавленного слоя по длине наплавки. Разброс высоты по длине наплавленного валика при боковой подаче почти в 2 раза больше, чем при коаксиальной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.pomgroup.com/>
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н., Шибеев В. В. Влияние режимов порошковой лазерной наплавки на условия формирования и размеры наплавленных валиков // Сварочное производство. 1983. № 6. С. 11—13.
3. Hans Gedda. Laser Cladding: An Experimental and Theoretical Investigation // PhD-thesis. Sweden, 2004. 99 p.

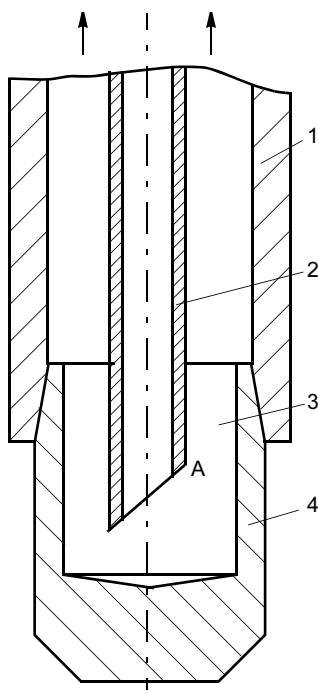
**Е. Ю. ЛАТЫПОВА, инж., С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук,  
Ю. А. ЦУМАРЕВ, канд. техн. наук, С. Н. ЕМЕЛЬЯНОВ, инж.  
Белорусско-Российский университет (Могилев, Белоруссия)**

## Модернизация системы охлаждения электродов для контактной точечной сварки

Надежное охлаждение электродов при контактной точечной сварке обеспечивает не только повышение срока их службы с соответствующим сокращением затрат на замену, но и улучшает качество сварки, в частности, существенно влияет на характер образования вмятин от электродов на лицевых поверхностях изделий. Уменьшение глубины вмятины в указанных зонах достигается за счет снижения температуры и соответствующего увеличения сопротивления пластическому течению нагретого металла в осевом и радиальном направлениях, для чего необходимо обеспечить улучшение условий охлаждения торца электрода.

Традиционная система охлаждения электродов, основанная на подаче воды к охлаждаемому торцу электрода через трубку со скошенным торцом (рис. 1), имеет ряд недостатков:

- образование застойных зон;
- неполное использование потока охлаждающей воды, часть которого движется на расстоянии от рабочего торца (в области точки А) и уходит на слив без взаимодействия с охлаждаемыми элементами электрода;



**Рис. 1. Традиционная схема системы охлаждения электрода для контактной точечной сварки:** 1 — корпус; 2 — отводящая трубка; 3 — полость; 4 — сменный электрод

— при тепловом взаимодействии двух потоков воды через тонкую стенку подающей трубки в результате теплообмена подводится к рабочему торцу вода частично нагревается горячей водой, которая движется вдоль подающей трубки от охлаждаемого торца на слив. Проведенные эксперименты показали, что при перепаде температур  $38^{\circ}\text{C}$  и толщине стенки медной подающей трубки  $0,5\text{ мм}$  температура сливаемой воды снижается примерно на  $2^{\circ}\text{C}$ . Предлагаемые изменения в конструкции электрода не влияют на температуру подаваемой воды, поэтому более чем на  $5\%$  уменьшается количество теплоты, отводимой системой охлаждения из зоны сварки;

— низкая турбулентность потока охлаждающей воды и плохое перемешивание отдельных его слоев. Все это снижает эффективность охлаждения.

В данной работе предлагается модернизированная система охлаждения электрода (рис. 2), исключающая отмеченные недостатки.

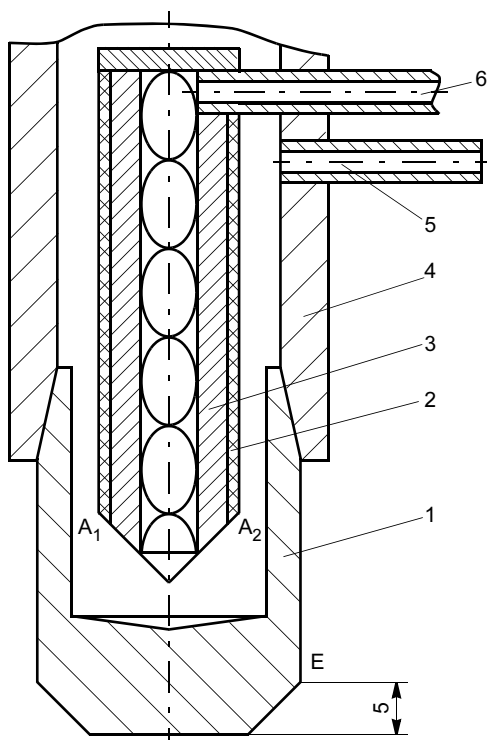
Основные ее отличия заключаются в следующем.

Вместо одного косого среза подающей трубки выполнены два, вследствие чего вместо наиболее удаленной точки А (см. рис. 1) образовались точки  $A_1$  и  $A_2$ , расположенные значительно ближе к охлаждаемому торцу. Тем самым обеспечивается более полное использование потока охлаждающей воды. Такое конструктивное решение является удачным компромиссом между известным вариантом с одним косым срезом и рекомендованной в работе [1] конструкцией электродного узла, в которой подающая трубка не имеет скоса.

На подающей трубке выполнена тепловая изоляция в виде покрытия из материала с низкой теплопроводностью, например полимерного. Тепловая изоляция потока, протекающего внутри подающей трубки, от нагретой воды, движущейся снаружи, может быть обеспечена заменой металлической трубы на полимерную. При этом достигается и хорошая коррозионная стойкость.

Внутри подающей трубки размещен ленточный завихритель — тонкая металлическая полоса, закрученная вокруг собственной оси.

Применение ленточного завихрителя позволило закрутить поток охлаждающей воды и увеличить



**Рис. 2.** Схема модернизированной системы охлаждения электрода для контактной точечной сварки: 1 — сменный электрод; 2 — покрытие из материала с низкой теплопроводностью; 3 — подводящая трубка; 4 — электрододержатель; 5, 6 — штуцеры соответственно для отвода и подвода охлаждающей жидкости

скорость его частиц без увеличения расхода. При этом соответственно возрастает и значение числа Рейнольдса [2]

$$Re = vl/\mu, \quad (1)$$

где  $v$  — скорость частиц;  $l$  — характерный размер;  $\mu$  — кинематическая вязкость.

Интенсивность конвективного теплообмена между поверхностью твердого тела и потоком жидкости определяется значением безразмерного коэффициента теплоотдачи (критерия Нуссельта), который в случае турбулентного потока жидкости пропорционален числу Рейнольдса в степени, близкой к единице [3]:

$$Nu = \alpha l / \lambda = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности жидкости;  $Pr$  — критерий Прандтля.

Таким образом, закручивание потока охлаждающей жидкости внутри охлаждаемого электрода увеличивает при прочих равных условиях значение критерия Нуссельта, а значит, и интенсивность теплообмена между этим потоком и охлаждаемой поверхностью. При этом максимальная скорость частиц, а значит, и наиболее эффективный теплообмен имеют место как раз на охлаждаемой поверхности.

Кроме повышения турбулентности потока в предлагаемой системе охлаждения происходит значительно большее механическое взаимодействие частиц движущейся жидкости с охлаждаемой поверхностью. В традиционной системе охлаждения частицы воды движутся вдоль стенок цилиндрического канала прямолинейно и без ускорения. В закрученной струе частицы движутся по винтовой линии, которая имеет постоянный радиус кривизны

$$R = \frac{r^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}}{r}, \quad (3)$$

где  $r$  — радиус цилиндрической поверхности канала;  $h$  — шаг закрутки.

При  $r = h = 0,6$  см  $v = 3$  м/с, что соответствует реальным условиям охлаждения и рекомендациям работ [1, 4],  $R = 0,615$  см, а нормальное ускорение  $a_n = v^2/R = 1463$  м/с<sup>2</sup>.

Столь значительное ускорение свидетельствует о существенном механическом взаимодействии потока жидкости с охлаждаемой поверхностью. Следствием такого взаимодействия является деформирование пограничного слоя и уменьшение его толщины, резкое увеличение теплообмена, улучшение условий эксплуатации электродов и соответствующее повышение их стойкости.

С целью определения эффективности предложенной системы охлаждения проводили экспериментальные исследования. Сваривали образцы из низкоуглеродистой стали толщиной (1 + 1) мм в режиме "серия сварок" с паузой между сваркой точек 1 с. Параметры процесса сварки: сварочный ток  $I_{св} = 9$  кА; время протекания тока  $\tau_{св} = 0,2$  с; усилие сжатия электродов  $F_{св} = 3200$  Н. Для устранения вмятины с лицевой стороны изделия использовали электрод с увеличенной площадью контакта, центральная часть которого в процессе сварки изнашивалась из-за накопления пластических деформаций. Это приводило к ухудшению внешнего вида лицевой стороны изделия по мере увеличения числа сварных точек. В ходе экспериментов непосредственное измерение температуры контакта электрод—деталь вызывало затруднения, поэтому измерения проводили при помощи термопары, помещенной в точку  $E$  (см. рис. 2).

Из результатов измерения температуры (рис. 3) следует, что предлагаемая система охлаждения более эффективна и обеспечивает снижение температуры в контролируемой точке примерно на 30 °С уже после сварки 25 точек. Снижение температуры нагрева электрода после модернизации системы охлаждения обеспечило значительное снижение уровня накопленных пластических деформаций на торцевой поверхности электрода (рис. 4). На рис. 4

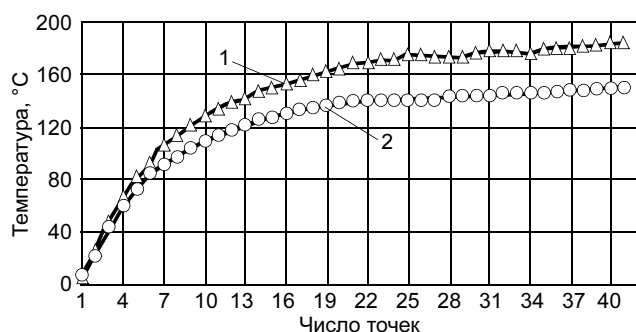


Рис. 3. Зависимость температуры нагрева электрода в точке E от числа свариваемых точек: 1 — традиционная система охлаждения в сварочной машине МТ-1617; 2 — предлагаемая система охлаждения

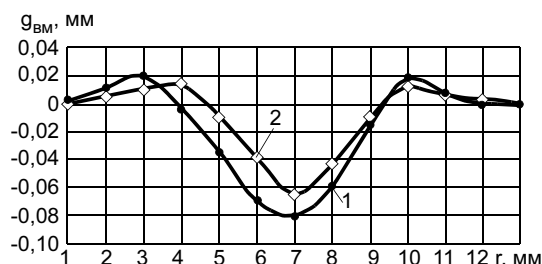


Рис. 4. Характер распределения пластических деформаций на рабочем торце электрода с увеличенной площадью контакта после сварки 500 точек: 1, 2 — см. рис. 3

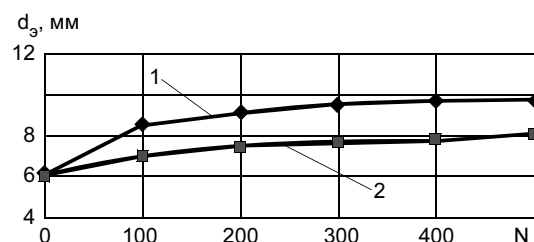


Рис. 5. Зависимость изменения диаметра электрода от числа сварных точек  $N$  при сварке оцинкованной стали: 1, 2 — см. рис. 3

приведены сравнительные данные о распределении пластических деформаций электрода после сварки 500 точек. Модернизация системы охлаждения способствует уменьшению износа электрода на 20 %.

Данные о стойкости электродов при точечной сварке низкоуглеродистой стали 08кп толщиной (1,5 + 1,5) мм приведены в работах [5, 6]. При этом число свариваемых точек до критического загрязнения поверхности электрода составляло 1000—2000 шт., до критического увеличения диаметра — 3000—5000 шт.

При сварке оцинкованных сталей критическое увеличение диаметра электрода и загрязнение его рабочей поверхности происходит при сварке 300—500 точек [5].

Для уменьшения объема выборки экспериментальную оценку эффективности предложенной системы охлаждения проводили при сварке стальных пластин толщиной (1 + 1) мм с цинковым покрытием, нанесенным электролитическим способом. Сварку осуществляли в автоматическом режиме с паузой между точками 1 с. Параметры режима сварки: сварочный ток  $I_{св} = 10,5$  кА; время протекания тока  $\tau_{св} = 0,2$  с; усилие сжатия электродов  $F_{св} = 3800$  Н; расход воды 7 л/мин; темп сварки 40 точек в 1 мин.

На рис. 5 приведена динамика изменения диаметра электрода при различных системах его охлаждения. Согласно результатам экспериментов, после сварки 500 точек диаметр контактной поверхности электрода при сварке оцинкованной стали с обычной системой охлаждения увеличился на 55—60 %, а при сварке с модернизированной системой охлаждения — лишь на 30—35 % по сравнению с начальным диаметром.

Предлагаемую схему модернизации конструкции электродного узла машины для контактной точечной сварки можно применять и при рельефной сварке<sup>1</sup>.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена модернизация системы охлаждения электродов в машинах для контактной точечной сварки, отличительной особенностью которой является наличие двух косых срезов на торце подающей трубки и теплоизолирующего слоя на ее наружной поверхности, а также завихрителя, установленного внутри этой трубки.

2. Модернизация системы охлаждения позволяет уменьшить деформации центральной части электрода с увеличенной рабочей поверхностью на 20 % и снизить увеличение диаметра контакта электрода с рабочей поверхностью при сварке сталей с цинковым покрытием примерно на 25 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов Л. В. Расчет оптимального расхода воды для охлаждения электродов машин контактной точечной сварки // Автоматическая сварка. 1986. № 7. С. 55—58.
2. Краткая химическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1965. Т. 4. С. 111.
3. Воронин Г. И., Дубровский Е. В. Эффективные теплообменники. М.: Машиностроение, 1973. 96 с.
4. Глебов Л. В., Филиппов Ю. И., Чулошников П. Л. Устройство и эксплуатация контактных машин. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 312 с.
5. Технология и оборудование контактной сварки / Под ред. Б. Д. Орлова. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1986. 348 с.
6. Слиозберг С. М., Чулошников П. Л. Электроды для контактной сварки. Л.: Машиностроение, 1972. 96 с.

<sup>1</sup> Патент 6509, 831, 113 (Республика Беларусь).



**В. А. КОРОТКОВ, д-р техн. наук, А. В. ШЕКУРОВ, аспирант  
ООО "Композит" (Нижний Тагил)**

## Исследование плазменной закалки

В конце 40-х годов XX века за рубежом решали проблему автоматизации аргодуговой наплавки стеллитами. Вследствие хрупкости невозможно вложение данных сплавов в проволоку, поэтому непрерывную подачу в дугу производили вдуванием порошка. Но разлетающиеся частицы быстро засоряли конец вольфрамового электрода. Чтобы избежать этого, электрод поместили внутри водоохлаждаемого сопла. При этом был получен побочный эффект — повышение устойчивости горения дуги в результате ее обжатия и превращения из конусообразной в шнуроподобную (рис. 1). Такую дугу сначала называли обжатой, но затем с учетом ее более высокой температуры стали называть плазменной. Она сохраняла устойчивость в широком диапазоне расхода плазмообразующего газа, поэтому данный способ кроме наплавки нашел применение также при сварке и резке. В конце 70-х гг. с применением такой дуги стали проводить поверхностную закалку [1]. Наиболее общие характеристики процесса плазменной закалки приведены в работах [2—6].

Плазменной дугой прямого действия, когда деталь находится под напряжением, удается закалить слой небольшой толщины (около 1,0 мм). При этом, как правило, не требуется подачи воды на разогретый участок. Из-за его малых размеров необходима для закалки скорость охлаждения обеспечивается теплоотводом в тело детали.

Твердость, получаемая при плазменной закалке, обычно на 1—3 HRC выше, чем при объемной закалке с нагревом в печах и охлаждением в воде или масле. Это обусловлено структурным наклепом в результате высоких скоростей нагрева и охлаждения.

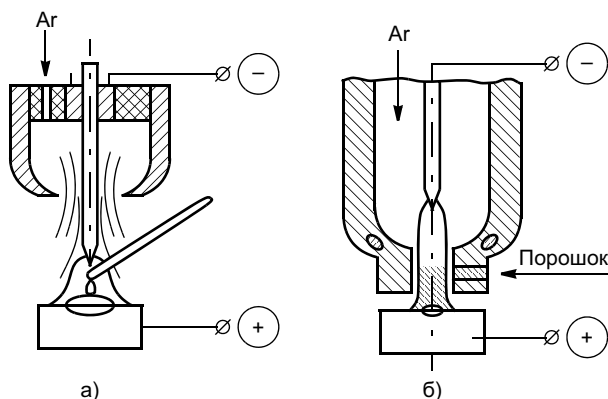


Рис. 1. Аргодуговая горелка (а) и плазматрон (б)

Обычно поверхностная твердость на закаленной дорожке имеет наибольшее значение в средней ее части, а по краям — ниже на 1—3 HRC. Кроме того, снижение твердости происходит в результате отпуска от теплового воздействия соседних дорожек.

По мере удаления от поверхности твердость, как правило, снижается. Но в высокоуглеродистых и легированных сталях в тонком поверхностном слое может сохраняться повышенное количество (30—80 %) остаточного аустенита, который снижает твердость. В этих случаях с удалением от поверхности твердость сначала увеличивается, а затем начинает снижаться.

Плазменная закалка изменяет рельеф поверхности. На сталях, при закалке которых выделяется небольшое количество остаточного аустенита (60XH), закаленные дорожки из-за мартенситного превращения, сопровождающегося увеличением объема, поднимаются над незакаленными прилегающими участками. В сталях же, при закалке которых образуется повышенное количество остаточного аустенита (150XHM), закаленные дорожки, наоборот, опускаются.

Остаточные напряжения в закаленной дорожке обычно сжимающие вследствие мартенситного превращения, но за пределами дорожек и в местах их перекрытия переходят в растягивающие. При односторонней закалке тонкой пластины (около 20 мм) закаленная грань приобретает вогнутость. Это свидетельствует о преобладании растягивающих макронапряжений.

На качество закалки заметно влияют изменения длины дуги и скорости ее перемещения. В одних случаях это приводит к оплавлению поверхности, а в других — к исчезновению закаленного слоя. Поскольку поддержание указанных параметров при ручном ведении процесса затруднительно, то ручная плазменная закалка практического применения долго не получала. Это было существенным упущением, поскольку многие быстроизнашивающиеся поверхности неудобны для применения автоматической плазменной закалки и поэтому эксплуатируются неупрочненными. Совершенствование оборудования и технологии позволило преодолеть указанный недостаток и с 2002 г. ручную плазменную закалку стали применять в промышленных масштабах.

Ручную закалку стали 40X проводили с поперечными колебаниями на образце размером

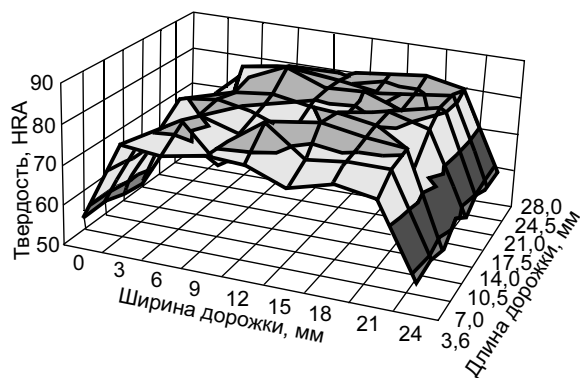


Рис. 2. Твердость поверхности образца 120-1 (средняя — 35 HRC; средняя по центру дорожки — 41 HRC)

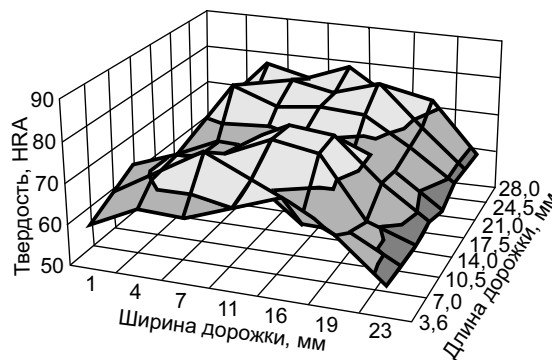


Рис. 3. Твердость поверхности образца 120-2 (средняя — 47 HRC; средняя по центру дорожки — 56 HRC)

600 × 80 × 40 мм при токе 120 А. Сначала закалили одну сторону образца, а затем другую. Время закали первой стороны (образец 120-1) составило 55 с, а второй (образец 120-2) — 39 с. Уменьшение времени закали второй стороны образца связано с его разогревом и, чтобы избежать оплавления второй стороны, перемещение дуги было ускорено.

Из образца вырезали закаленный темплет размером 80 × 40 × 30 мм. Торцы образца отполировали и протравили 20 %-ным раствором азотной кислоты. Травлением выявили, что глубина закали на образце 120-1 составляет около 0,6 мм при ширине дорожки 17—18 мм, тогда как глубина закали образца 120-2 составляет около 0,8 мм при ширине дорожки 19—20 мм. Глубину закали определяли на микроскопе МПБ-2 (× 24, цена деления шкалы 0,05 мм).

Поверхность образца 120-1 была разбита на семь участков, а образца 120-2 — на девять. На каждом участке твердомером ИТ-5006 проводили несколько измерений твердости по шкале HRA алмазным конусом при нагрузке в 588,4 Н. Результаты, пересчитанные на твердость HRC, приведены на рис. 2 и 3. Из них можно заключить, что плазменная закалка, выполненная вручную, обеспечивает довольно равномерное распределение твердости на упрочненной поверхности.

Разработанная для закали плазменная горелка имеет небольшие размеры, что позволило приступить к упрочнению крупномодульных зубчатых колес (рис. 4). Износостойкость исследовали на валу-шестерне (сталь 45,  $m = 20$ ,  $z = 27$ ) привода мельницы МШР 3,6 × 4,0 Высокогорского горно-обогатительного комбината. Поверхностная твердость в результате закали увеличилась<sup>1</sup> с 23 до 43 HRC. В неупрочненном состоянии вал-шестерня эксплуатируется до полного износа зубьев около 9 мес. С плазменной закалкой после 19 мес. эксплуатации износ зубьев не превышал 50 %. Анало-

гичный результат был получен на зубчатых венцах (сталь 35ГЛ,  $m = 24$ ,  $z = 90$ ) барабана главного подъема сталеразливочного крана грузоподъемностью 225 т Нижнетагильского металлургического комбината. Венцы с плазменной закалкой (рис. 5), повысившей твердость с 20 до 50 HRC, находились в работе до нормативного износа 17 мес, т. е. в 2,8 раза дольше, чем неупрочненные.

Штампы из стали 5ХНМ для горячей штамповки подвергают закалке с отпуском. При этом сквозная прокаливаемость не обеспечивается и по мере удаления от поверхности твердость снижается. Молотовый штамп для горячей штамповки титана ВТ-20 (ВСМПО, г. Верхняя Салда) был изготовлен с твердостью 36 HRC. После восьми осадок со средним съемом на каждой до 10 мм твердость снизилась до 30 HRC, что обусловило его непригодность к рабо-

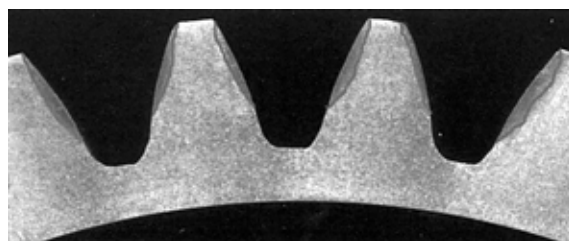


Рис. 4. Макрошлиф зубьев шестерни после ручной плазменной закали



Рис. 5. Ручная плазменная закалка зубчатого венца сталеразливочного крана грузоподъемностью 225 т

<sup>1</sup> Все измерения твердости на промышленных изделиях выполняли переносным ультразвуковым прибором УЗИТ-3.

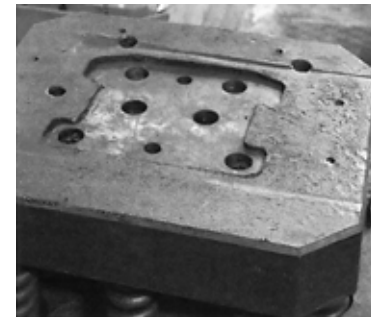
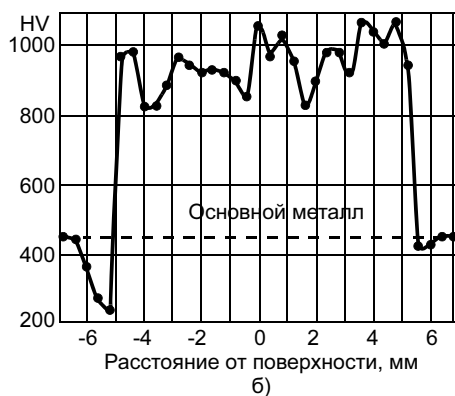


Рис. 6. Распределение твердости по глубине (а) и ширине закаленной дорожки на глубине 0,3 мм (б) при плазменной закалке стали 5XB2C

Рис. 7. Штамп из стали 5XB2C

те. Вместо утилизации штампа его сложную гравюру вручную упрочнили плазменной закалкой с увеличением твердости до 55 HRC. С закаленного штампа сняли 1862 заготовки, что в 1,7 раза больше, чем обычно снимали между осадками штампа. Штамп был отправлен на девятую осадку и повторную плазменную закалку. На рис. 6. приведено распределение твердости стали 5XB2C при плазменной закалке.

На Уралвагонзаводе в 2000-х гг. начали применять более прочные категории металлопроката, что увеличило расход вырубных штампов. С целью продления срока службы была опробована ручная плазменная закалка рабочих кромок. На рис. 7 приведен штамп из стали 5XB2C для горячей (с нагревом до 900 °С) вырубки фигурной планки толщиной 10 мм из стали 30ХГСА. Обычно на штампе вырубят 4000 заготовок, затем его перешлифовывают (осаживают) и повторно вырубят еще 4000 заготовок, после чего штамп утилизируется. Новый штамп подвергали ручной плазменной закалке, что увеличило твердость рабочих кромок с 52 до 62 HRC. После изготовления 7800 заготовок перешлифовали торец пуансона, после изготовления еще 32 000 заготовок у пуансона зачистили боковые поверхности

от задиров. После того как на штампе вырубili 42 200 заготовок, произошел раскол матрицы. Таким образом, стойкость вырубного штампа из стали 5XB2C в результате плазменной закалки увеличилась в 5,3 раза (рис. 8).

Исследовали ручную плазменную закалку чугуна, модифицированного магнием (%): 3,7 C; 0,6 Mn; 1,2 Si; 0,05 Mg. На рис. 9 приведено распределение твердости по глубине закалки, на рис. 10 — микроструктура закаленного слоя. Можно отметить существенное увеличение твердости в результате плазменной закалки.

Из модифицированного чугуна на Челябинском трубопрокатном заводе изготавливают вкладыши для штампов окончательной формовки труб диаметром 530—820 мм. После отливки вкладыши отжигают и производят механическую обработку. Перед установкой их упрочняли газовой закалкой с увеличением твердости с 32 до 52 HRC. Для увеличения твердости до 60 HRC проводили плазменную закалку. Стойкость штампов исследовали на формовке труб диаметром 530 мм. Всего было отформовано 74 тыс. т трубного проката, при этом на одном комплекте вкладышей с плазменной закалкой отформо-

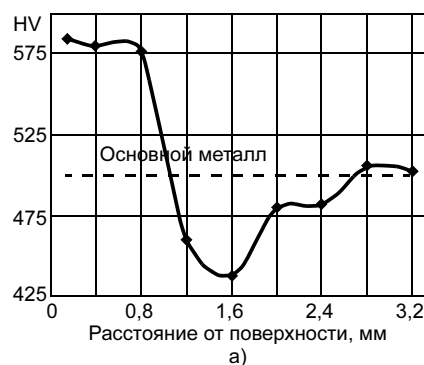


Рис. 8. Распределение твердости по глубине (а) и ширине закаленной дорожки на глубине 0,3 мм (б) при плазменной закалке стали 5XHM

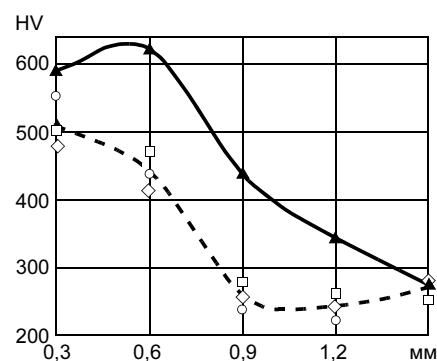
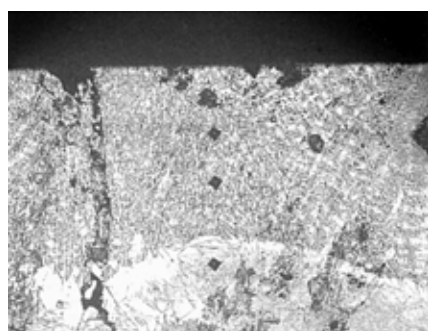
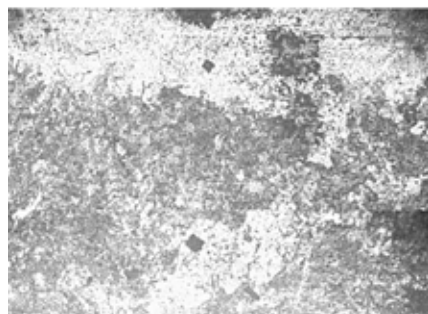


Рис. 9. Распределение твердости по глубине модифицированного чугуна после плазменной закалки (□ — 80 A, ◇ — 100 A, ○ — 140 A, сплошная линия — 140 A с колебаниями)



а)

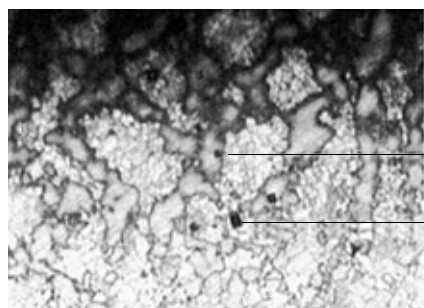


б)

**Рис. 10. Микроструктура ( $\times 100$ ) чугуна:** а — закаленный слой; б — основной металл

вали 54 тыс. т, а на двух комплектах с газовой закалкой — 20 тыс. т (по 10 тыс. т на один комплект). После плазменной закалки стойкость формовочных вкладышей из модифицированного чугуна увеличилась в 5,4 раза по сравнению с газовой закалкой.

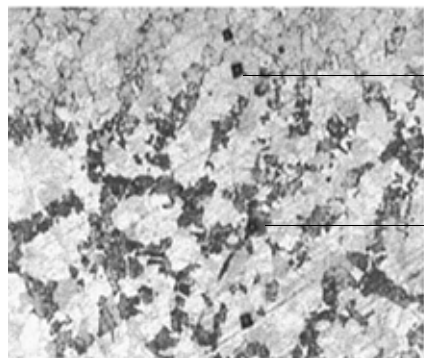
Низкоуглеродистые стали при закалке с печным нагревом пренебрежимо мало повышают твердость, поэтому затраты на упрочнение не компенсируются увеличением срока службы изделий. Вместе с тем известно, что закалка с быстрого нагрева создает на месте перлитных зерен мартенситные участки с высокой твердостью, которые способны существенно влиять на износостойкость изделий. Проверку возможности такого упрочнения при ручной плазменной закалке проводили на образцах размером  $350 \times 250 \times 25$  мм из литой стали с содержанием (%): 0,22 С, 0,85 Мн, 0,47 Si. После закалки из плиты вырезали темплет, на торце которого готовили микрошлиф. По микроструктуре стали (рис. 11) можно проследить, что в закаленном слое на месте перлитных зерен ( $H_{\mu} = 297$ ) образовались мартенситные участки ( $H_{\mu} = 905$ ). Износостойкость такой структуры определяли на машине трения по схеме диск — колодка. В результате плазменной закалки износ упрочненного образца снизился в 9,6 раза, а неупрочненного контртела — в 2,3 раза (см. таблицу).



а)

Мартенсит  
 $H_{\mu} = 905$

Феррит  
 $H_{\mu} = 207$



б)

Феррит  
 $H_{\mu} = 207$

Перлит  
 $H_{\mu} = 276$

**Рис. 11. Микроструктура ( $\times 100$ ) низкоуглеродистой стали после плазменной закалки:** а, б — см. рис. 10

Из низкоуглеродистой стали изготавливают над-рессорные балки вагонных тележек. Быстрому изнашиванию, всего через 150 тыс. км пробега, подвергается борт подпятникового места. Для защиты от износа в 90-х годах к нему стали приваривать полукольца из более прочной стали 30ХГСА, которые при эксплуатации отрывались. Тогда в подпятниковое место стали укладывать "чашу" из той же стали 30ХГСА, но при спуске вагонов во время соударений она могла выходить из подпятника. Поэтому с учетом полученных результатов проводили упрочнение бурта ручной плазменной закалкой (рис. 12). В результате закалки твердость поверхности увеличилась с 180 HB до 40 HRC. Испытания закален-

| Колодка                                                                                            |          |           | Диск           |          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|----------|-----------|
| Состояние                                                                                          | Износ, г | $K_{изн}$ | Состояние      | Износ, г | $K_{изн}$ |
| Без упрочнения                                                                                     | 1,6011   | 1,0       | Без упрочнения | 1,8942   | 1,0       |
| С плазменной закалкой                                                                              | 0,1666   | 9,6       |                | 0,8305   | 2,3       |
| Примечание. Приведены средние значения по трем парам; каждая пара подвергалась трем циклам трения. |          |           |                |          |           |





Рис. 12. Ручная плазменная закалка бурта подпятника железнодорожного вагона с фрагментом закаленной поверхности

ных балок проводили на экспериментальном железнодорожном кольце станции Щербинка. После пробега, эквивалентного 0,5 млн км общесетевой эксплуатации, износ буртов оказался в 3 раза меньше допустимого.

## ВЫВОД

Применение ручной плазменной закалки обеспечивает достаточные для практического применения толщину и твердость закаленного слоя. Так, срок службы шестерни увеличился в 2,8 раза, стальных штампов — в 1,7 и 5,3 раза, чугунных штампов — в 5,4 раза, подпятника железнодорожного вагона из низкоуглеродистой стали — в 3 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roggen R. Durcissement superficial par plasma des aciers au carbone et des fers // *Revue de Metallurgie*. 1979. N 7. P. 532—537.
2. Поверхностное упрочнение сталей плазменной закалкой / В. А. Линник, А. К. Онегина, А. И. Андреев и др. // *МирТОН*. 1983. № 4. С. 2—4.
3. Кобяков О. С., Гинзбург Е. Г. Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющей технологии // *Автоматическая сварка*. 1985. № 5. С. 65—67.
4. Толстов И. А., Коротков В. А. Справочник по наплавке. Челябинск: Металлургия, 1990. 384 с.
5. Особенности электродуговой поверхностной закалки валковых сталей / В. Н. Давыдов, Р. И. Силин, Н. Н. Давыдова и др. // *Черная металлургия*. 1990. № 5. С. 58—60.
6. Коротков В. А., Бердников А. А., Толстов И. А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. Челябинск: Металл, 1993. 144 с.



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

**(495) 105-34-42**



РОССИЯ, МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»

**30 октября – 2 ноября 2007**

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ

**WELDEX**  
РОССВАРКА

7-я Международная специализированная выставка

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

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4

Дирекция выставки: тел./факс: (495) 105-34-42, e-mail: [msa@mvk.ru](mailto:msa@mvk.ru)

---

|                                |                                           |                                                 |
|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Региональные представительства | МVK-УРАЛ: тел./факс: +7 (343) 371-24-76   | МVK-ВОЛГА: тел./факс: +7 (843) 291-75-89        |
| Выставочного холдинга MVK:     | МVK-СИБИРЬ: тел./факс: +7 (383) 226-53-17 | МVK-СЕВЕРО-ЗАПАД: тел./факс: +7 (812) 332-15-24 |
|                                | МVK-ЮГ: тел./факс: +7 (863) 234-52-45     |                                                 |

**Организатор:**

■ Выставочный холдинг MVK

**При поддержке:**

Министерства промышленности и энергетики РФ  
Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков

**При содействии:**







**Генеральный информационный спонсор:**



Журнал «Сварочное производство»

**Информационные спонсоры:**










Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791.754

**В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук**  
**ИЭС им. Е. О. Патона**

## Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки

К началу 70-х годов процессы сварки и наплавки, основанные на поддержании неизменными технологических параметров, практически исчерпали свои возможности. Поиск эффективных способов совершенствования технологий сварки привел к применению способов сварки с регулируемым тепловложением и управлением формированием швов, ОШЗ и наплавленного слоя за счет периодического изменения сварочного тока, напряжения, скорости сварки, колебаний электрода в разделке и их различных комбинаций [1]. Однако, несмотря на имеющиеся публикации по этим способам, механизированное оборудование и его возможности в части дискретного воздействия на характер дуговых процессов изучены недостаточно. Это, в частности, относится и к импульсной подаче электродной проволоки.

В данной работе рассматриваются системы подачи электродной проволоки, обеспечивающие импульсный характер ее движения. В отличие от известных способов прерывистой подачи импульсная подача электродной проволоки рассматривается как результат работы целенаправленно сконструированного механизма.

Это одно из самых разрабатываемых и перспективных направлений на пути совершенствования дугового механизированного оборудования и ряда технологий с его использованием. Перспективность данного направления обусловлена в том числе и тем, что импульсные механизмы в большинстве случаев обеспечивают определенные преимущества перед механизмами непрерывной подачи электродной проволоки, положительно влияя как на технологические процессы, так и конструкцию полуавтомата в целом.

Цель данной работы — определение реальных возможностей основных типов механизмов импульсной подачи при сварке тонко- и толстолистного металла в нижнем и вертикальном положениях сплошными и порошковыми электродными проволоками для разработки и конструирования дугового автоматизированного оборудования для

решения ряда актуальных задач, например сварки неповоротных стыков труб продуктопроводов.

Обычно в научно-технической литературе, посвященной вопросам исследования систем дуговой сварки с импульсной подачей электродной проволоки и их практическому применению [2], отмечается как одно из основных преимуществ возможность сварки тонколистового материала на весу, т. е. без применения технологических подкладок, а в некоторых случаях — и дополнительных теплоотводов. В меньшей степени освещены вопросы сварки с импульсной подачей электродной проволоки металла средней и значительной толщины, которые, как правило, необходимо сваривать в несколько проходов.

В экспериментальных исследованиях возможностей импульсной подачи применяли два совершенных по конструкции типа подающих механизмов в составе полуавтоматов ПШ107И и А1690 (рис. 1). На рис. 1, а приведен полуавтомат ПШ107И с механизмом импульсной подачи на основе квазиволновой передачи (КВП) [3]. Квазиволновой, регулируемый по параметрам импульсов редуктор 1 связан с подающим роликом большого диаметра 2. Прижим электродной проволоки к ролику осуществляется двумя роликами 3 и прижимным устройством 4. Такая конструкция подающего ролика и прижимного узла является оригинальной и обеспечивает надежную передачу импульсного движения электродной проволоки. Механизм с односторонними захватами, представленный в составе полуавтомата А1690 (см. рис. 1, б), также имеет оригинальную [4] конструкцию односторонних захватов 5 и 8, позволяющую быстро заменить вышедшие из строя захватные элементы. Кроме того, захваты, перемещаясь по направляющим 6 в противофазе, уравнивают друг друга, исключая вибрацию механизма и полуавтомата в целом. Регулирование формы импульса в данном случае не предусмотрено, а импульсы подачи на проволоку передаются через захваты роликового типа (используются стандартные ролики от подшипников), связанные с

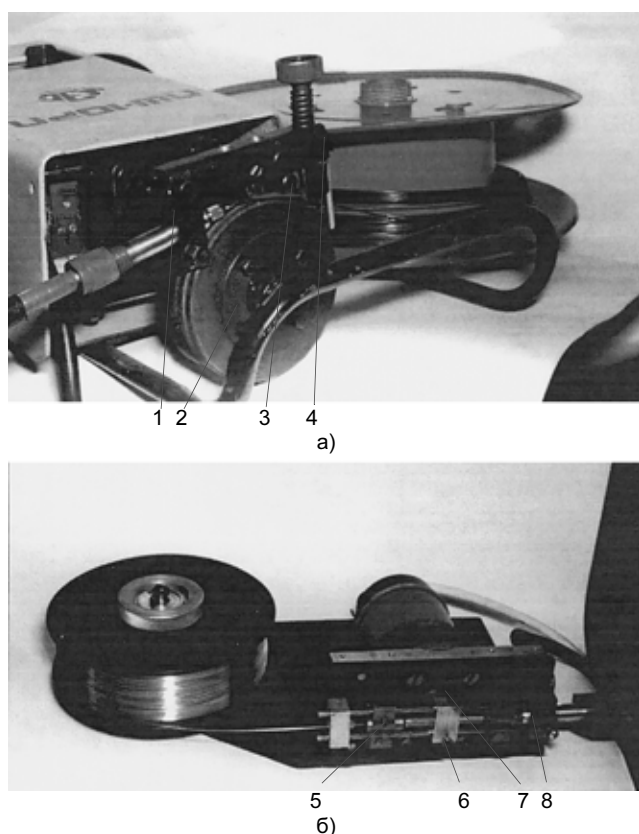


Рис. 1. Полуавтоматы с механизмами импульсной подачи электродной проволоки на основе КВП (а) и с односторонними захватами (б)

двумя эксцентриками 7 на валу приводного электродвигателя. Такая конструкция существенно проще, чем конструкция механизма на основе КВП.

Характеристики импульсной подачи электродной проволоки для разных механизмов приведены в таблице.

Оба полуавтомата оснащены шланговыми держателями одинаковой конструкции и длины. Сравнительные испытания по сварке и наплавке проводили на специальном стенде, конструкция которого предусматривала закрепление обоих держателей и перемещение образцов относительно держателей с регулируемой скоростью. Кроме того, в конструкции стенда предусмотрена возможность сварки в различных пространственных положениях, что

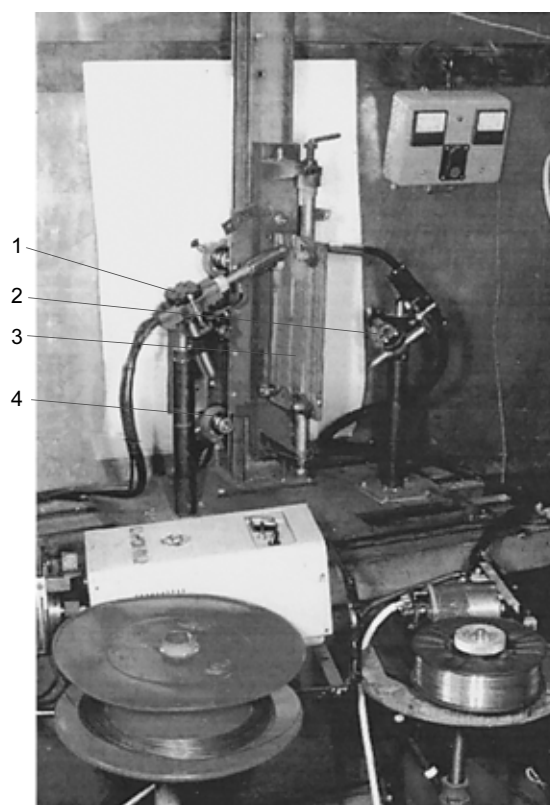


Рис. 2. Стенд для экспериментальной сварки на вертикальной плоскости с различными способами подачи электродной проволоки

достигается поворотом всей конструкции. Стенд в положении сварки на вертикальной плоскости приведен на рис. 2 и содержит поворотные шлицы, в которых зажаты рукоятки шланговых держателей 1 и 2. Свариваемая или наплавляемая деталь 3 перемещается относительно держателей механизмом 4. Такая конструкция стенда обеспечивает одинаковые условия для сравнительного исследования результатов сварки и наплавки полуавтоматами с импульсной подачей электродной проволоки и исключает влияние изменения пространственного положения держателя в процессе сварки. Для некоторых сравнительных испытаний вместо полуавтомата ПШ107И применяли полуавтомат ПШ107Г с непрерывной подачей про-

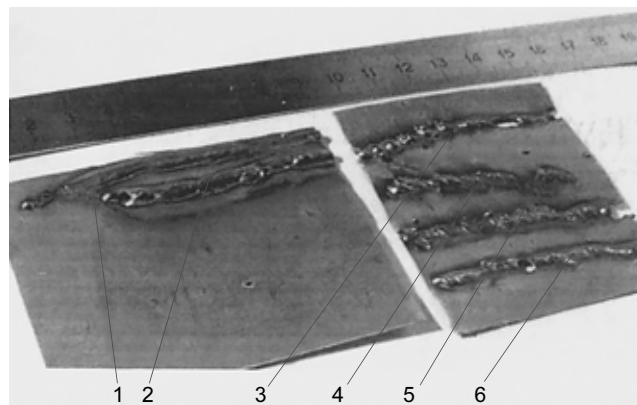
| Механизм импульсной подачи                                                          | Форма импульса                                            | Шаг подачи     | Частота, Гц | Максимальное значение интегральной скорости подачи, м/ч |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|-------------|---------------------------------------------------------|
| С односторонними захватами                                                          | Синусоидальная                                            | $1,5d_э$       | 10—60       | 380                                                     |
| Регулируемый на основе КВП                                                          | Близкая к синусоидальной                                  | $(1,2—2,5)d_э$ | 10—50       | 540                                                     |
| Регулируемый на основе КВП с возможностью получения реверсивного движения проволоки | Близкая к синусоидальной с обеспечением больших ускорений | $(1,2—2,5)d_э$ | 10—50       | 420                                                     |
| Обозначение $d_э$ — диаметр электрода.                                              |                                                           |                |             |                                                         |

волокни. В качестве образцов применяли пластины тонколистового металла (1,0—2,0 мм) средней толщины (3,0—6,0 мм), а также пластины из толстого листа (10 мм). Материал — сталь Ст3. Использовали электродную проволоку Св-08Г2С с медным покрытием диаметром 0,8 и 1,2 мм. Образцы на перемещаемом узле закрепляли шпанайзерами, при этом число точек крепления выбирали минимально необходимым для удержания образца в любом пространственном положении, но с исключением влияния возможных тепловых деформаций от термического воздействия дуги. Сам перемещаемый узел выполнен в виде легкой рамочной конструкции. Все это позволило минимизировать теплопередачу от свариваемых образцов к элементам конструкции перемещаемого узла и тем самым дополнительно исследовать тепловые деформации при сварке с различными способами подачи электродной проволоки.

В качестве источника сварочного тока выбран сварочный выпрямитель ВС 300Б с полнофазной формой выходного напряжения, которое регулируется дискретно. Для изменения наклона внешних ВАХ применяли балластный реостат РБ 350. Такой выбор сварочного источника обусловлен необходимостью исключения влияния на характер дугового процесса изменений угла отпирания тиристорных у регулируемых источников.

### **Сварка и наплавка тонколистовых металлоконструкций полуавтоматами со стационарной и импульсной подачей электродной проволоки**

Образцы валиков, наплавленных на тонколистовой металл толщиной 1,0 мм в разных пространственных положениях при различных способах подачи электродной проволоки диаметром 1,2 мм, приведены рис. 3. Следует отметить наличие прожогов при наплавке в нижнем и вертикальном положениях полуавтоматом с непрерывной подачей проволоки при любых сочетаниях режимов дугового процесса и манипулирования шланговым держателем. Положительный результат в этом случае достигнут только на коротких начальных участках наплавки, а далее с прогревом наплавляемого металла валик провисает. При использовании импульсной подачи положительные результаты были получены при наплавке в нижнем и вертикальном положениях. При этом результаты для нижнего положения в большей части соответствуют выводам работы [5], однако экспериментально установлено, что в этом случае предпочтительнее процесс с импульсной подачей (шаг подачи  $(1,2—1,6)d_э$ ). Ускорение обеспечивает процесс переноса электродного металла с управляемыми короткими замыканиями дугового промежутка. При наплавке на



**Рис. 3. Образцы наплавленных валиков:** 1, 4, 6 — импульсная подача электродной проволоки; 2, 3, 5 — непрерывная

вертикальной плоскости наплавленный валик имеет несколько большую выпуклость, а процесс при указанных значениях шага подачи требует существенно больших ускорений импульса подачи, по возможности близких к процессу с управляемым переносом электродного металла без коротких замыканий. Таким образом, очевидна необходимость преимущественного применения систем импульсной подачи с регулируемыми параметрами импульсного движения.

Особое внимание уделено короблению тонколистового металла в процессе наплавки. Эта проблема актуальна и часто возникает, например, при ремонтной сварке кузовов автомобилей, сварке различных емкостей для пищевой промышленности и др. Исследовали влияние импульсной подачи и ее параметров на возможность снижения коробления тонколистового металла в результате термического воздействия дуги на образцах толщиной 1,0 и 2,0 мм. Следует отметить, что коробление при импульсной подаче заметно ниже, чем при сварке с непрерывной подачей электродной проволоки. Так, при наплавке стальных пластин толщиной 2,0 мм и площадью 200 × 200 мм прогиб при сварке с непрерывной подачей составил более 6,0 мм, а при сварке с импульсной подачей электродной проволоки — менее 2,0 мм. При правильном подборе режимов процесса и параметров импульсной подачи в ряде случаев коробление незначительное и приемлемо для большинства изделий. При этом больший эффект обеспечивает применение импульсной подачи с предельными по устойчивости сварочного процесса шагами импульсов, а следовательно, с меньшей частотой их следования, что также подтверждает эффективность применения полуавтоматов с регулируемой импульсной подачей. Меньшее коробление наплавляемого или свариваемого металла при импульсной подаче, по-видимому, можно объяснить меньшим термическим воздействием дуги на металл,



что хорошо видно по величине ЗТВ на рис. 3. Разные значения шагов и частот импульсной подачи электродной проволоки для решения задач по сварке в различных пространственных положениях и получения шва без прожогов и минимальных короблений также требуют определенных настроек механизма импульсной подачи.

### **Сварка и наплавка металлоконструкций средней толщины полуавтоматами со стационарной и импульсной подачей электродной проволоки**

Наплавляли образцы металла средней толщины 5 и 6 мм. На рис. 4, б приведены валики, наплавленные при различных способах подачи электродной проволоки, а на рис. 4, а — наплавленные в нижнем положении при импульсной подаче током 150—160 А и напряжении в диапазоне 19—28 В. Во всех случаях процесс стабилен, разбрызгивание металла небольшое, но с ростом напряжения меняется соотношение между выпуклостью и шириной валика: валик становится ниже и шире. Получение стабильного процесса сварки при непрерывной подаче электродной проволоки возможно только при определенном соотношении тока и напряжения процесса, при этом, согласно данным работы [6], при одном и том же значении сварочного тока для обеспечения стабильного процесса напряжение может быть изменено на 2—3 В. В случае импульсной подачи изменять напряжение

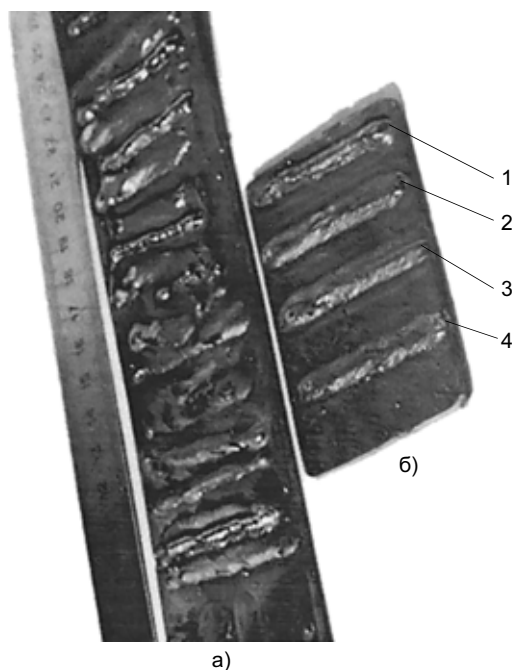


Рис. 4. Образцы валиков, наплавленных на металл средней толщины при различных способах подачи электродной проволоки и напряжении дуги, равном 19 (1), 22 (2), 25 (3), 27 — 28 (4) В

можно в более широких пределах. Данный эффект проявляется только в том случае, когда параметры импульсной подачи выбраны таким образом, что обеспечивают управляемый перенос электродного металла. По-видимому, именно это обстоятельство и определяет возможность расширения оптимальных соотношений параметров дугового процесса — тока и напряжения, т. е. характер и устойчивость процесса определяются переносом электродного металла, а в случае импульсной подачи он задан и меньше зависит от соотношения тока и напряжения, чем при непрерывной подаче.

Значительные изменения напряжения сварки при одном и том же токе без потери устойчивости горения дуги при импульсной подаче электродной проволоки обеспечивают новые возможности в управлении параметрами наплавленного валика [5], а также возможность сварки на вертикальной плоскости, когда с повышением напряжения процесса при одном и том же токе можно удерживать ванну и формировать шов при сварке вертикальных и горизонтальных швов на вертикальной плоскости.

Механизированное оборудование с возможностью регулирования напряжения сварки в широком диапазоне в сочетании с управляемым переносом электродного металла можно рекомендовать для сварки и наплавки в различных пространственных положениях, в том числе и односторонней сварки неповоротных стыков труб небольшого диаметра со стенками небольшой толщины при скорости сварки в  $\text{CO}_2$  30—40 м/ч.

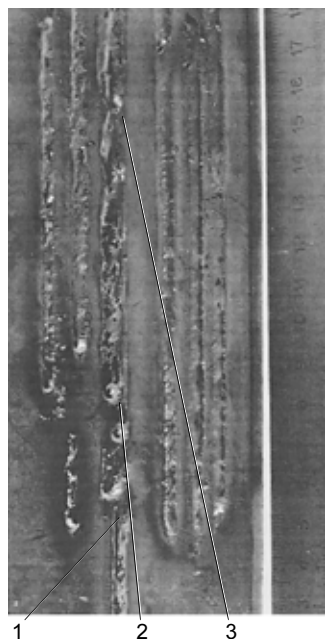
### **Сварка и наплавка металла большой толщины полуавтоматами со стационарной и импульсной подачей электродной проволоки**

Сварку металлоконструкций больших толщин обычно выполняют в несколько проходов, при этом разделку сваривают в несколько приемов: с первоначальным выполнением корневого шва, а затем необходимого числа заполняющих слоев. Сварку корневого и заполняющих швов при применении полуавтоматов с непрерывной подачей проволоки выполняют с соответствующим изменением параметров дугового процесса — тока и напряжения, так как выполнение корневого шва в нижнем положении при сварке тонколистового металла приводит к неизбежному провисанию сварочной ванны. В этом случае проблема сварки корневого шва, в частности при наличии зазоров, весьма сложна. Сложной она остается также и при сварке на вертикальной плоскости. Применение полуавтоматов с импульсной подачей электродной проволоки для сварки толстолистовых металлоконструкций дает опреде-

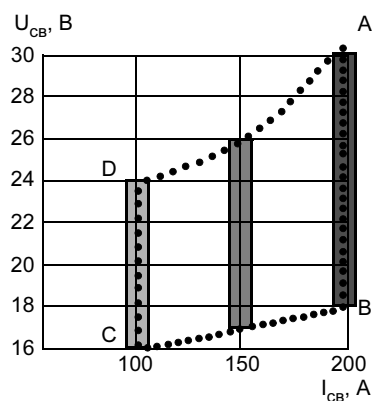
ленные преимущества. Но следует иметь в виду следующее обстоятельство. Параметры импульсной подачи должны быть регулируемыми. При сварке корневых швов параметры должны соответствовать требованиям процесса сварки тонколистовых металлоконструкций, а при выполнении заполняющих швов — конструкций средних толщин. Таким образом, и в этом случае целесообразнее применение полуавтоматов с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки. Результаты сварки и наплавки толстолистовых образцов металла (8,0 мм) на вертикальной плоскости с применением различных способов подачи электродной проволоки приведены на рис. 5. Видно, что качественную сварку корневого шва полуавтоматом с непрерывной подачей обеспечить не удалось. Заполняющий шов, выполненный полуавтоматом с импульсной подачей, имеет удовлетворительное формирование в отличие от швов, полученных полуавтоматом с непрерывной подачей, где наблюдается стекание металла вниз.

В ряде случаев при выполнении швов в разделку на вертикальной плоскости с импульсной подачей электродной проволоки эффективным может оказаться способ сварки с постоянно заданной (установленной) интегральной скоростью подачи, но с изменением в широких пределах напряжения источника сварочного тока. Однако это обеспечивает лишь сварку с импульсной подачей при дозированной величине капель электродного металла, сохраняющая устойчивое течение процесса при значительных изменениях напряжения дуги.

Установлено, что при выполнении корневых швов в разделке на вертикальной плоскости с импульсной, неизменной по величине интегральной



**Рис. 5. Результаты сварки и наплавки толстолистовых образцов металла на вертикальной плоскости при различных способах подачи электродной проволоки: 1 — сварка корневого шва полуавтоматом с импульсной подачей; 2, 3 — участок сварки заполняющего шва полуавтоматом с непрерывной и импульсной подачей соответственно**



**Рис. 6. Зона оптимальных режимов при сварке в  $\text{CO}_2$  с импульсной подачей электродной проволоки**

скоростью подачи эффективно небольшое напряжение сварки, а при заполнении разделки его целесообразно повышать. Такой прием положительно влияет на производительность труда, так как при этом требуется минимальное время на переналадку оборудования.

Авторами установлена зона оптимальных режимов, например, при сварке током 100—200 А с импульсной подачей электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм (рис. 6, обозначена штриховой линией). Эта зона значительно отличается (шире по диапазону токов) от аналогичной зоны для сварки с непрерывной подачей электродной проволоки, приведенной в работе [6].

Расход защитного газа ( $\text{CO}_2$ ) в основном соответствовал параметрам, рекомендуемым в работе [7], однако отмечена следующая тенденция: обычно рекомендуемое повышение уровня расхода защитного газа при сварке в положениях, отличных от нижнего, в частности в потолочном положении при сварке с импульсной подачей электродной проволоки, не требуется.

Установлено также, что при сварке с импульсной подачей электродной проволоки несколько снижается стойкость медных токоподводящих наконечников. Это особо выражено при сварке толстолистовых металлов с большими скоростями импульсной подачи и большими ускорениями. Так, при токе порядка 220—250 А и подаче с реверсированием направления движения стойкость токоподводящего наконечника снижается на 25—40 % по сравнению со сваркой полуавтоматами, обеспечивающими непрерывную подачу. Это, по мнению авторов, исходя из формы и вида износа (в основном электроэрозионного) наконечников можно объяснить тем, что при импульсной подаче вероятность выноса расплавленной прослойки металла токоподводящего наконечника при токопередаче значительно выше, чем при непрерывной подаче. В разработанных полуавтоматах с импульсной подачей электродной проволоки для повышения стойкости токоподводов применены конструкции с компенса-

цией их износа или токоподводы, изготовленные методами порошковой металлургии.

## ВЫВОДЫ

1. Регулируемая импульсная подача электродной проволоки — это новый и эффективный инструмент управления формированием сварного соединения при сварке в различных пространственных положениях с короткими замыканиями дугового промежутка в углекислом газе сталей широкого диапазона толщин.

2. Одним из основных эффектов, выявленных при сварке с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки, является существенное расширение диапазона устойчивых режимов процесса, что можно объяснить дозированием капель электродного металла, переходящих в ванну при каждом импульсе подачи, имеющем определенные параметры.

3. Возможность использования широкого диапазона напряжений сварки при фиксированном

значении тока позволяет в ряде случаев упростить сварочное оборудование, в частности регулирование и наладку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Real-time controlled short-circuiting metal transfer in CO<sub>2</sub> arc welding* / Q. Li, Q. Wang, S. Yang, I. Zin // Abstracts of papers. Presented at 78th American welding society. Los-Angeles, 1997.
2. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 10. С. 3—9.
3. Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г. Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 5. С. 39—44.
4. Лебедев В. А., Никитенко В. П. Перспективные направления в конструировании механизмов подачи электродной проволоки (обзор) // Автоматическая сварка. 1983. № 7. С. 61—69.
5. Лебедев В. А., Пичак В. Г. Механизированная дуговая сварка в CO<sub>2</sub> с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 1998. № 5. С. 30—33.
6. Потапьевский А. Г., Лаврищев В. Я. Разбрызгивание при сварке в углекислом газе проволокой Св-08Г2С // Автоматическая сварка. 1972. № 7. С. 39—42.
7. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 240 с.

УДК 621.791.14

**М. И. ПЛЫШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, В. Н. ТЮРИН, инж.,  
А. Н. СЕМЕНОВ, инж.  
НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала (Москва)**

## Комплексная оценка свойств сварных соединений труб из сплава циркония с содержанием 2,5 % ниобия, выполненных сваркой трением

В данной работе исследованы свойства (прочность, пластичность и коррозионная стойкость) сварных соединений труб с наружным диаметром 88 мм и толщиной стенки 4 мм из сплава циркония с содержанием 2,5 % ниобия (сплав Н-2,5), полученных сваркой трением. Параллельно испытывали также образцы основного металла трубы размером 88 × 4 мм из сплава Н-2,5, обладающего высокими эксплуатационными свойствами.

Проводили следующие испытания и исследования:

- контроль методом акустической эмиссии (АЭ) в процессе охлаждения сварных соединений непосредственно после сварки;
- контроль внешним осмотром после обточки грат с наружной поверхности сварных соединений;
- контроль методом цветной дефектоскопии;

— металлографические исследования зоны сварного стыка с целью определения макро- и микроскопических внутренних сварочных дефектов;

- испытания на статический изгиб;
- испытания на ударный изгиб, в том числе после искусственного наводороживания;
- испытания на малоцикловую усталость при повторно-симметричном изгибе с амплитудой деформации 0,75—0,08 %;

— коррозионные испытания в автоклаве с водой при 285 °С, давлении 8,8 МПа, концентрации кислорода в воде 0,1—0,3 мг/л в течение 5000 ч;

— коррозионные испытания в пароводяной смеси при 350 °С, давлении 16,9 МПа в течение 5000 ч;

— коррозионные испытания в газовой среде (азоте, гелии) при 350 °С в течение 5000 ч.

Работу проводили на штатных трубах из сплава Н-2,5. Сварку трением выполняли на установке

| Номер режима                                                                                           | Параметры режима сварки |                 | Результаты контроля качества |                                       |      |                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------------|------|--------------------------------------------------------|
|                                                                                                        | Давление нагрева, МПа   | Время сварки, с | Цветная дефектоскопия        | Количество импульсов АЭ с амплитудой* |      | Металлография                                          |
|                                                                                                        |                         |                 |                              | <6 В                                  | >6 В |                                                        |
| 1                                                                                                      | 0,8                     | 7               | Дефектов нет                 | 884                                   | Нет  | Дефектов нет                                           |
| 2                                                                                                      | 1,2                     | 3—3,5           | То же                        | Нет                                   | 472  | Прерывистые несплавления шириной около 10 мкм          |
| 3                                                                                                      | 1,2                     | 2—2,5           | "                            | 82                                    | 1    | Дефектов нет                                           |
| 4                                                                                                      | 1,5                     | 1—1,5           | Дефекты есть                 | 190                                   | 470  | Сплошные несплавления с шириной раскрытия более 20 мкм |
| * Браковочным признаком является регистрация импульсов с амплитудой более 6 В в количестве свыше 20.   |                         |                 |                              |                                       |      |                                                        |
| Примечания: 1. Во всех случаях давление проковки 15 МПа.<br>2. Внешним осмотром дефекты не обнаружены. |                         |                 |                              |                                       |      |                                                        |

МСТ-2001 при частоте вращения свариваемых деталей 1000 об/мин.

Исследованные режимы сварки и результаты контроля приведены в таблице. Видно, что бездефектными являются соединения, выполненные на режимах № 1 и 3. При этом наиболее объективную информацию (полная корреляция с разрушающим металлографическим методом контроля) дает метод АЭ [1], позволяющий обнаруживать дефекты с величиной раскрытия 5—10 мкм, в отличие от рентгенографического и ультразвукового методов.

Метод АЭ в сочетании с цветной дефектоскопией и металлографическим методом позволяет обнаруживать дефекты, не допускаемые в сварных соединениях.

Результаты испытаний свойств сварных соединений в сравнении со свойствами основного металла трубы из сплава Н-2,5, обладающего высокими эксплуатационными свойствами, показали следующее:

— при испытаниях на растяжение разрушение бездефектных соединений происходит за пределами ЗТВ по основному металлу трубы, дефектные соединения разрушаются по стыку (режим № 4), предел прочности сварных соединений составляет 470—480 МПа;

— углы изгиба бездефектных соединений велики — более 100°, но существенно снижаются при испытаниях образцов с дефектами (режим № 4 и несколько образцов по режиму № 2);

— испытания на малоцикловую усталость и ударный изгиб дали более высокие результаты для режимов № 1 и 3: эти характеристики весьма близки к характеристикам основного металла трубы; для режимов № 2 и 4 (особенно № 4) они значительно ниже;

— коррозионные испытания в воде и пароводяной смеси при 285 и 350 °С показали, что сварные соединения, полученные на режимах № 3 и 2 (при отсутствии несплавов, выходящих на поверхность) и подвергавшиеся отжигу при 580 °С в течение

10 ч, обладают высокой коррозионной стойкостью: их поверхности покрыты черной оксидной пленкой, увеличение массы образцов и скорость коррозии примерно такие же, как и основного металла трубы; у сварных соединений, полученных по режиму № 1, наблюдается побеление сварных стыков; у образцов, полученных по режиму № 4, отмечается появление серой оксидной пленки на стыках.

Коррозионную стойкость оценивали по цвету оксидной пленки: черная — признак высокой коррозионной стойкости, светло-серая и белая — низкой [2].

При испытаниях на изгиб измерение углов изгиба проводили при образовании трещины длиной 3 мм (ГОСТ 6996—66). При отсутствии трещины испытания проводили до угла изгиба 180°.

Таким образом, по результатам проведенных испытаний и исследований оптимальным является режим № 3: удельное давление на стадии нагрева 1,2 МПа, на стадии проковки — 15 МПа, время сварки 2,5 с.

## ВЫВОДЫ

1. На основании результатов комплексных исследований свойств сварных соединений труб из сплава Н-2,5, полученных сваркой трением, определен оптимальный режим сварки.

2. Проведенные исследования подтвердили перспективность метода контроля акустической эмиссии: наблюдается полная корреляция результатов контроля этим методом в процессе охлаждения сварного соединения (непосредственно после сварки) и разрушающего метода (металлографии).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Тюрин В. Н., Семенов А. Н., Плышевский М. И. Неразрушающий контроль качества сварных соединений труб // Экономика и производство. 1999. № 2. С. 53—54.
- Парфенов В. Г., Герасимов В. В., Венедиктова Г. С. Коррозия циркония и его сплавов. М.: Атомиздат, 1967. 199 с.



**О. Е. КАПУСТИН**, д-р техн. наук  
(РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина),  
**Е. М. ВЫШЕМИРСКИЙ**, инж.  
(ОАО "Газпром"),  
**С. П. СЕВОСТЬЯНОВ**, инж.  
(ООО "Тюментрансгаз")

## Повышение безопасности и качества процессов газовой резки и сварки в системе предприятий ОАО "Газпром"

Постановлениями Ростехнадзора № 101—103 от 19.06.2003 г. утверждены три межотраслевых нормативных документа по вопросам промышленной безопасности, определяющие порядок применения соответственно сварочных материалов, оборудования и технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов: РД 03-613—03, РД 03-614—03, РД 03-615—03.

Приложением № 1 к Рекомендациям по использованию данных нормативных документов, выпущенным в 2006 г. [1], определен по согласованию с Ростехнадзором (№ 09-38/734 от 31.03.2006 г.) Перечень групп технических устройств, опасных технических объектов, сварка (наплавка) которых осуществляется аттестованными сварщиками с применением аттестованных материалов, оборудования и технологий сварки (наплавки).

В группу нефтегазодобывающего оборудования (НГДО) входят промысловые и магистральные газопроводы и конденсатопроводы, трубопроводы для транспортировки товарной продукции, импульсного, топливного и пускового газа в пределах: установок комплексной подготовки газа (УКПГ), компрессорных станций (КС), дожимных компрессорных станций (ДКС), станций подземного хранения газа (СПХГ), газораспределительных станций (ГРС), узлов замера расхода газа (УЗРГ) и пунктов редуцирования газа (ПРГ), находящихся в эксплуатации ОАО "Газпром".

При изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции НГДО широко применяются сварочные технологии, в том числе технологии газовой резки и сварки.

Стандартом ОАО "Газпром" [2], определяющим порядок экспертизы технических условий на оборудование и материалы, аттестации технологии и оценки готовности организаций к выполнению работ по диагностике и ремонту объектов транспорта газа ОАО "Газпром", установлена номенклатура (виды) оборудования, материалов и технологий и утверждены головные экспертные организации по каждому виду оборудования, материалов и технологий.

Головной экспертной организацией по оборудованию газовой резки и сварки, а также технологиям разделительной резки трубопроводов утвержден МЦ "ВНИИАвтогенмаш". Стандарт ОАО "Газпром" введен в действие с 24.07.2006 г.

Многочисленные объекты ОАО "Газпром" расположены на обширной территории от северных границ России до западных и южных. При реализации технологий резки и сварки применяют более 6 тыс. единиц сварочного оборудования, задействовано несколько десятков тысяч сварщиков, резчиков и обслуживающего персонала, а добываемый, транспортируемый, потребляемый газ и газы, используемые при газопламенной обработке металлов, являются взрывоопасными. В связи с этим вопросы обеспечения безопасности при производстве газорезательных и газосварочных работ становятся наи-

важнейшими, имеющими большое социальное значение, влияющими на качество и надежность промышленных объектов.

Работы по обеспечению качества газорезательных и газосварочных работ и повышению безопасности при их выполнении на объектах ОАО "Газпром" включают:

- обучение и аттестацию сварщиков, резчиков и руководящего персонала согласно правилам, утвержденным Ростехнадзором и введенным в действие с 15.01.2000 г.;

- сертификацию сварочного оборудования, подлежащего обязательной сертификации, но еще не сертифицированного;

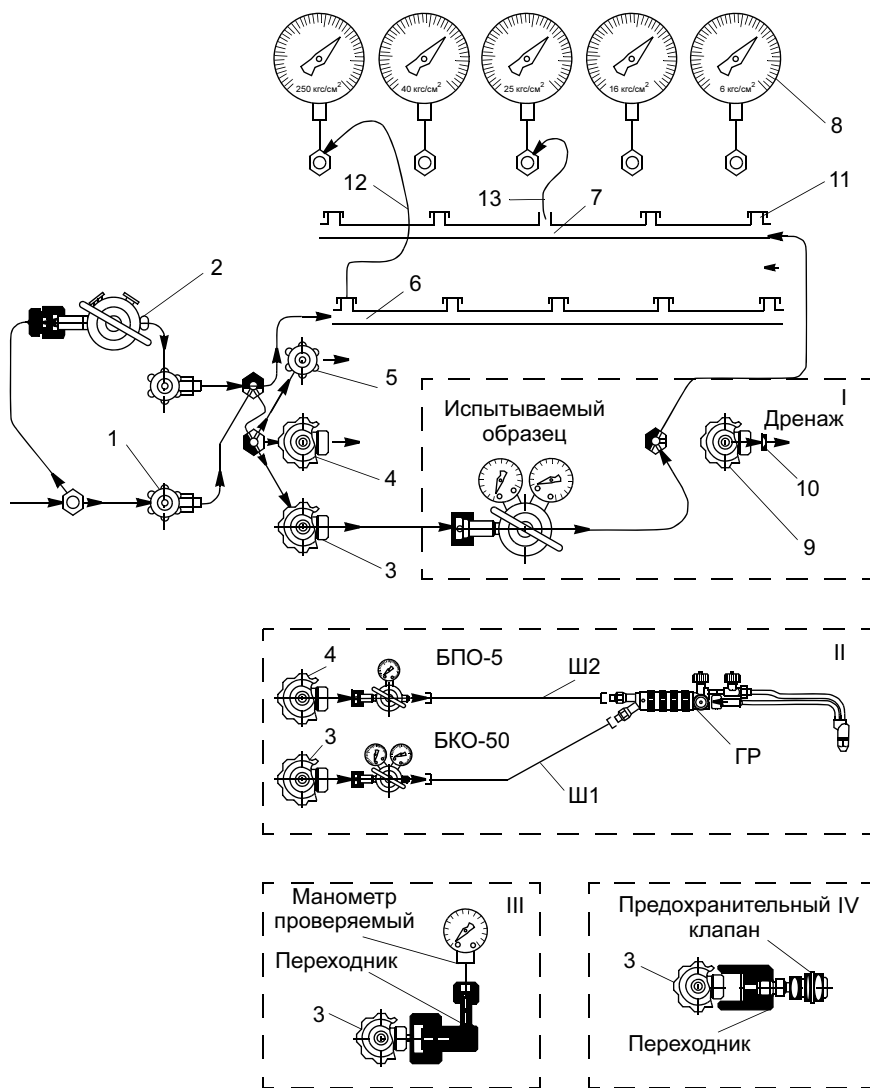
- учет, анализ и своевременную замену разнотипного и устаревшего оборудования на более совершенное, отвечающее установленным нормам и требованиям ОАО "Газпром";

- аттестацию оборудования, материалов и технологий согласно требованиям САСв — системы аттестации сварочного производства НАКС;

- разработку и внедрение стандартов предприятия, в том числе инструкций по разделительной резке и газовой сварке и др.;

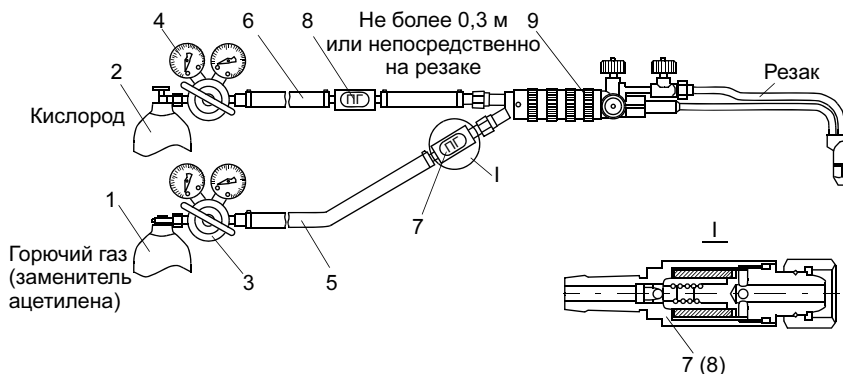
- периодический и входной контроль оборудования и материалов перед передачей их на рабочие участки.

Среди дочерних предприятий ОАО "Газпром", осуществляющих планомерные работы по ремонту магистральных газопроводов, в том числе по газовой резке и



**Рис. 1. Принципиальная схема универсального стенда для испытания газовых редукторов (I); горелок и резаков (II); поверки манометров (III); регулирования предохранительных клапанов (IV) (Ш1 и Ш2 — рукава газовые; ГР — горелка, резак; БПО-5, БКО-50 — редукторы):** 1 — вентиль КС7104; 2 — редуктор высокого давления РВ-90; 3—5 — вентиль для присоединения кислородного, пропанового (водородного) и ацетиленового редукторов соответственно; 6, 7 — коллектор манометров входного (высокого) и выходного (рабочего) давления соответственно; 8 — манометры; 9 — вентиль дренажный; 10 — комплект расходных шайб; 11 — заглушки коллектора входного и рабочего давления соответственно; 12, 13 — соединительная трубка коллектора входного и выходного (рабочего) давления соответственно

**Рис. 2. Устройство поста газовой резки:** 1 — баллон пропановый 3-50-3,0-К (ГОСТ 15860); 2 — баллон кислородный 40-150У (ГОСТ 949); 3 — редуктор пропановый БПО-5 (ГОСТ 13861); 4 — редуктор кислородный БКО-50-4 (ГОСТ 13861); 5 — рукав пропановый L = 30 м, I-6,3-6,3ХЛ (ГОСТ 9356); 6 — рукав кислородный L = 30 м, III-6,3-20ХЛ (ГОСТ 9356); 7 — пламегаситель пропановый ПГИ-1П (ГОСТ Р 50402—92); 8 — пламегаситель кислородный ПГИ-1К (ГОСТ Р 50402—92); 9 — резак инжекторный газовый Р1-01П (ГОСТ 1077)



сварке, ООО "Тюментрансгаз" одним из первых в 2004 г. установило на своих объектах специальные стенды, спроектированные и изготовленные МЦ "ВНИИАвтогенмаш", предназначенные для испытаний газовых баллонных редукторов, резаков, горелок, предохранительных клапанов и поверки манометров.

Принципиальная схема универсального стенда приведена на рис. 1.

Применение стендов позволяет выявить возможные дефекты новых горелок, резаков, редукторов, клапанов и проводить их периодические испытания согласно установленным графикам.

В 2006 г. АЦСО-54 МЦ "ВНИИАвтогенмаш" были проведены аттестационные испытания оборудования для газовой резки и сварки ООО "Тюментрансгаз". Посты были укомплектованы пламегасящими защитными устройствами типа ПГИ (производитель — ЗАО "Мидасот-Т"). На рис. 2 приведена схема и состав поста газовой резки с резаком Р1-01П из аттестационного паспорта, который составляется АЦСО-54 по согласованию с предприятием-заявителем.

Испытания основного оборудования постов, к которому отнесены резки пяти различных типов, проводили по решению комиссии по полной программе: три этапа специальных испытаний и практические испытания, включающие резку образцов с последующей механической обработкой кромок и сваркой.

Оценка выборочных показателей приведена в таблице.

| Параметр <sup>1</sup>                                                                                                                              | Относительное значение проверяемого параметра <sup>2</sup> , в % к номинальному, для резаков |                         |                       |                        |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
|                                                                                                                                                    | P1-01П                                                                                       | "Маяк-2-01"             | P2-01П                | P3П                    | "Огонь-3"              |
| Расход газа, м <sup>3</sup> /ч, не более:<br>кислорода — 2,5—33,2<br>пропан-бутана — 0,3—0,73                                                      | 95,5—100<br>96,7—98,8                                                                        | 96,4—97,8<br>96,5—100,0 | 96,5—97,8<br>95,4—100 | 96,5—98,7<br>96,5—100  | 95,8—98,8<br>94,7—99,2 |
| Давление на входе в резак, МПа, не более:<br>кислорода — 0,25—1,0<br>пропан-бутана — 0,001—0,15                                                    | 95,7—100<br>94,8—99,1                                                                        | 96,5—98,1<br>96,3—100   | 95,4—100<br>96,3—97,8 | 96,4—98,7<br>96,5—99,1 | 95,6—99,2<br>65,4—100  |
| Толщина разрезаемого металла 3—300 мм                                                                                                              | 100                                                                                          |                         |                       |                        |                        |
| <sup>1</sup> Для резаков с внутренними мундштуками № 0—6.<br><sup>2</sup> Для резаков с внутренними мундштуками согласно паспортной комплектности. |                                                                                              |                         |                       |                        |                        |

Испытания показали соответствие всех технических параметров установленным требованиям, по результатам которых проводилась аттестация и получены свидетельства НАКСа об аттестации оборудования постов.

В настоящее время завершается разработка стандарта организации по газопламенной обработке для ООО "Тюментрансгаз".

Сотрудничество, сложившееся между отделом главного сварщика ОАО "Газпром", дочерними

и подведомственными предприятиями ОАО "Газпром" и ведущими научными работниками специализированных институтов, позволяет качественно, на высоком научном и техническом уровне осуществлять правильный выбор, внедрение и эксплуатацию нового оборудования в соответствии с установленными нормативными требованиями, обеспечивая тем самым качество и гарантированную безопасность технологических процессов газовой резки и

сварки на объектах опасных промышленных производств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сборник* нормативных и методических документов системы аттестации сварочного производства. М.: НАКС, 2006.
2. *Порядок* экспертизы технических условий на оборудование и материалы, аттестации технологий и оценки готовности организаций к выполнению работ по диагностике и ремонту объектов транспорта газа ОАО "Газпром". М.: СТО Газпром, 2006.

УДК 621.791:658.567.1

**А. П. ИГНАТОВ**, канд. техн. наук  
(ИЭС им. Е. О. Патона),  
**В. Д. МАКАРЕНКО**, д-р техн. наук  
(Нижневартковский филиал ТюмГНГУ),  
**Р. Б. БАКЕЕВ**, канд. техн. наук  
(ОАО "ТНК-ВР", Нижневартовск),  
**В. Л. ШЕВЦОВ**, д-р техн. наук  
(ИЭС им. Е. О. Патона)

## Исследование процесса утилизации отходов меди методом электрошлакового переплава

В силу производственной и экономической необходимости, а также зачастую из-за отсутствия медной руды на заводах цветных металлов в качестве исходного сырья используют медные полуфабрикаты, а также отходы меди в виде проволоки или шинки. Традиционно переплав медного лома осуществляют в индукционных печах или печах сопротивления [1]. При этом для получения электрической меди, например М1, в шихту до-

бавляют большое количество первичной меди. Если же исходная шихта состоит полностью из лома, то при ее переплаве по существующей технологии снижается качество вторичной меди по сравнению с исходным сырьем.

Цель настоящей работы — исследование и разработка принципиально новой технологии утилизации медных отходов для получения заготовок из меди М1 и М0, пригодных для дальнейшей переработки в шинку и

эмалированные провода. Результаты анализа литературных данных [2, 3] и собственных наблюдений показали, что наиболее целесообразно для такой утилизации использовать электрошлаковый процесс (ЭШП), в ходе которого исходная шихта переплавляется под слоем рафинированного шлака и из расплава формируется заготовка заданных размеров. ЭШП позволяет рафинировать жидкий металл от кислорода и серы в процессе плавки. Кроме того, расплавленный шлак может являться эффективной аккумулирующей средой, в которой растворяются различные покрытия проводов и шинки, эмали, лаки и стеклоткани.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить особенности плавления в шлаковой ванне при ЭШП расходующих электродов, изготовленных из прессованных медных отходов в виде шинки и проводов с покрытиями различных типов;
- исследовать влияние различных методов раскисления на качество переплавленной меди;
- определить возможности получения из 100 %-ной шихты медных заготовок, соответствующих маркам М1 и М0.

*Технология, оборудование и материалы.* Для утилизации медного лома в виде проводов и шинки выбрали технологию электрошлакового переплава расходующего электрода, собранного из тех же отходов.

Расходующие электроды, предназначенные для переплава, были изготовлены методом прессования из медных отходов. В экспериментах использовали электроды следующих типоразмеров:

- два квадратных электрода с поперечным сечением  $200 \times 200$  мм и длиной 1950 мм, состоящих из прессованных проводов диаметром 1,0—1,5 мм;
- два квадратных электрода сечением  $200 \times 200$  мм и длиной 1950 мм, состоящих из прессованной шинки сечением  $1,5 \times 6,0$  и  $1,5 \times 8,0$  мм;
- четыре квадратных электрода сечением  $150 \times 150$  мм и длиной 900 мм из прессованной шинки.

Для проведения экспериментов была изготовлена специальная технологическая оснастка, включающая плавильный тигель и держатель расходующих электродов, который служит для подсоединения их к плавильной установке. Плавильный тигель — не охлаждаемый с графитовой футеровкой (диаметр плавильного пространства 320 мм). Опыты проводили на электрошлаковой установке У-560.

В процессе исследований подбирали электрический режим плавки, проводили наблюдения за особенностью процесса плавления расходующих электродов, изготовленных из отходов различных типов, оценивали влияние различных методов раскисления на качество переплавленной меди.

Полученные слитки, соответствующие по своему химическому составу маркам М1 и М0, механически обрабатывали и ковали в требуемые заготовки.

## **Результаты исследований и разработки процесса утилизации отходов меди и их обсуждение**

### *1. Выбор и расплавление флюса*

Для электрошлакового переплава отходов меди был выбран флюс АНФ-23М, имеющий наиболее приемлемую температуру плавления (начала кристаллизации), приближающуюся к температуре плавления (начала кристаллизации) меди. Применение указанного флюса не приводит к перегреву металла при ЭШП, а следовательно, насыщению металла кислородом через шлаковую ванну.

Экспериментально был установлен оптимальный режим расплавления флюса в тигле: напряжение 50 В, ток 5—6 кА. Время расплавления 30 кг флюса 15 мин. После расплавления всего флюса неплавящийся электрод заменяли на расходующий и начинали выплавку слитка.

### *2. Оптимизация режимов ЭШП отходов меди*

Режимы переплава отходов меди выбирали исходя из условия недопущения перегрева металла в тигле и обеспечения благоприятного для качества металла заглубления расходующего электрода в шлаковую ванну. В результате опытов был подобран оптимальный режим плавки прямоугольных электродов, изготовленных из отходов меди, в графитовом тигле с рабочей полостью диаметром 320 мм: напряжение холостого хода 45 В (в шлаковой ванне — 30—33 В); ток 7,0—7,5 кА; высота шлаковой ванны (флюс АНФ-25М) 100—120 мм; производительность плавки около 200 кг/ч.

Кроме того, установлено, что для получения качественного слитка дополнительным условием к подобранному режиму плавки тонких ( $\delta = 1 \div 2$  мм) медных отходов является наличие на поверхности шлаковой ванны графитовой крупы диаметром 1—3 мм с толщиной слоя 10—15 мм (в переводе на массу это составляет 1,0—1,5 кг).

### *3. Раскисление переплавленного металла*

Несмотря на принятые технологические меры — защиту расплавленного металла слоем шлака и погружение в шлак всего торца переплавляемого электрода — в металле слитка обнаруживали кислород, содержание которого превышало допустимые ГОСТом пределы.

Поглощение кислорода медными отходами происходит в процессе предварительного обжига в газовой печи. Нередко получается шихта, имеющая признаки "красноломкости", что свидетельствует о пере-



сыщении ее водородом и кислородом. Наличие большого количества кислорода в исходном металле в сочетании даже с низкой концентрацией растворенного водорода способствует повышению пористости или образованию флокенов в получаемых слитках. Поэтому раскисление медных слитков имеет важное значение для электротехнической отрасли [4].

При ЭШП медных отходов по предложенной схеме созданы все необходимые технологические условия для эффективного удаления кислорода из переплавляемого металла: высокотемпературная предварительная прокалка флюса; "горячий старт"; ведение плавки под слоем шлака в тигле из графита; электрошлаковая подпитка слитка, обеспечивающая высокий градиент температуры при кристаллизации металла. Все это способствует высокой степени дегазации металла, в частности содержание кислорода составляет 0,00011—0,00015 % и, как правило, не вызывает пористости и образования флокенов в слитках из меди.

Результаты переплавки меди, не очищенной от изоляции и других покрытий из стеклоткани, эмали, лака и некоторых других органических покрытий, показали следующее. В результате сгорания покрытий органического происхождения происходит самораскисление металла углеродом сгорающих углеродсодержащих покрытий (содержание кислорода не превышает 0,023 %). Учитывая это, можно с помощью ЭШП существенно удешевить технологию утилизации медных отходов, отказавшись от энергоемкой и длительной операции обжига шихты в печи и отделения остатков покрытий от шихты.

Следует особо обратить внимание на то, что, исключив обжиг медной шихты, можно решить проблему неконтролируемого пересыщения исходного металла кислородом и водородом, тем самым облегчив задачу получения качественного медного слитка.

В процессе экспериментов установлено, что в зоне переплава электрода создавалась восстановительная атмосфера от сгорания углеродсодержащих покрытий проводов и шинки, что подтверждается результатами химического анализа меди:  $[O] \sim 0,0023 \%$ ;  $[H] \sim 0,00016 \%$ .

#### 4. Особенности электрошлакового переплава расходуемого электрода, спрессованного из отходов в виде тонких шин и проволоки

Исследования особенности переплава расходуемых электродов проводили на электродах, собранных из тонких ( $\delta = 1 \div 2$  мм) шин и проволоки. Как установлено по огаркам расходуемых электродов

(рис. 1), переплав отходов меди различного типа существенно отличается в каждом конкретном случае.

Главной особенностью плавки электрода, спрессованного из тонкой проволоки, является то, что он плавится как цельный монолит (рис. 2). Для электрода характерен конус с гладкой поверхностью, что свидетельствует о развитой пленочной стадии



Рис. 1. Внешний вид оплавленных торцов расходуемых электродов при переплаве отходов меди из спрессованной тонкой проволоки (слева), не очищенной от покрытия шинки (в центре) и очищенной шинки (справа)

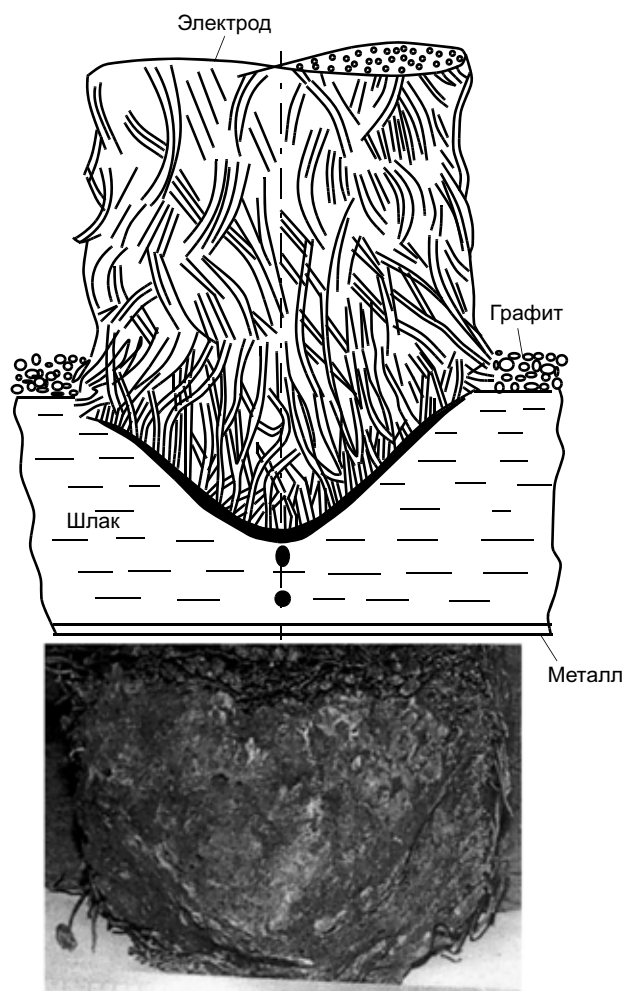


Рис. 2. Схема оплавления электрода из спрессованной тонкой проволоки

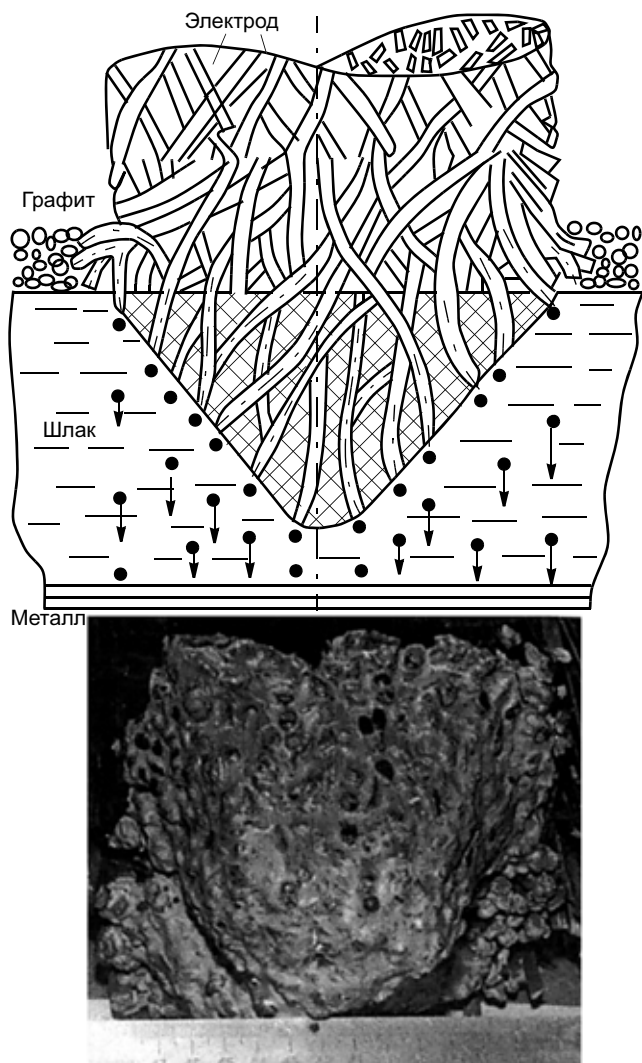


Рис. 3. Схема оплавления электрода из спрессованной очищенной шинки

рафинирования на торце электрода. Это связано с тем, что тонкие проволоки плотно прилегают друг к другу, будучи податливыми при прессовании. Между ними настолько малы воздушные промежутки, что в них не попадает жидкий шлак, а образуемые на каждой проволоке капли сливаются в общую пленку металла на торце электрода и весь металл поступает в виде капель с вершины конуса электрода в шлаковую ванну, а затем — в металлическую.

При переплаве электрода, собранного из прессованных шинок (рис. 3), между ними имеются довольно большие воздушные промежутки, в которые попадает шлак. Из-за высокой теплопроводности материала шинки она быстро отбирает теплоту у контактирующего с ней шлака, в результате чего последний затвердевает, образуя металлокерамический конус электрода — застывший шлак, армированный медными шинками. Этот конус сохраняется на протяжении всей плавки, при этом меняется лишь его объем.

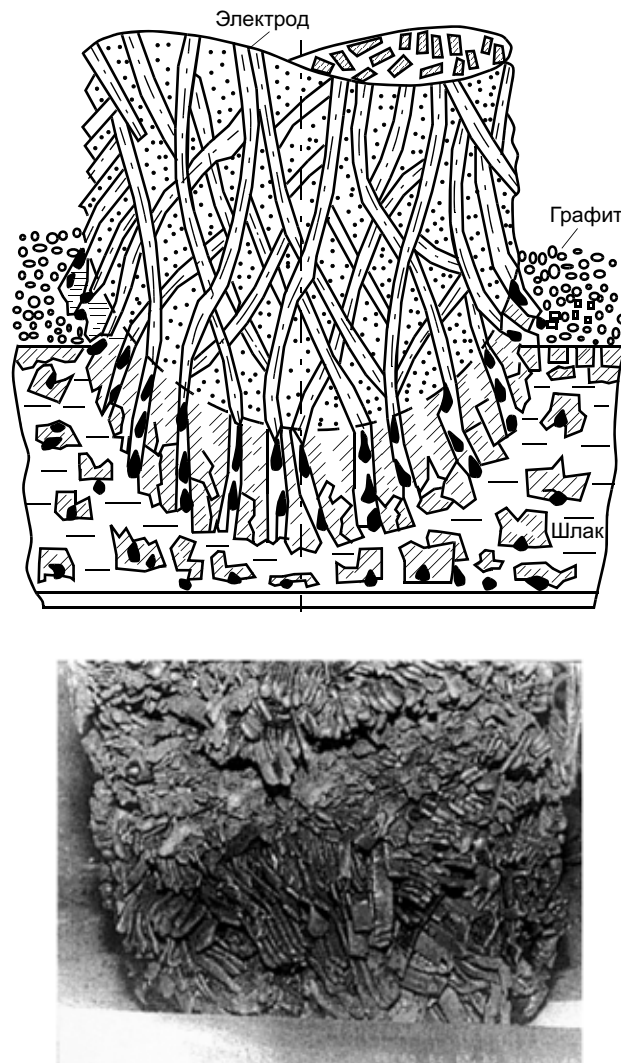


Рис. 4. Схема оплавления электрода из не очищенной от покрытия шинки

Как показали наблюдения, на конусе электрода каждая шинка плавится обособленно, а пленочная стадия рафинирования существенно ограничивается весьма малым сечением каждой отдельной шинки. Одновременно на торце электрода расплавляется затвердевающий между шинками шлак.

Установлено, что особенностью переплава шинки является сведение на нет характерной для ЭСП пленочной стадии рафинирования металла, а также надежная защита каждой шинки перед расплавлением от кислорода воздуха затвердевшим шлаком металлокерамического конуса на торце электрода.

Рассмотрим отличительные особенности плавления электрода, собранного из неочищенной шинки (рис. 4). Во время каждого переплава вблизи шлаковой ванны на каждой шинке обгорают покрытия органического происхождения — лаки и краски — с образованием восстановительной атмосферы. Однако по мере поступления электрода в шлако-

вую ванну на шинке остаются покрытия из стеклоткани эмали. Температура их плавления может быть несколько выше, чем применяемого флюса и меди. Как показали наблюдения, на торце электрода образуется зона, в которой каркас покрытия шинки не разрушается, а металл шинки расплавляется и начинает стекать в виде капель по каналам неразрушенного покрытия вниз в шлаковую ванну. Это подтверждают застывшие обособленные капли металла, запутавшиеся в обугленном покрытии шинок торца электрода (см. рис. 4). Все это свидетельствует о слабом развитии пленочной стадии рафинирования.

Учитывая изложенное, можно предположить, что главной особенностью переплава неочищенной шинки является сведение к минимуму пленочной стадии рафинирования, наличие восстановительной атмосферы от сгорания покрытий каждой шинки перед ее расплавлением и во время плавления, а также развитие капельной стадии рафинирования металла. Стадия рафинирования на границе раздела металла и шлака во всех случаях утилизации медных отходов разного типа примерно одинакова.

Установлено, что особенности плавления различных расходных электродов не отражаются существенно на внешнем виде слитков.

#### *5. Качество металла, полученного из отходов меди*

Известно, что качество цветных металлов существенно зависит от содержания в них примесей. Поэтому большое внимание было уделено исследованию химического состава металла, которое проводили на пробах, отобранных в конце плавки. Содержание серы и фосфора контролировали методом химического анализа, а содержание висмута, сурьмы, мышьяка, железа, никеля, свинца и олова — методом спектрального анализа. Методом газового анализа определяли содержание кислорода, азота и водорода.

Газовый анализ показал, что содержание водорода в литом металле не превышает 0,0002 %, что является хорошим результатом, хотя содержание его ГОСТом не регламентируется.

Содержание кислорода составляет 0,0013—0,0260 % и зависит от типа раскисления металла и тщательности подготовки шихты. При использовании непережженной и не имеющей признаков "краснотомкости" шихты содержание кислорода в металле не превышает 0,0027 %, что соответствует меди М0, М1 и М1к. Снижения содержания кислорода до требуемого уровня можно достичь либо увеличением количества вводимых раскислителей, либо применением более сильных раскислителей типа цезия, алюминия, бора и др.

Особое значение в полученных результатах имеет тот факт, что низкое содержание кислорода в металле наблюдается при незначительном содержании фосфора (0,002 %), чего невозможно достичь при традиционных методах переплава отходов меди. Это связано с тем, что раскисление меди фосфором не производилось. Содержание фосфора во всех вариантах плавки низкое и соответствует меди М0б и М1к.

Содержание серы также в основном низкое или близко к меди М0б, М0, М1 и М1к.

Содержание висмута, сурьмы и мышьяка в металле значительно ниже требований ГОСТов. Содержание никеля, железа, свинца и олова в различных плавках различается, что объясняется попаданием в шихту примесей этих элементов в виде инородных стальных предметов (болтов, гаек и других крепежных элементов), припоев и луженых концов проводов. Это подтверждается тем, что в огарках электродов были обнаружены инородные стальные предметы. Повышенное содержание железа объясняется тем, что в самой исходной шихте из меди М0б содержание железа составляет 0,02 % и превышает требования ГОСТа.

Как свидетельствуют результаты анализа химического состава металла, заготовка, полученная из медной шинки М1, не очищенной от покрытий в виде стеклоткани и лака, соответствует меди той же марки с содержанием кислорода на порядок ниже требований ГОСТа. Это свидетельствует о возможности исключения обжига шихты как очень энергоемкой операции при подготовке расходного электрода.

Таким образом, результаты исследований химического состава меди, полученной путем переплава отработанных обмоток электродвигателей и моторов из проводов и шинки, показали, что технологию электрошлакового переплава можно использовать для изготовления заготовок, соответствующих меди М1, из которых можно изготавливать шинку для новых обмоток. Для получения заготовок из меди М0, из которых можно изготавливать эмальпровода, необходимо организовать тщательную сортировку отходов перед прессованием из них расходных электродов. Это позволит не допустить попадания в шихту стального крепежа, луженых концов проводов и паяных соединений.

Важным фактом, установленным в процессе экспериментальных плавов, является возможность замены расходного электрода по ходу плавки. Такая замена позволяет из нескольких расходных электродов малого размера выплавлять заготовку любой заданной массы. Для формирования небольших по размерам расходных электродов требуется пресс относительно малой мощности, что позволяет более эффективно применять имеющееся оборудование.



Полученные результаты экспериментальных исследований позволили предложить для реализации на практике следующую схему электрошлакового процесса утилизации медных отходов. Для ЭШП используется простая установка А-550, на которой можно переплавлять электроды массой до 150 кг. Переплав осуществляют в графитовом кристаллизаторе со сменой расходного электрода в ходе плавки.

В состав основного оборудования для утилизации медных отходов методом ЭШП должны войти печь для электрошлакового переплава А-550 или У-350; источник питания печи А622 мощностью 624 кВт · А; технологическая оснастка, включающая графитовый тигель, графитовый электрод, медный охлаждаемый поддон (схема ЭШП без вытяжки слитка), подвижный (с приводом) охлаждаемый поддон (схема ЭШП с вытяжкой слитка), устройство для зажима сменных электродов.

К вспомогательному оборудованию относится газоочистка с вытяжной вентиляцией; стеллажи для складирования электродов; печь СНО-3 для прокали флюса, рассчитанная на температуру до 900 °С; бункеры для хранения флюса; термос для хранения прокаленного флюса; кран-балка для подъема и транспортировки грузов массой до 1 т; весы грузоподъемностью 200 кг (можно 500 кг); коллектор для подачи воды; эстакада для обслуживания печи и др.

Производительность плавки лимитируется энергетическими характеристиками источника питания печи. При использовании трансформатора А622 можно получить производительность 200 кг/ч, на более мощном источнике — более 250—300 кг/ч.

## ВЫВОДЫ

1. Технологию электрошлакового переплава расходных электродов, изготовленных из обмоток электродвигателей и моторов, отслуживших свой срок, можно эффективно использовать для получения заготовок электротехнической меди М1, которые пригодны для переделки в шинку и провода. Производительность процесса переплава до 200 кг/ч.

2. Для получения способом ЭШП заготовок из меди М0, пригодных для переделки в эмалированные провода, необходимо отсортировать отработанные обмотки электродвигателей перед прессованием расходных электродов с целью предотвращения попадания в шихту стального крепежа, луженых концов проводов и паяных соединений.

3. Для электрошлакового переплава можно использовать обмотки, не очищенные от изоляции в виде стеклотенты, эмали и лака, т. е. в процессе переработки отходов можно отказаться от обжига шихты для изготовления расходных электродов, что снижает общий расход энергоносителей в процессе переработки отходов.

4. Разработаны возможные схемы электрошлакового процесса на промышленной установке и определен состав необходимого технологического оборудования и оснастки для участка ЭШП отходов меди производительностью 200 т в год при односменном режиме работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молдавский О. Д. Электрошлаковый переплав тяжелых цветных металлов. М.: Металлургия, 1980. 200 с.
2. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Орловский Ю. Б. Электрошлаковое кокильное литье. Киев: Знание, 1982. 63 с.
3. Дакурт У., Хойл Д. Электрошлаковый переплав. М.: Металлургия, 1973. 192 с.
4. Латаш Ю. В., Медовар Б. И. Технология электрошлакового переплава // Цветные металлы. 1966. № 12. С. 74—76.

УДК 621.791:331.015.12

**Д. В. ВОЛКОВ**

(начальник Управления информационных технологий ОАО МТЗ “Трансмаш”),  
**М. В. ЩУКИН**, канд. техн. наук  
(МГТУ “Станкин”)

## Проектирование автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации

Деятельность крупного промышленного предприятия характеризуется постоянным использованием колоссального объема конструкторской и технической документации. При этом возрастающая конкуренция, необходимость соответствия стандар-

там систем менеджмента качества и непрерывное пополнение архива новыми проектными решениями требуют больших финансовых и трудовых затрат для поддержания и управления документооборотом организации. В таких условиях традиционные спо-



собы хранения документов и связанные с ними процедуры обработки информационных запросов обладают рядом существенных недостатков, значительно снижающих эффективность работы.

К числу основных проблем, возникающих в процессе эксплуатации бумажного архива, можно отнести следующие:

- быстрый и полный поиск необходимой информации;
- идентификацию документов, различие их копий и версий;
- своевременное предоставление требуемых конструкторских документов;
- подбор комплектов чертежей (включая заимствованные) для тиражирования и подготовки технической документации;
- сохранение оригиналов документов при их интенсивном использовании;
- поддержание в рабочем состоянии старых и ветхих документов, а также чертежей, выполненных на кальках или "синьках";
- регламентацию прав доступа к архиву в зависимости от уровня компетенции и полномочий сотрудников.

Переход организации к автоматизированным технологиям и электронным принципам хранения и обработки документов направлен на решение перечисленных задач. При этом процесс внедрения систем электронного документооборота на крупном предприятии осложняется комплексом причин, носящих обобщенный характер. К наиболее часто возникающим техническим проблемам относятся интеграция новой системы с ранее используемыми программными продуктами и необходимость переноса информационных данных из одной среды хранения в другую. Немаловажным фактором зачастую является организационная и техническая неподготовленность персонала к использованию новых принципов работы, а также возможное несоответствие готовых программных решений задачам документооборота в организации.

Тем не менее, главной проблемой на стадии принятия решения об автоматизации делопроизводства на предприятии является потребность в первоначальных крупных вложениях финансовых средств при том, что экономический эффект от внедрения системы не всегда очевиден. Важно помнить, что конечной целью реализации проекта должен стать не только "прозрачный электронный документооборот", но и повышение эффективности управления предприятием, увеличение прибыли и извлечение других конкурентных преимуществ. Хранение и обработка документов в электронном виде — это лишь средство для достижения указанных целей.

Таким образом, актуальность и значимость данной работы определяются необходимостью сохранения и развития интеллектуальных ресурсов организации (выраженных в накопленных объемах про-

ектной и конструкторской документации) на основе применения современных программных средств и информационных технологий.

Большое число предлагаемых систем электронного документооборота требует их всестороннего анализа для оптимального выбора продуктов данного класса. При этом особое внимание стоит уделить следующим аспектам:

- соответствию уровня системы решаемым с ее помощью задачам и степени удовлетворения потребностей пользователей, рост которых прямо пропорционален времени работы с программным продуктом;
- оправданности инвестиций не только на покупку программы и набора лицензий, но и на совокупную стоимость обладания автоматизированным комплексом, включая затраты на обучение персонала, сопровождение системы и ее развитие;
- удобству и эффективности решения основных задач электронного документооборота;
- учету и занесению данных об электронных документах и их оригиналах, обработке запросов по поиску и предоставлению информации, обеспечению санкционированного доступа к хранимым данным.

В настоящее время на российском рынке насчитывается около полутора сотен компаний, имеющих программные решения и наработки в сфере электронного документооборота. Предлагаемый сравнительный обзор десяти автоматизированных комплексов не претендует на всю полноту охвата, но отражает наиболее характерные черты различных по уровню и стоимости систем подобного типа.

Рассматриваются следующие программные продукты.

1. БОСС-Референт (Аплана: группа компаний "АйТи") — система автоматизации документооборота и делопроизводства, ориентированная на потребности коммерческих компаний, государственных предприятий и органов власти.

2. Дело (Электронные офисные системы) — используется для автоматизации управленческой деятельности в отечественных министерствах и ведомствах, территориальных органах власти и предприятиях.

3. DIRECTUM (DIRECTUM) — система электронного документооборота и управления взаимодействием, направленная на повышение эффективности работы сотрудников организации в различных областях их совместной деятельности.

4. DocsVision (DocsVision) — универсальная система управления документами и бизнес-процессами, продажа осуществляется через партнерскую сеть, в которую на сегодня входят более 40 компаний.

5. ЕВФРАТ-Документооборот (Cognitive Technologies) — система управления бизнес-процессами и инструментарий для электронного документооборота компании независимо от численности ее сотрудников и формы собственности.

6. LanDocs (холдинг "ЛАНИТ") — система автоматизации делопроизводства, ведения архива электронных документов и поддержки деловых процессов на предприятиях различного масштаба и специализации.

7. NauDoc (NAUMEN) — система электронного документооборота, обеспечивающая упорядочение бизнес-процессов и документооборота при автоматизации среднего и малого бизнеса, управляющих компаний и проектных организаций.

8. OPTiMA-WorkFlow (UpScale Soft) — система автоматизации управления потоками работ и организации конфиденциального документооборота компаний различного масштаба любой отрасли.

9. OfficeMedia (ИнтерТраст) — управление документами и координация работ по выполнению проектов для организаций крупного, среднего и малого бизнеса.

10. ЭСКАДО (Интерпроком Лан) — стандартизация документооборота на основе использования шаблонов документов и автоматизации трудоемких и ответственных работ государственных учреждений и предприятий малого и среднего бизнеса.

Сводные данные по программным комплексам приведены в таблице. В целом анализ автоматизированных систем электронного документооборота свидетельствует о том, что с базовыми функциями управления и регистрации документов все средства справляются успешно. С другой стороны, дополнительные возможности (например, полнотекстовый по-

иск, индексация документов для ускорения поиска, автоматические уведомления о наступлении контрольных событий, перевод отдельных документов в архив аннулированной документации и др.), как правило, или реализованы частично, или не входят в стандартную комплектацию.

Важным моментом также является ориентация сервера баз данных на ту или иную программную платформу. Наличие в организации предустановленного программного обеспечения может немного уменьшить расходы на приобретение, так как большинство продуктов использует MS SQL Server или Oracle. С другой стороны, внедрение систем, построенных на базе Lotus Domino, помимо высокой стоимости для создания полноценной конфигурации потребует еще и дополнительных затрат на обучение персонала, так как их интерфейсы и механизмы обмена информацией отличаются от стандартов Microsoft.

Сравнительная оценка возможностей использования средств электронного документооборота определяет их следующие характерные особенности:

— отсутствие полного соответствия между задачами и способами их описания в системе с теми, которые применяются в организации, что, вероятно, потребует перестройки существующего документооборота;

— этап внедрения программных продуктов представляет собой длительный процесс, который

| Критерий сравнения                                         | Сравнительная характеристика средств электронного документооборота |                       |                |                       |                    |                       |         |                       |              |              |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------|-----------------------|--------------|--------------|
|                                                            | 1                                                                  | 2                     | 3              | 4                     | 5                  | 6                     | 7       | 8                     | 9            | 10           |
| Ведение номенклатуры дел и регистрация документов          | +                                                                  | +                     | +              | +                     | +                  | +                     | +       | +                     | +            | +            |
| Управление документацией и слежение за перемещениями       | +                                                                  | +                     | +              | +                     | +                  | +                     | +       | +                     | +            | +            |
| Информационные запросы и автоматические уведомления        | o                                                                  | +/-                   | +              | +                     | +                  | +                     | +/-     | o                     | o            | o            |
| Возможность аннулирования или списания документов          | +                                                                  | o                     | +              | +                     | o                  | o                     | -       | -                     | +            | +            |
| Поиск по наименованию, реквизитам и форме документа        | +/-                                                                | +                     | +              | +                     | +                  | +                     | +/-     | +                     | +/-          | +/-          |
| Использование индексации, морфологии, логических связей    | o                                                                  | o                     | +              | +/-                   | +/-                | o                     | +       | o                     | -            | -            |
| Средства генерации, просмотра и печати отчетных документов | o                                                                  | +                     | +              | +                     | +                  | +                     | +       | +                     | +            | +            |
| Средства сканирования и распознавания документов           | o                                                                  | o                     | o              | +                     | +                  | +                     | o       | o                     | o            | o            |
| Регламентация прав доступа пользователей                   | +                                                                  | +                     | +              | +                     | +                  | +                     | +       | +                     | +            | +            |
| Регистрация системных событий и сообщений                  | +                                                                  | +                     | +              | +/-                   | +/-                | +                     | -       | +                     | -            | -            |
| Средства защиты документов, шифрование, цифровая подпись   | o                                                                  | o                     | +              | o                     | +                  | o                     | +/-     | +                     | -            | +            |
| Возможность работы через web-интерфейс                     | o                                                                  | +                     | o              | +                     | o                  | o                     | +       | o                     | -            | -            |
| Программная платформа или сервер СУБД                      | Lotus Domino                                                       | MS SQL Server, Oracle | MS SQL Runtime | MS SQL Server, MS IIS | Евфрат-сервер 8500 | MS SQL Server, Oracle | БД ZoDB | MS SQL Server, Oracle | Lotus Domino | Lotus Domino |
| Ориентировочная стоимость с учетом 50 лицензий, долл. США  | 17 000                                                             | 21 00                 | 14 000         | 12 500                |                    | 20 000                | 6500    | 14 000                | 9500         | 9000         |

Обозначения: "+" — функция реализована в стандартной версии продукта; "+/-" — функция реализована частично; "o" — функция доступна при установке дополнительных модулей; "-" — функция отсутствует.

может не принести немедленной отдачи — наоборот, возможно даже снижение эффективности работы сотрудников за счет усилий, затрачиваемых на переход к новым принципам взаимодействия;

— реальные затраты на внедрение и использование обычно намного превышают затраты на приобретение — считается, что первоначальные вложения составляют около 30 % совокупной стоимости обладания программным продуктом;

— если стандартная комплектация не имеет большой функциональности, то реализация недостающих функций потребует дополнительных финансовых средств, что также отразится на общей стоимости владения системой;

— средства электронного документооборота обеспечивают возможность получения существенной выгоды только после успешного завершения процесса их внедрения и адаптации к условиям работы предприятия.

Таким образом, ориентация на готовое программное решение наряду с очевидными плюсами несет ряд немаловажных недостатков, которые могут значительно снизить эффективность отдачи от вложенных средств. При худшем развитии событий это может привести организацию в состояние непрерывного реинжиниринга своих бизнес-процессов, а также к постоянной необходимости обновления версий программных продуктов.

Другой путь развития — автоматизация конструкторского документооборота силами собственных информационных подразделений. Безусловно, он тоже содержит множество подводных камней и не гарантирует стопроцентного успеха. Но в отличие от использования готовой системы такой подход позволит:

— сохранить существующую на предприятии систему документооборота, учитывая особенности взаимодействия подразделений при создании программы;

— обеспечить постепенный переход от работы с бумажной документацией к электронному документообороту, используя промежуточные результаты разработки;

— равномерно распределить финансовые затраты на разработку, внедрение и эксплуатацию системы, варьируя возможности системы и решаемые ею задачи;

— не зависеть от сторонних разработчиков и гарантировать отсутствие утечки конфиденциальной информации или потери интеллектуальной собственности.

Кроме того, перед системами подобного типа, как правило, не ставится задача полной и одновременной автоматизации всего документооборота предприятия. Это, во-первых, упрощает разработку программного комплекса, снижая затраты на проектирование и внедрение, а, во-вторых, способствует вклю-

чению в систему дополнительных функций, связанных с обработкой информационных и клиентских запросов.

Выбор принципа построения системы электронного документооборота индивидуален для каждого предприятия и требует дополнительного анализа в каждом конкретном случае. В рамках данной статьи рассматривается процесс проектирования автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации ОАО МТЗ "Трансмаш" сотрудника Управления информационных технологий завода.

Основные цели создания автоматизированной системы электронного архива:

— повышение эффективности работы предприятия за счет регламентации процедур создания, хранения и сопровождения документов;

— сокращение времени поиска требуемой информации и времени предоставления конструкторской документации по сравнению с технологией традиционного (бумажного) архива;

— увеличение производительности труда подразделения "Архив" путем сокращения временных издержек и автоматизации ручного труда;

— обеспечение высокой степени сохранности оригиналов конструкторской документации за счет работы с их электронными копиями;

— формирование на базе системы типового программно-технического комплекса, который мог бы использоваться в качестве тиражируемого решения для других подразделений.

К базовым функциям, автоматизируемым в системе в первую очередь, относятся повседневные задачи, решаемые сотрудниками подразделения "Архив". "Архив", входящий в состав Управления информационных технологий, с точки зрения автоматизации и использования современных информационных технологий является наиболее подготовленным подразделением завода. В этом смысле он должен стать стартовой площадкой для развертывания полноценной системы электронного документооборота предприятия. Анализ проблем, возникших при реализации прототипа, а также формирование рекомендаций по широкомасштабному внедрению системы должны уменьшить суммарные затраты при подключении к автоматизированному комплексу остальных подразделений. Пока же — на начальном этапе разработки — круг задач автоматизации ограничивается рамками отдела "Архив", предусматривая возможности расширения и взаимодействия с другими службами предприятия, но не включая их в технологический цикл системы.

Основные функции, автоматизируемые в электронном архиве:

— создание классификаторов и справочников оригинальных деталей;

— заполнение электронных карточек конструкторской документации;

— занесение и хранение электронных документов в архиве;

— поиск и обработка документов, находящихся в архиве;

— формирование учетных документов и статистической отчетности по архиву.

Решение этих задач предусматривает создание нескольких рабочих групп пользователей с различными функциями и правами доступа к архиву. Предлагается пять видов автоматизированных рабочих мест (АРМ) пользователей (рис. 1):

— АРМ администратора системы — контроль и поддержание функционирования системы, управление правами доступа, установка и настройка рабочих мест других пользователей;

— АРМ архивариуса — учет и занесение информации о документах, поступающих в архив и находящихся в нем;

— АРМ оператора добавления документов — занесение электронных и отсканированных документов в архив;

— АРМ поиска и обработки информации — обработка запросов по поиску и предоставлению информации о документах, хранящихся в архиве;

— АРМ клиента архива — просмотр документов, хранящихся в архиве, в соответствии с определенными правами доступа.

Для реализации такого подхода необходимо использовать модульную организацию архитектуры системы, позволяющую расширять функциональные возможности программы без коренных изменений уже работающих компонентов. Таким образом, структура электронного архива предусматривает централизованное хранение данных при параллельном регламентированном доступе к нему различных групп пользователей по локальной вычислительной сети. Это означает применение модели удаленного доступа к данным, когда в клиентской части реализуются функции ввода, отображения и обработки информации, а сервер, расположенный на удаленном компьютере, предназначен для хранения данных и обслуживания клиентских запросов. В процессе взаимодействия клиент направляет по сети запросы к информационным ресурсам базы данных, доступ к которым обеспечивается операторами языка SQL или вызовами функций прикладной библиотеки. Сервер обрабатывает запро-

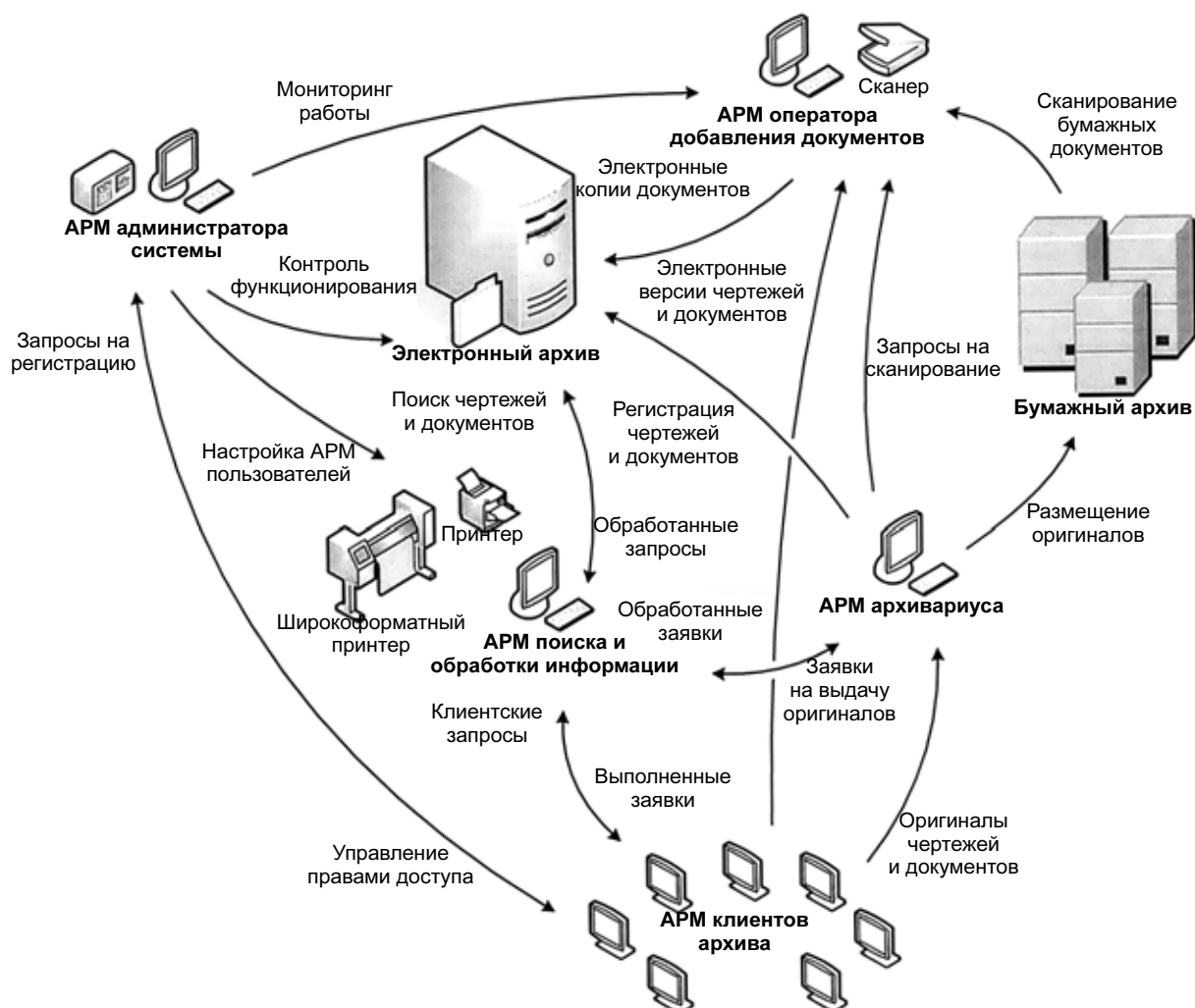


Рис. 1. Схема взаимодействия пользователей электронного архива



сы, выполняет предписанные в них действия и возвращает клиенту результат в виде блока данных.

Предлагаемый вариант построения системы содержит пять базовых модулей (подсистем), которые должны быть реализованы на начальных этапах создания архива:

- управления и контроля функционирования системы;
- защиты информации от несанкционированного доступа;
- ввода и корректировки данных;
- обработки клиентских запросов;
- взаимодействия пользователей и системы.

Подсистема управления и контроля функционирования системы предназначена для выполнения функций администратора системы. К основным задачам этой подсистемы относятся конфигурирование и настройка АРМ пользователей всех рабочих групп, а также предоставление и регламентация прав доступа к серверу базы данных. В рамках подсистемы управления и контроля обеспечивается динамический мониторинг всех работающих с программой пользователей. При возникновении угрозы функционированию системы или сохранности данных электронного архива администратор имеет возможность принудительного отключения пользователя от работы с программой. В этом модуле реализуются функции резервного копирования и аварийного восстановления данных, регламент которых устанавливается на этапе ввода системы в эксплуатацию. При этом время восстановления работоспособности программы после отказа, вызванного сбоем электропитания технических средств, нефатальным сбоем операционной системы, иными внешними факторами, не нарушающими штатные условия эксплуатации технических и программных средств, не превышает времени на перезагрузку операционной системы и подключение необходимых для работы электронного архива сервисов.

Подсистема защиты информации от несанкционированного доступа предназначена для постоянного контроля доступа к информации, содержащейся в архиве. Поскольку большинство конструкторских документов содержит сведения ограниченного распространения, программа имеет встроенный механизм фиксации того, кто и при каких обстоятельствах получает доступ к документации. Все факты обращения к серверу, добавление или изменение данных, другие действия пользователей, включая неудачные попытки авторизации и нарушения установленного регламента доступа к конфиденциальной информации, отражаются в системном журнале событий. Данные этого журнала не могут быть модифицированы или удалены никаким пользователем, в том числе и администратором системы. Кроме того, для обеспечения более полного учета работы с электронным архивом помимо записи даты, времени, пользователя и типа обращения фикси-

руются уникальные характеристики компьютера, с которого осуществляется вызов программы.

Подсистема ввода и корректировки данных предназначена для реализации функций АРМ архивариуса и оператора добавления документов. Это основной модуль для ввода и редактирования данных документов, заносящихся в электронный архив, фиксации заявок на подборку чертежей и их комплектов, а также сохранения электронных копий в базу данных на сервере. Ключевыми функциями этой подсистемы помимо ведения номенклатуры дел и регистрации документов являются автоматическое слежение за перемещением документации, сопоставление и быстрый поиск бумажных оригиналов и электронных документов, а также возможность списания и замены чертежей с поддержкой их различных версий и поиском по архиву аннулированных документов. Разработка подсистемы ввода и корректировки данных требует наибольших усилий, так как от эффективности работы операторов ввода информации будет зависеть объем хранимых данных, их актуальность и достоверность.

Подсистема обработки клиентских запросов включает функции системы, связанные с просмотром и поиском информации, содержащейся в архиве. В этом модуле реализуются возможности подборки конструкторских документов для последующего тиражирования или подготовки технической документации. При этом в зависимости от формата чертежа автоматически выбирается устройство печати. В рамках подсистемы обработки клиентских запросов формируются также различные статистические отчеты и сообщения:

- данные о поступавших заявках от подразделений, в том числе повторных;
- количественные затраты бумаги;
- список наиболее частых запросов с функцией их быстрого выполнения;
- уведомления о документах с просроченной датой возврата;
- другие аналитические запросы неформализованного характера.

Подсистема взаимодействия пользователей и системы направлена на обеспечение длительной и эффективной работы с программой. Большинство сервисных функций реализовано именно в этом модуле — это просмотр, распечатка и пересылка электронных документов, хранящихся в базе данных, конвертеры отчетов в офисные приложения, справочная подсистема, журнал предложений и замечаний по функционированию программы.

Для минимизации усилий пользователей в процессе работы при разработке интерфейса системы и ее основных программных модулей использовали следующие эргономические принципы:

- объем и способы представления данных соответствуют возможностям человека воспринимать и перерабатывать информацию;

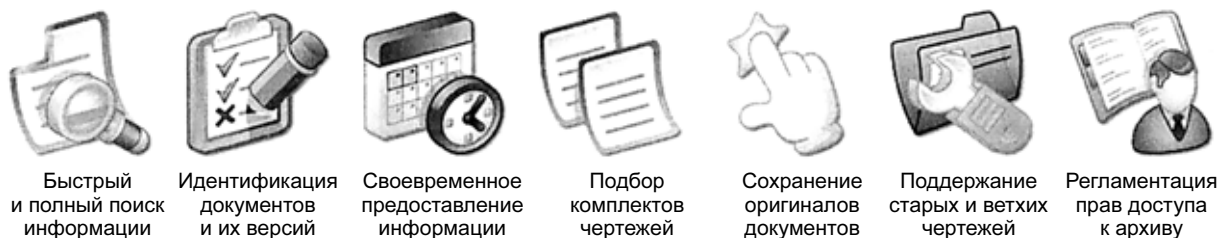


Рис. 2. Основные задачи архива конструкторской документации (использованы элементы интерфейса программы)

— количество всплывающих форм, накладывающихся друг на друга окон и других компонентов дизайна, усложняющих восприятие информации и снижающих комфортность работы, сведено к разумному минимуму;

— элементы навигации, информационные панели и процедуры взаимодействия пользователей с системой по возможности унифицированы;

— внимание пользователя концентрируется на наиболее важных элементах форм, при этом рисунки и графические пиктограммы используются только совместно с текстовыми описаниями;

— в процессе работы с системой предусматривается возможность использования интерактивной справочной системы и контекстной подсказки.

С учетом этих принципов основные задачи архива конструкторской документации могли бы быть представлены так, как они выглядят на рис. 2.

Реализация данных подсистем обеспечивает устойчивое функционирование автоматизированной системы электронного архива без каких-либо ограничений общего объема хранимых данных (электронных копий документов и текстовой информации) при одновременной работе до 50 АРМ клиентов архива, трех операторов, осуществляющих добавление, поиск, просмотр и обработку информации, и одного администратора системы. Требования к надежности системы не носят специфического характера и определяются надежностью используемых технических средств и хранилищ данных, установленного базового, общесистемного и прикладного программного обеспечения.

Поскольку разработка программного комплекса электронного архива — весьма продолжительный по времени процесс, то выполнение каждого этапа работ необходимо подтверждать документально. Это поможет держать в курсе текущей реализации системы руководство проектными работами, всех участников разработки и сотрудников задействованных подразделений. Предполагается пять крупных стадий создания системы.

1. Разработка технического задания на проектирование электронного архива в соответствии с функциональными требованиями к системе и спецификой работы подразделения "Архив". Отчетность по этапу: утвержденный вариант технического задания.

2. Проектирование системы, включая формирование информационной структуры базы данных и алгоритмов программной реализации основных модулей. Отчетность: макет программного комплекса для всех АРМ пользователей, структура базы данных, документально оформленные алгоритмы.

3. Программная реализация — кодирование программного обеспечения, тестирование на работоспособность и соответствие требованиям технического задания. Отчетность: руководства по эксплуатации системы для всех рабочих групп пользователей, акт сдачи программного комплекса в опытную эксплуатацию.

4. Опытная эксплуатация системы — сборка и установка программных модулей на всех АРМ, тестирование программы совместно с пользователями системы, проверки корректности работы на информационном массиве тестовых данных, устранение выявленных недочетов и замечаний. Отчетность: акт выполнения работ по установке программного обеспечения, протокол опытной эксплуатации, документально оформленные дополнения к системе.

5. Ввод в действие, сопровождение системы — внесение изменений в программу в соответствии с разработанными дополнениями, обеспечение устойчивого функционирования электронного архива, увеличение функциональных возможностей системы. Отчетность: акт приемки электронного архива в постоянную эксплуатацию, предложения по модернизации.

С вводом электронного архива конструкторской документации в постоянную эксплуатацию работа над созданием автоматизированной системы электронного документооборота не заканчивается. Программный комплекс должен развиваться по нескольким направлениям. Во-первых, это наращивание объемов хранимой информации, подключение к архиву новых подразделений с заданными правами доступа и регламентацией работы, расширение инструментальных средств для работы в системе. Во-вторых, это формирование на базе архива электронного фонда проектно-конструкторской документации с развитой системой навигации и взаимосвязанных ссылок между документами и внутри них, организация работы с электронной цифровой подписью. И в перспективе — создание единого информационного пространства электронного документооборота завода как общей автоматизированной среды проектирования изделий.

**Л. С. ОРСИК**, д-р экон. наук, **А. А. ФЕДОРОВ**, аспирант  
"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

## Экспертные оценки для организации процесса управления инвестиционными ресурсами предприятия

Математическая модель управления инвестиционными ресурсами в производственно-финансовой сфере базируется на инвариантной по отношению к виду проекта процедуре определения типовой триады эффективного управления [1]:

- определение цели проекта с формализацией этой цели в виде критерия эффективности;

- определение управляемых переменных, изменение которых влияет на достижение поставленной цели;

- описание ограниченных ресурсов инвестиционного проекта, которые формализуются в виде системы ограничений задачи математического программирования.

Управление инвестициями является неотъемлемой частью экономической стратегии, представляющей собой форму управления процессами формирования, функционирования и развития системы промышленного производства.

Стратегическое управление системой промышленного производства — деятельность, направленная на реализацию долгосрочных перспективных планов развития и функционирования системы путем приведения ее структуры, количественных и качественных характеристик в соответствие с потребностями и условиями промышленного производства и обеспечения динамического баланса системы с внешней средой.

Стратегическое управление сводится к процедуре выработки и реализации управленческих решений, включающей несколько этапов:

- получение информации о ситуации в производстве и сфере его технического обеспечения — численности, организационно-правовых формах, экономическом положении объектов и субъектов технического обеспечения; объемах и условиях выполнения работ; численности, типоразмерной и возрастной структуре основных фондов, их техническом состоянии; численности и квалификации кадров; сюда же относится информация о видах, формах и объемах государственной поддержки предприятия; нормативно-правовых актах и других регламентах, относящихся к сфере технического обеспечения, и др.;

- разработка общей концепции и основных направлений развития и функционирования системы промышленного производства;

- определение миссии системы промышленного производства;

- определение генеральных целей развития и функционирования системы промышленного производства (целей первого порядка);

- анализ среды с точки зрения ее влияния на достижение генеральных целей системы промышленного производства;

- прогноз развития ситуации;

- определение целей второго и более низких порядков;

- разработка стратегии развития и функционирования системы промышленного производства;

- разработка плана реализации стратегии;

- разработка механизмов реализации стратегии;

- поэтапная реализация стратегии;

- оценка эффективности конечных результатов реализации стратегии.

В основу выработки управленческих решений должны быть положены не строго формализованные, а эвристические подходы, в том числе экспертные оценки. Связано это с тем, что принимать решения приходится в условиях большой неопределенности развития ситуации в экономике страны. Поставленные задачи решаются поэтапно с назначением количественных характеристик (коэффициентов) важности каждой задачи, подлежащей решению, и результатов решения [2].

*Первый этап* — составление сценария, т. е. преимущественно качественного описания возможных вариантов развития ситуации на макроэкономическом уровне при различном сочетании определенных, заранее заданных условий. В зависимости от масштабности поставленных задач и предположительных сроков их реализации устанавливается временной горизонт развития ситуации. Но, учитывая сказанное о зависимости точности прогноза от временного горизонта прогнозирования, нет смысла давать картину развития ситуации на период более 5—10 лет.

Для разработки сценариев (прогнозов) необходимо привлекать специалистов высшей квалификации из сотрудников предприятия, заинтересованных министерств и ведомств и обязательно наиболее компетентных и эрудированных специалистов НИИ соответствующего профиля. Итогом разработки сценария является формулировка цели стратегии развития и функционирования системы промышленного производства (цели первого уровня).

*Второй этап* — построение детализированного до необходимого уровня дерева целей.

*Третий этап* — определение относительной важности всех мероприятий, заданий и задач, включенных в дерево целей с помощью коэффициентов значимости. Они представляют собой относительное выражение необходимости решения той или иной задачи, проведения того или иного мероприятия. Сумма коэффициентов должна равняться единице.

Коэффициенты значимости устанавливают эксперты из числа специалистов, руководствуясь собственной логикой и собственным пониманием сути объекта оценки. Авторами предложен новый подход к определению коэффициентов значимости, основанный на сочетании экспертных оценок и формализованных расчетных методов. Рассмотрим его на следующем примере.

В одной из НИР определялись коэффициенты значимости решения следующих пяти задач совершенствования системы промышленного производства ОАО "Красный пролетарий": привести конструктивные и эксплуатационные параметры металлорежущего станка КП-22М в соответствие с новыми условиями его эксплуатации; развить типаж металлорежущих станков; разработать и осуществить меры по демополизации рынка металлорежущего оборудования; разработать и осуществить меры по привлечению негосударственных инвесторов в сферу промышленного производства; ввести квоты на поставки техники из дальнего зарубежья.

Вначале эксперты расположили эти задачи в порядке убывания их значимости, т. е. выстроили рейтинговый ряд — 4, 5, 1, 3, 2. Затем они определили, во сколько раз первая задача важнее последней (пятой). Полагаясь на свои знания, эксперты решили, что в настоящее время привлечь негосударственных инвесторов в сферу промышленного производства важнее, чем развить типаж станков как минимум в 10 раз. При этом отношение  $\lambda$  коэффициентов весомости  $a_5$  и  $a_1$  будет 1:10, т. е. 0,1.

После этого произвольно выбрали величину  $a_1$ , решив, что она равна 5. Коэффициент значимости последней задачи  $a_5$  оказался равен 0,5 (5:10). При равномерном снижении значимость каждой следующей задачи уменьшается на величину  $\Delta = (5 - 0,5):4 = 1,125$ .

Таким образом, получили следующий ряд из  $N = 5$  значений коэффициентов значимости:  $a_1$  — 5;

$a_2$  — 3,875 (5 — 1,125);  $a_4$  — 2,75 (3,875 — 1,125);  $a_3$  — 1,625 (2,75 — 1,125);  $a_5$  — 0,5 (1,625 — 1,125).

Основываясь на этих соображениях, получена формула для расчета константы  $\Delta$  — величины снижения каждого последующего коэффициента значимости по отношению к предыдущему:

$$\Delta = \frac{a(1 - \lambda)}{N - 1},$$

где  $a_1$  — заданное экспертами первое в рейтинговом ряду задач значение коэффициента весомости (в нашем примере 5);  $\lambda$  — заданное экспертами отношение значений первого и последнего коэффициентов значимости в их рейтинговом ряду (в примере 0,1);  $N$  — число членов ряда (в примере 5).

Значение любого коэффициента значимости из рейтингового ряда  $a_i = \Delta n_{i+1}$  ( $n_{i+1}$  — номер  $i + 1$ -го члена рейтингового ряда).

После преобразования получаем формулу для расчета  $i$ -го коэффициента значимости в окончательном виде:

$$a_i = a_1 \left[ 1 - \frac{(n_i - 1)(1 - \lambda)}{N - 1} \right].$$

Если бы эксперты не пришли к консенсусу по поводу рейтинга задач и значений коэффициентов значимости, то решение определилось бы голосованием. Для получения сходимости процесса определения рейтинга задач и коэффициентов значимости может быть назначено два, три и более туров голосования в зависимости от числа экспертов. В каждом туре отбрасываются мнения, получившие наименьшее число голосов. Результаты подобной экспертизы служат основанием для определения объектов, очередности и объема инвестиций, оценки их эффективности и в конечном итоге разработки целевой программы и календарного плана реализации стратегии.

Предложенная методология способна обеспечить разработку стратегии и долгосрочных программ промышленного производства как единой системы организационно-управленческих, экономических, технологических, научно-методических и правовых мероприятий. Она также позволяет корректировать их в процессе реализации в зависимости от изменений макроэкономической ситуации, актуальности отдельных заданий, достигнутого уровня промышленного производства. Преимуществом данной методологии является также возможность использования коллективного опыта всех заинтересованных участников инвестиционного процесса, что позволяет избежать "волевых" оценок и связанных с ними ошибок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мильник В. В., Титаренко Б. П., Волощук В. А. Исследование систем управления: Учебное пособие. М.: ЦИТО, 2001. 383 с.
2. Родинов В. Б., Федоров А. А. Оценка коммерческой состоятельности инвестиционных проектов // Технология машиностроения. 2005. № 9. С. 69—71.



## Прогресс сварочного производства в Республике Корея

Республика Корея (Южная Корея) занимает южную часть Корейского полуострова. Общая площадь страны 99 617,38 км<sup>2</sup>. Население страны составляет около 49 млн человек (по данным 2006 г.).

Республика Корея начиная с 60-х годов прошлого века демонстрирует рекордный темп интеграции в высокотехнологическую мировую экономику. Еще четырем десятилетиям ранее Корея по объему ВВП на душу населения была на уровне беднейших стран Африки, а с 2004 г. страна вошла в клуб стран-миллиардеров. Таких успехов страна достигла прежде всего благодаря способности правящих кругов мобилизовать все население страны на трудовые усилия во имя прогресса нации. К числу основных факторов, обуславливающих высокий и устойчивый рост экономики, можно отнести жесткое государственное регулирование экономики; глубокую интеграцию в мировое хозяйство на основе поэтапного селективного развития экспортных отраслей, продукция которых конкурентоспособна на мировом рынке; широкое привлечение и эффективное использование как прямых зарубежных инвестиций, так и доходов от экспорта собственной продукции.

Отличительной чертой южно-корейской экономики является ее опора на ряд крупных промышленных объединений, в частности, таких как Hyundai, Samsung, Daewoo и LG, которые пользуются всемерной поддержкой правительства, а их организационная структура содержит элементы семейного бизнеса.

В 2006 г. Южная Корея заняла 14-е место в мире по объему ВВП, который составил 897,4 млрд долл. или в расчете на душу населения — 24,2 тыс. долл. Структура ВВП ориентирована на промышленность — 45 % и сферу услуг — 52 %; вклад сельского хозяйства — всего 3 %.

В промышленном секторе экономики занято 26,4 % всего трудоспособного населения, в секторе услуг — 67,2 %. Прямые зарубежные инвестиции составили 28,4 % от ВВП.

Республика испытывает определенные сложности с энергообеспечением. Государственная программа определила до 2015 г. ежегодный прирост потребности энергоресурсов (включая термальную энергию, ядерную энергетику и гидроэнергетические источники) в объеме не ниже 4 %. За этот период планируется построить 12 атомных электростанций.

Основные отрасли промышленности — электроника, средства телекоммуникации, автомобилестроение, судостроение, химическая и металлургическая промышленность. В 2006 г. рост промышленного производства составил 8 %.

Республика Корея имеет стабильный положительный торговый баланс, в 2006 г. страна экспортировала продукции на 326 млрд долл., а импорт продукции составил 309,3 млрд долл. Основная продукция экспорта — полупроводники, беспроводное телекоммуникационное оборудование, автомобили, компьютеры, качественная сталь, суда, продукция нефтехимии. С другой стороны, страна импортирует нефть и нефтепродукты, сталь, пластмассы, продукцию органической химии и машиностроения, электронное оборудование, электроэнергию. Основные партнеры во внешней торговле Кореи — Китай, Япония, США, Саудовская Аравия [1].

Республика Корея входит в пятерку стран — мировых лидеров производства и потребления стали — основного конструкционного металла, перерабатываемого с использованием сварочных и родственных технологий. В 2005 г., по данным Международного института стали (IISI), в стране было произведено 47,8 млн т стали и 49,4 млн т горячекатаного проката (18,8 млн т — сортовой прокат; 30,6 млн т — плоский прокат). В эти объемы включены и некоторые виды стальной металлопродукции, в частности: специальный крупногабаритный профильный прокат — 4,0 млн т; стальная строительная арматура — 9,5 млн т; тонкий металлический лист и лента с покрытием — 9,5 млн т и свар-

ные трубы — 4,1 млн т. Видимое потребление стали в 2005 г. составило 49,0 млн т, а готовой стальной продукции — 47,1 млн т.

Основная доля производимой в Южной Корее готовой стальной продукции, в первую очередь листового проката, потребляется в автомобилестроении и судостроении. В стране ежегодно производится более 3 млн автомобилей, а объем заказов на строительство судов составляет порядка 10 млн брутто-т. Только на крупнейшей судовой верфи страны Hyundai расход стали в год превышает 1,0 млн т. Для переработки таких значительных объемов металлопродукции требуется соответствующая заготовительная, сварочная и другая техника для обработки и соединения материалов.

При формировании в 60—70-х годах прошлого столетия фундамента экономического развития в Республике Корея основной упор был сделан на опережающее развитие базовых отраслей экономики — тяжелой промышленности, металлургии, судостроения и автомобилестроения. Все эти отрасли относятся к металлоемким и металлообрабатывающим отраслям производства, для которых технологии соединения и обработки металла являются определяющими. Поэтому вполне закономерно, что в эти же годы получило интенсивное развитие сварочное производство.

Для всех молодых азиатских экономик характерно использование передовых достижений мировой науки и техники, и в частности в сварочном производстве. Так, например, массовое производство собственного сварочного оборудования в Республике Корея было начато в 90-х годах прошлого столетия с изготовления серии современного малогабаритного оборудования для механизированной и ручной дуговой сварки, включая инверторные источники питания, а также машин для контактной сварки. Это уже на первых этапах позволило снизить себестоимость производимой продукции и повысить качество сварных соединений и конструкций.

Производство сварочных материалов в Республике Корея ориентировано на выпуск сплошной легированной и порошковой проволоки малых и средних диаметров — основных сварочных материалов, потребляемых и в настоящее время промышленностью страны.

По данным Корейского общества сварщиков, в 2003 г. вклад сварки в экономику страны (по объему затрат на сварочное производство в основных отраслях промышленности и строительстве) составил 2,6 трлн вон или около 2,6 млрд долл., что соответствует примерно 0,3 % ВВП. Этот показатель ставит сварочное производство республики в один ряд со сварочным производством США и Германии [2, 3].

На рис. 1 приведены данные, характеризующие общие затраты на сварочное производство в трех традиционно базовых отраслях производства Республики Корея [4].

Самый высокий объем затрат на сварку и родственные технологии отмечается в судостроении. В 2003 г. он достиг 1,2 трлн вон, а ежегодный рост этого показателя в среднем составляет 8 %. В области автомобилестроения объем затрат на сварочное производство в 2003 г. составил 500 млрд вон, но динамика ежегодного роста этого показателя существенно выше, чем в судостроении и в среднем составляет 12 %. В электронике при производстве продукции с использованием сварочных и родственных технологий самый низкий объем затрат, не превышающий 300 млрд вон, но при этом сохраняется ежегодный прирост — 10—11 %.

Представляя общий объем производства собственно сварочной техники, Корейское сварочное общество опубликовало статистические данные только об объемах выпуска сварочного оборудования (рис. 2). Объем производства сварочного оборудования в 2003 г. немногим превысил 250 млрд вон (250 млн долл.) и средний ежегодный показатель его прироста в 1999—2003 гг. составлял порядка 15 % [4].

Известная маркетинговая фирма Frost & Sullivan опубликовала результаты собственных исследований рынка сварочной техники Южной Кореи [5], согласно которым суммарный объем продаж сварочной техники в 2005 г. составил 656,2 млн долл. и по их же прогнозно-аналитической оценке к 2012 г. объем рынка может возрасти до 955,0 млн долл. Основную долю в структуре рынка сварочной техники Республики Корея, по данным Frost & Sullivan, составляет оборудование для дуговой сварки — 58,5 % (384,0 млн долл.); на сварочные материалы приходится 27,1 % (177,7 млн долл.), а остальные 14,4 % (94,5 млн долл.), можно полагать, включают машины для контактной сварки, специальный ручной инструмент, средства защиты и др.

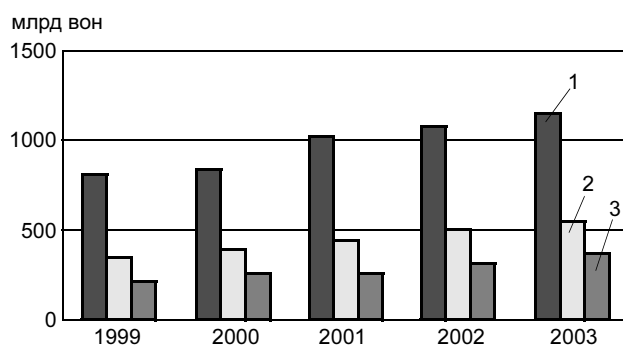


Рис. 1. Объем затрат на сварочное производство в судостроении (1), автомобилестроении (2) и электронике (3) с 1999 по 2003 гг.

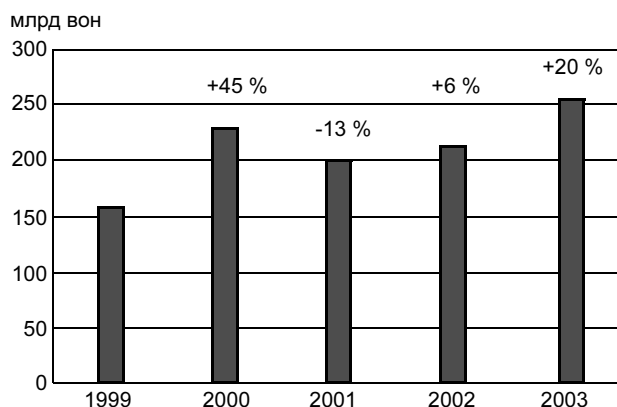


Рис. 2. Объем производства сварочного оборудования и динамика его ежегодного изменения за период с 1999 по 2003 гг.

По данным Корейского сварочного общества, структура рынка сварочной техники существенно отличается от приведенных выше данных фирмы Frost & Sullivan, особенно по оценке сектора сварочного оборудования. Так, по публикациям Корейского сварочного общества [7], рынок сварочного оборудования включает две основные группы оборудования: для дуговой сварки (60 % всего рынка сварочного оборудования) и контактной (40 %). Основные потребители сварочного оборудования собственного производства — это в первую очередь автомобилестроение и электроника, которые приобретают 60—65 % общего объема выпуска оборудования, остальные 35—40 % производимого в стране сварочного оборудования поставляются по заказам судостроения и промышленного строительства.

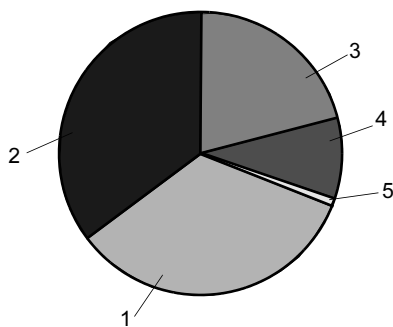
Сварочные роботы в структуру корейского рынка сварочной техники, как правило, не включаются, хотя Южная Корея — это один из лидеров производства и применения робототехники. На конец 2004 г. парк сварочных роботов в республике насчитывал 18 739 шт., что составляет 37 % всего парка роботов республики. Роботы для дуговой сварки составляют 45 % парка сварочных роботов, а роботы для контактной сварки — 55 %. В 2004 г. в Республике Корея было произведено 1190 сварочных роботов на сумму 59,6 млн долл.: 253 шт. (8,9 млн долл.) — для дуговой сварки и 937 шт. (50,7 млн долл.) — для контактной. Республика Корея экспортировала в 2004 г. 814 сварочных роботов на сумму 52,5 млн долл., из которых 810 были для контактной сварки. В 2004 г. Южная Корея импортировала 1784 сварочных робота на сумму 45,1 млн долл., 53 % из них составляли роботы для дуговой сварки. В 2004 г. в республике был установлен 2161 сварочный робот: 1186 — для дуговой сварки, 974 — для контактной, 1 — для лазерной [7].

Сварочное оборудование в Республике Корея выпускают 44 компании и фирмы. В их число также входят дочерние предприятия и филиалы ряда ведущих зарубежных фирм. Следует отметить, что 90 % сварочного оборудования производят малые и средние предприятия. К числу крупнейших компаний-производителей сварочного оборудования относятся Daewoo Welding Equipment Inc. Co., Ltd, Sunny Tech Co, G. E. T. Co., Ltd., I. W. S. Co., Ltd. [8].

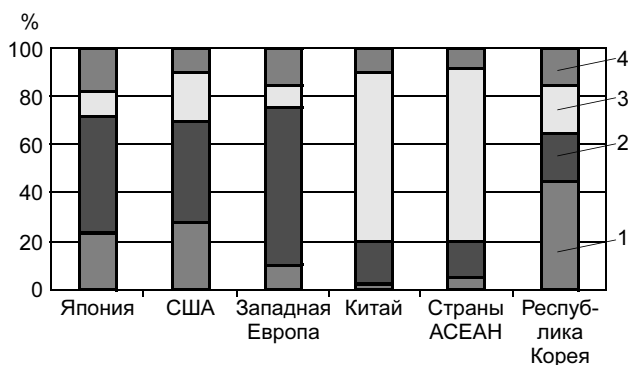
Как отмечалось выше, Республика Корея ведет активную внешнюю торговлю, в том числе и сварочной техникой. Так, в 2003 г. объем экспорта сварочного оборудования составил 93,6 млн долл., а импорта — 128,7 млн долл. Республика экспортирует машины для точечной и стыковой сварки, оборудование для дуговой сварки, а импортирует — машины для контактной шовной сварки, специальные сварочные роботы и комплексы, оборудование для сварки пластмасс [9].

В 2003 г. общее производство сварочных материалов в республике составило 295 тыс. т. По отношению к 1995 г., когда было произведено 45 тыс. т., прирост производства составил 250 тыс. т. При этом внутреннее потребление составляет 62 % выпускаемых сварочных материалов, 38 % — экспортируется [10]. В 1990 г. доля производства сплошной и порошковой проволоки для сварки в защитных газах составляла 19,5 % общего производства сварочных материалов, а в 2003 г. на ее долю уже приходилось до 78 % всего выпуска сварочных материалов, что отражает существенный рост уровня автоматизации и механизации сварочных операций в сварочном производстве в целом. Объемы производства сплошной и порошковой проволоки практически одинаковы, но около 40 % сплошной омедненной сварочной проволоки идет на экспорт. Основная доля (80 %) порошковой проволоки производится с сердечником рутилового типа и около 10 % — с металлическим порошком. В стране производится высокотемпературный спеченный флюс для дуговой сварки под флюсом. Плавленые флюсы для сварочного производства Республика Корея импортирует [6]. На рис. 3 приведена структура производства сварочных материалов в Республике Корея в 2003 г.

Как было отмечено выше, промышленное производство и строительство республики потребляет 62 % сварочных материалов собственного производства. Ряд сварочных и наплавочных материалов, в частности специального назначения, республика импортирует. Структура фактического потребления сварочных материалов и ее сопоставление со структурой потребления основных типов сварочных материалов в Японии, США, Западной Европе, Китае и странах АСЕАН наглядно иллюстрирует рис. 4.



**Рис. 3. Структура производства сварочных материалов в Республике Корея (2003 г.):** 1 — сплошная проволока (33,9 %); 2 — порошковая проволока (35,2 %); 3 — покрытые электроды (20,7 %); 4 — проволока для сварки под флюсом (9,7 %); 5 — другие присадочные материалы (0,5 %)



**Рис. 4. Структура потребления сварочных материалов [10]:** 1, 2 — порошковая и сплошная проволока соответственно; 3 — электроды; 4 — другие материалы

Производство сварочных материалов в республике осуществляют 22 фирмы и компании. Крупнейшими производителями всех видов сварочных материалов республики являются компании Chosun Steel Wire, Hyundai Welding Co. Ltd., Shine Co., Ltd, ESAB SeAH Corp, Kiss Weld. Для них характерно непосредственное сотрудничество с металлургическими предприятиями. Так, например, фирма ESAB SeAH Corp. — это совместное предприятие группы ESAB и металлургического комбината SeAH Steel [8].

Компания Hyundai Welding Co. Ltd., созданная в 1975 г., — один из крупнейших производителей сварочных и присадочных материалов широкого ассортимента. Доля продаж сварочных материалов компанией на внутреннем рынке составляет 62 %. Компания производит покрытые электроды для ручной дуговой сварки — 60 тыс. т; сплошную легированную проволоку для дуговой сварки в защитных газах — 25 тыс. т; порошковую проволоку для сварки в защитных газах — 25 тыс. т; проволоку и флюс для автоматической сварки — 6 тыс. т; проволоку для MIG- и TIG-сварки коррозионно-стойких сталей — 3 тыс. т. Продукция компании в основном поставляется в судостроение, автомобилестроение и тяжелое машиностроение, где качество сварочной про-

волоки во многом определяет высокие требования к сварным конструкциям и изделиям.

Компания Hyundai Welding — основной поставщик сварочных материалов для судостроения в ряде стран азиатского региона, которых привлекает высокое и стабильное качество продукции. Учитывая развитие сооружения морских оснований и других сварных конструкций в прибрежных районах, компания разработала и освоила производство специальных сварочных материалов широкого диапазона непосредственно для промышленного строительства, в частности, легированную проволоку для механизированной сварки в защитных газах, порошковую и сплошную проволоки и электроды для упрочняющей и износостойкой наплавки. Объемы ежегодных продаж компании составляют 5—10 млн долл. Производство имеет высокий уровень автоматизации и механизации, на нем заняты немногим более 600 человек [11, 12].

Основным отличием структуры потребления сварочных материалов в Республике Корея является доминирующая роль порошковой проволоки, доля которой превышает 40 % общего объема сварочных материалов. Порошковые проволоки применяют для сварки углеродистой, низко-, средне- и высоколегированной сталей, а также сталей повышенной и высокой прочности. Порошковые проволоки обеспечивают более высокую производительность и качество сварных швов при одновременном сокращении удельного расхода проволоки. Порошковая проволока — неотъемлемый элемент растущей механизации, автоматизации и роботизации сварочного производства. Лидером потребления порошковой проволоки в настоящее время является судостроение. Примером наиболее массового применения порошковой проволоки в производстве судов может служить практика судоверфи Samsung. Так, еще в 2001 г. на этой верфи в общем объеме всех сварочных материалов более 85 % составляла порошковая проволока, в том числе 71,6 % этой проволоки применяли при ручной механизированной сварке, 10,3 % — при механизированной сварке и 3,7 % — при роботизированной сварке. Объем применения на верфи электродов для ручной сварки не превышает 2,0 % [13].

Безусловно, в настоящее время достижения корейского сварочного производства по объемам и темпам производства и потребления такого прогрессивного сварочного материала, как порошковая проволока, можно считать рекордными. Хотя 10—12 лет назад сварочная общественность отнесла к безусловным достижениям мирового сварочного производства успех Японии, заключавшийся в значительном (в 1,2—1,5 раза) превышении производства порошковой проволоки в сравнении с производством электродов для ручной сварки [14].



Корейская сварочная промышленность развивается несколько медленнее, чем японская, но экономические модели ее развития ничем не уступают японским. Поэтому уровень поставляемой на внутренний и внешний рынки сварочной техники (оборудования и материалов) у Японии и Республики Корея практически одинаковы. Корейские производители сварочного оборудования и материалов весьма заинтересованы в трансфере инновационных разработок. Другими словами, республика заинтересована во внедрении в производство результатов японских исследований и разработок в области сварки и родственных технологий. Этому процессу активно способствует международное сотрудничество Южной Кореи в Азиатской сварочной федерации. В 2000 г. ученые и специалисты-сварщики 10 азиатских стран по формуле "АСЕАН + 3" (Индонезия, Малайзия, Сингапур, Таиланд, Бруней, Вьетнам, Мьянма, Камбоджа плюс Япония, Китай и Южная Корея) учредили Азиатскую сварочную федерацию — АСФ [15]. Основное направление деятельности АСФ — это в первую очередь гармонизация программ обучения и сертификации сварочного персонала в странах-членах АСФ с международными стандартами IIW, JAS, AWS, EN и др. Сварочные производства стран азиатского региона, включая Южную Корею, хронически испытывают острый дефицит в квалифицированном рабочем и техническом сварочном персонале.

В планах АСФ серьезное внимание уделяется отбору и системной разработке инновационных проектов, имеющих общерегиональное значение. Лидирующую роль в организации направлений исследований и инновационных разработок в области сварки и родственных технологий в АСФ играет Японское сварочное общество. Одна из главных задач АСФ — уже в ближайшее время довести до 50 % долю участия азиатских производителей сварочной техники на мировом сварочном рынке [15].

Корейские разработчики и производители сварочной техники исходя из общих тенденций мирового сварочного рынка и внутренних запросов ведущих отраслей промышленного производства и строительства сформировали на ближайший период ряд базовых задач по развитию прогрессивной сварочной техники.

В области производства сварочного оборудования намечены актуальные разработки:

- высокопроизводительных контактных точечных машин (с управляемым тепловложением) для роботизированной сварки в автомобилестроении;

- лазерных и гибридно-лазерных систем для линий по производству составных сварных заготовок "Tailored Blanks";

- оборудования на базе инверторных источников питания для дуговой сварки, оснащенного ана-

логовым и цифровым управлением и/или с элементами искусственного интеллекта.

В области сварочных материалов корейские производители ориентируются на первоочередную разработку и освоение производства следующих материалов:

- высокопроизводительной порошковой проволоки с низким выделением сварочного аэрозоля (повышенной экологичности) в основном с сердечником рутилового типа; ряд марок проволок предназначен для сварки с высокой погонной энергией толстолистового металла;

- сплошных (омедненных) проволок для сварки в защитных газах низколегированных (класса 550 МПа) и жаропрочных сталей для сосудов давления;

- специальных электродов для ручной сварки коррозионно-стойких сталей, а также меди, никеля, алюминия и их сплавов; при их применении должны быть соблюдены высокие экологические требования, обеспечивающие минимальное выделение сварочных аэрозолей.

В Республике Корея считают, что ее сварочную продукцию отличают стабильно высокое качество и сравнительно низкая стоимость, что делает ее достаточно конкурентоспособной на сварочном рынке азиатских и ряда других стран.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *The world factbook*. Korea, south//www.cia.gov.
2. Южная Корея: быстро-быстро-быстро//www.zerkalonedeli.com/ie/show/49/39325/.
3. Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике // Сварочное производство. 2007. № 2. С. 43—47.
4. Статистический анализ сварочной промышленности Республики Корея // Журнал Корейского общества сварщиков. 2005. Vol. 23. N 3 (June).
5. *South Korean welding market*//Frost & Sullivan. — [www.researchandmarkets.com](http://www.researchandmarkets.com).
6. Cho Seon Mook. State of the art of Welding Materials and Instrument in Korea // Journal of The Japan Welding Society. 2005. Vol. 74. N 1. P. 18—19.
7. *World Robotics 2005*. — United Nations // Economic Commission for Europe, The International Federation of Robotics. 2005. 403 p.
8. Korea Information Service. Wire // [www.daishin.co.kr/research/companyInfo/en/html/000590\\_1.htm](http://www.daishin.co.kr/research/companyInfo/en/html/000590_1.htm).
9. *Welding Korea 2005* // [www.weldiqshow.co.kr/2005/eng/info/info\\_2.asp](http://www.weldiqshow.co.kr/2005/eng/info/info_2.asp).
10. Koshiishi Fusaki. Global Strategy for Welding Consumables in Asia // Journal of The Japan Welding Society. 2005. Vol. 74. N 1. P. 51—55.
11. Hyundai Welding Co., Ltd. Welding & Solders // [www.alibabacom/company/10232810.html](http://www.alibabacom/company/10232810.html).
12. Lincoln Electric Sings Agreement to Acquire Hyundai Welding Ltd//<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=100845&p=irol-newsArticle>.
13. Южная Корея — лидер судостроения // [www.esab.ru](http://www.esab.ru).
14. Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. Современный сварочный рынок Японии // Технология машиностроения. 2002. № 3. С. 71—76.
15. *The Asian Welding Federation is founded* // Journal of Japan Welding Society. 2005. N 1. P. 5—9.

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

### AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL (Vol. 51, Fourth Quarter, 2006, Австралия)

**Развитие** сотрудничества в области сварки с канадскими промышленными предприятиями и организациями. Р. 14—17.

**Ежегодный** конгресс МИС в Канаде. Р. 16—17.

**Основы** дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе. Р. 26—27.

**Внедрение** роботизированной сварки на среднем предприятии. Р. 28.

**Участок** автоматизированной сварки, позволяющий повысить производительность малых и средних предприятий. Р. 29.

**Преимущества** управления и координации в области сварки. Р. 30—31.

**Применение** лазерной сварки на малых и средних предприятиях. Р. 32—33.

**Dean G., Norrish J., Cook C.** Погонная энергия переноса металла короткими замыканиями при дуговой сварке плавящимся электродом в защитном газе. Р. 39—48.

### BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA W GLIWICACH (Roc. 51, N 1, 2007, Польша)

**Rams B.** Соединение искусственных материалов с помощью технологий склеивания. Р. 24—30.

**Rozanski M., Serwinski R.** Соединение концов кабелей системы катодной защиты с помощью пайко-сварки "pin brazing". Р. 31—34.

**Slania J. et al.** Применение термического анализа при проведении исследований в области сварки. Р. 34—37.

**Pfeifer T.** Аттестация технологии дуговой сварки алюминия и завершающей сварки алюминиевых отливок — процедура, требования и рамки аттестации согласно международным стандартам. Р. 38—46.

### BULETINUL INSTITUTULUI IN SUDURĂ ȘI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE — BID ISIM (N 1, 2006, Румыния)

**Dogan B. et al.** Значение зарождения трещины ползучести при оценке дефектов. Р. 3—10.

**Pascu D. et al.** Анализ ухудшения структуры при эксплуатации труб из стали 16Mo3 в тепловом контуре среднего давления и температуры. Р. 11—14.

**Fleşer T. et al.** Оценка эксплуатационной надежности промышленных установок на основе неразрушающих исследований. Р. 21—28.

**Mistodie L.** Оптимизация синергетических режимов при импульсной МИГ-сварке. Р. 29—35.

**Образование** и обучение в области сварки. Р. 36.

### JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 75, N 6, 2006, Япония)

**Ohji T.** Новые данные о сварочной дуге на полом катоде. Р. 3—4.

**Suzuki R.** Влияние состава проволоки на результаты высокоскоростной сварки тонколистового материала. Р. 5.

#### *Специальный выпуск.*

#### *Испытания на малогабаритных образцах*

**Nakayama E.** Оценка локальных прочностных свойств материала на малогабаритных образцах. Прогнозирование прочности точечных сварных соединений. Р. 7—11.

**Lee J. et al.** Неразрушающий контроль прочности сварных соединений и остаточных напряжений методом непрерывного вдавливания. Р. 12—18.

**Yanagisawa E. et al.** Оценка вязкости разрушения на малогабаритных образцах. Р. 19—23.

**Nokara I.** Оценка долговечности высокотемпературных элементов методом испытаний на ползучесть малогабаритных образцов. Р. 24—27.

**Minami F.** Методики оценки разрушения с использованием напряжений Вейбулла. Ч. 2. Р. 28—62.

**Yatomi M. et al.** Обслуживание сварных конструкций с учетом степени риска. Р. 63—66.

**Yasuyama M. et al.** Сварка раскромочных заготовок из высокопрочной листовой стали. Р. 67—70.

**Nakanishi E.** Сварка и сборка кузовов из высокопрочной стали. Р. 71—73.

**Kurokawa H.** Репортаж со сварочной выставки в Эссене. Р. 74—77.

### QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 24, N 3 (Aug.), 2006, Япония)

**Sasaki Sh. et al.** Лазерная сварка бухт медной проволоки и биметаллической проволоки для соединения электронных компонентов. Р. 191—199.

**Miyasaka F. et al.** Численное моделирование дуговой сварки полым катодом. Р. 200—204.

**Nakata K. et al.** Ремонтная сварка корпуса нейтронного реактора путем нанесения закаленного валика с помощью ТИГ-сварки и ИАГ-лазером с низкой погонной энергией. Р. 205—214.

**Yamaguchi T. et al.** Исследования с помощью просвечивающего электронного микроскопа с высоким разрешением наплавочных материалов из алюминия и низкоуглеродистой стали. Р. 215—222.

**Motohashi H., Hagiwara N.** Влияние погонной энергии на механические свойства и микроструктуру металла кольцевых швов магистрального трубопровода из стали Х80, выполненных МИГ-сваркой и сваркой плавящимся покрытым электродом в защитном газе. Р. 223—232.

**Fujita Y. et al.** Ремонтная наплавка путем изотермической кристаллизации монокристаллического суперсплава CMSX-4 на основе никеля. Р. 233—239.

<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).

**Inose K.** et al. Метод оценки вязкости в надрезе по Шарпи соединения из углеродистой стали, выполненного лазерной сваркой. Р. 240—246.

**Meguro S., Muramatsu Y.** Применение системы спекл-интерферометрии (ESPI) в сварке. Р. 247—252.

**Takahashi T.** et al. Определение малоциклового усталостной долговечности бессвинцовых припоев Sn-3,5Ag и Sn-0,7Cu с помощью поверхностной деформации. Р. 253—258.

**Hino T.** et al. Диэлектрические свойства многослойной тонкой пленки  $\text{BaTiO}_3\text{—SrTiO}_3$ , полученной с помощью лазерного напыления. Р. 259—264.

**Hasegawa M., Ogura K.** Исследование сварки трением круглого стержня и трубы из полиэтилена. Р. 265—272.

**Sakamoto R.** et al. Разработка соединения в переходной жидкой фазе суперсплава на основе никеля, инконеля 718 с целью устранения гомогенизирующей термической обработки. Р. 273—280.

**Suzuki R.** et al. Влияние предварительного нагрева при сварке трением с перемешиванием алюминиевого сплава. Р. 281—286.

#### **RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA** (An. LVIII, N 5, 2006, Италия)

**Costa L., Murgia M.** Процессы дуговой контактной сварки — развитие и перспективы применения. Р. 633—638.

**Canale G., De Marco M.** Влияние остаточных напряжений в конструкциях, подверженных коррозии под напряжением. Р. 641—649.

**Capello E.** et al. Поверхностная обработка соединений из дуплексной стали с помощью диодного лазера. Р. 653—659.

**Scasso M.** Сварочное производство железнодорожных вагонов. Р. 661—664.

**Mazzoni G.** et al. Технология сварки трением с перемешиванием — примеры применения в авиационно-космической промышленности. Р. 667—676.

**Tovo R.** Зависимость между остаточными напряжениями и усталостной прочностью сварных соединений — международные стандарты. Р. 679—683.

**Mc Millan G.** Здравоохранение и техника безопасности сварщиков в 2005 г. Р. 687—691.

#### **SUDURA** (An. XVI, N 5, 2006, Румыния)

**Rusan T., Safta V.** Растворение и кинетические реакции частиц в ЗТВ при сварке трехкомпонентного суперсплава с дальнейшей термической обработкой. Р. 5—12.

**Dumbravă D.** et al. Экспериментальные исследования упрочнения металлических конструктивных элементов. Р. 13—21.

**Laudacescu E.** et al. Анализ состояния напряжений и деформаций в зоне сварного соединения прокатанной листовой стали для вертикальных цилиндрических резервуаров. Р. 23—26.

**Vogt M.** Автоматизированная МИГ-сварка магниевых сплавов. Р. 27—30.

**Ditz R.** Газофлюсовая высокотемпературная пайка. Р. 34—36.

**Bobzin K.** et al. Плазменная пайка алюминиевых и магниевых сплавов. Р. 38—40.

#### **(An. XVI, N 6, 2006, Румыния)**

**Safta V.** Влияние вылета электродной проволоки на геометрические параметры импульсной МИГ-сварки сплавов Al—Mg—Si. Р. 5—10.

**Lorenz H.** Точечная ТИГ-сварка — точка контакта, скорость, отсутствие напряжений. Р. 11—13.

**Koch J.** Значительное снижение затрат при ремонтной сварке котла. Р. 14—15.

**Blaschke T.** et al. Конструкции, изготовленные с помощью сварки трением с перемешиванием. Р. 17—19.

**Danzer W.** Влияние технологического газа в процессе лазерной сварки. Ч. 1. Контроль защитного воздействия при сварке стали. Р. 21—23.

**Hermann J.** Проблемы, вызванные азотом и воздухом при лазерной сварке. Р. 24—25.

#### **VARILNA TEHNIKA** (Let. 55, N 1, 2006, Словения)

**Zorc B.** ТИГ-сварка аустенитных коррозионно-стойких сталей в защитной атмосфере азота. Р. 3—8.

**Gurris A.** et al. Сведение к минимуму поверхностных дефектов сварных швов, выполненных лазером, с помощью методов Тагучи. Р. 9—12.

#### **(Let. 55, N 3, 2006, Словения)**

**Jovanović V.** et al. Обнаружение непроплавов сварных соединений с помощью ультразвуковых испытаний. Р. 71—76.

**Pučko B.** Ударная вязкость многопроходных сварных соединений, подверженных вибрации в процессе сварки. Р. 77—81.

#### **(Let. 55, N 4, 2006, Словения)**

**Köveš A.** Сравнение результатов, полученных при обычной ТИГ-сварке и высокопроизводительной А-ТИГ-сварке. Р. 105—108.

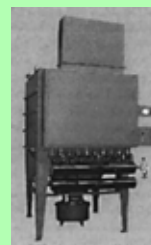
**Polajnar I.** et al. Анализ влияния параметров режима сварки на прочность швов, выполненных контактной рельефной сваркой, с использованием методов Тагучи. Р. 109—118.

### **РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА**

Москва, 109147, ул. Марксистская, 5. Тел.: (495) 540 4749, 676 6184, 676 7612



**ЭЛСТАТ**  
15 лет на рынке



электростатические, механические, от сварочных и масляных аэрозолей, абразивной пыли, дымов при пайке, лужении и др., вытяжные устройства, гибкие воздуховоды



# Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки\*

**Устройство для слежения за стыком при электронно-лучевой сварке** содержит электронно-лучевую установку с отклоняющей системой, связанной с выходом сумматора, первый вход которого связан с датчиком тока, запоминающее устройство, интегратор, датчик перемещения свариваемых деталей, генератор сканирования, индикатор положения стыка, блок управления и датчик вторичных электронов через избирательный усилитель, связанный с входом демодулятора. Отличается тем, что для повышения качества сварки за счет повышения точности слежения за стыком оно снабжено вторым избирательным усилителем, вторым генератором сканирования, вторым демодулятором, фильтром нижних частот, компаратором, блоком деления и ключом. 1197272 (A1). В. Д. Лаптенко, В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев. [12].

**Способ подготовки и сборки под сварку кольцевых стыков** преимущественно нежестких конструкций включает механическую обработку кромок до заданного размера и сборку на центрирующем разжимном кольце. Отличается тем, что для повышения качества сварки вначале каждую из свариваемых деталей устанавливают на центрирующем кольце, разжимают кольца, упруго деформируя свариваемые кромки, и выполняют их механическую обработку, а затем осуществляют сборку стыка, для чего совмещают кольца по соосно сопрягаемым поверхностям. 1185781 (A1). А. Г. Двуреченский, В. П. Абрисов, А. В. Герфанов. [12].

**Электрододержатель для ручной дуговой сварки** содержит зажимной элемент для электрода и токоподвод для соединения со сварочным кабелем. Отличается тем, что токоподвод выполнен с ложементом, имеющим рифленую опорную поверхность. 52755 (U1). И. И. Колупаев (RU). ООО "Компания "КОРД" (RU). [12].

**Устройство для защиты внутреннего сварного шва трубопроводов** содержит втулку, несущую на себе установочные выступы, и кольцевые упоры. Отличается тем, что втулка выполнена разъемной по ширине и имеет внешнее и внутреннее твердоплавкое эмалевое покрытие, а кольцевые упоры сформированы по краям внешней стороны тела втулки, при этом толщина стенки втулки составляет 0,07—0,15 ее ширины, которая связана с наружным диаметром втулки соотношением  $S = (0,15 \div 0,30)D$ , причем высота кольцевого упора равна 1,0—1,5 толщины

внешнего эмалевого покрытия втулки, а полость, образованная внешней поверхностью втулки и кольцевыми упорами, выполнена из легкоплавкой силикатной эмали, вместе с этим установочные выступы выполнены из коррозионно-стойкой стали, два из которых расположены по краям разъема втулки и являются фиксаторами стопорного элемента для упругонапряженного смыкания втулки. 52967 (U1). К. В. Казак (RU), А. К. Казак (RU), В. В. Диденко (RU) и др. ООО "Эмаль-Ставан" (RU), ООО "Ставан-Комплекс" (RU). [12].

**Источник питания для дуговой сварки** содержит согласующий трансформатор с первичной обмоткой, подключенной к питающей сети, и вторичной силовой обмоткой, выпрямитель, сглаживающий дроссель, одним выводом подключенный к выходу положительной полярности выпрямителя, а другим — к выходу устройства, датчик тока, вырабатывающий сигнал, пропорциональный выходному току, одним выводом соединенный с выходом устройства, а другим выводом — с выходом отрицательной полярности выпрямителя, датчик напряжения, вырабатывающий сигнал, пропорциональный выходному напряжению устройства, датчик тока и напряжения, усилитель рассогласования тока и напряжения, неинвертирующий вход которого соединен с датчиками тока и напряжения, а инвертирующий — с датчиком тока и напряжения. Отличается тем, что первичная обмотка согласующего трансформатора подключена к питающей сети через симистор, выводы вторичной обмотки — к входу неуправляемого выпрямителя, генератор тактовых импульсов содержит логический элемент "Исключающее ИЛИ", первый вход которого подключен к делителю сетевого напряжения, а второй — к делителю суммы сетевого напряжения и напряжения источника питания элемента "Исключающее ИЛИ", выход генератора тактовых импульсов соединен с входом синхронизации схемы импульсно-фазового управления, а ее управляющий вход через оптронную развязку — с выходом усилителя рассогласования тока и напряжения, который соединен с датчиком тока или напряжения через переключатель. 2275995 (C2). Г. П. Петин (RU), Е. Д. Рогач (RU). ООО НПП "Донэлектроприбор" (RU). [12].

**Тренажер сварщика ручной дуговой сварки** содержит корпус, имитатор свариваемых деталей, электрод, закрепленный в электрододержателе, и электронную схему преобразования напряжения. Отличается тем, что электронная схема преобразования напряжения расположена внутри корпуса и выполнена в виде преобразователя напряжения, выход которого соединен с электродом и имитатором свариваемых деталей, выполненным в виде гибкой тонкой металлической подложки с закрепленным на ней с помощью магнита листом бумаги, при этом имитатор свариваемых деталей установлен с возможностью изменения угла наклона для имитации различных видов сварочных швов. 2275996 (C2). Н. М. Смолин. (RU). [12].

**Способ автоматической электродуговой наплавки изделий типа тел вращения под слоем флюса** включает наплавку непрерывной дугой на наплавляемую по-

\* 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.



верхность по меньшей мере одного единого валика. Отличается тем, что единый валик выполняют состоящим из двух кольцевых участков и расположенного между ними спирального участка, причем указанные кольцевые участки валика располагают частично на торцах изделия по всему их периметру, при этом вначале наплавляют первый кольцевой участок, затем спиральный участок, после которого второй кольцевой участок валика, а после наплавки единого валика покрытие с торцов изделия удаляют. 2275997 (C2). П. Б. Перегудин (RU), С. Б. Перегудин (RU), Б. П. Перегудин (RU). ООО фирма "Директ" (RU). [13].

**Механизм импульсной подачи сварочной проволоки** содержит два зажима для проволоки. Отличается тем, что дополнительно снабжен штоком, устройством возвратно-поступательного перемещения штока в осевом направлении и кулачком, имеющим привод вращения, при этом ось штока расположена перпендикулярно оси прохождения проволоки, пропущенной через отверстие, выполненное в средней части штока, а устройство возвратно-поступательного перемещения штока выполнено в виде пружины сжатия, установленной на одном конце штока, а на другом — расположен ролик, выполненный с возможностью взаимодействия с кулачком, причем ось кулачка расположена параллельно оси прохождения проволоки. 2275998 (C2). О. Г. Брунов (RU), В. Т. Федько (RU), А. В. Крюков (RU) и др. Томский политехнический университет (RU). [13].

**Способ автоматической и механизированной сварки** плавящимся электродом включает предварительный разогрев стыка деталей конструкции дугой независимого питания, возбуждаемой между неплавящимся электродом и конструкцией, и сварку. Отличается тем, что предварительный разогрев начала будущего шва или концевой участка неоконченного шва по стыку деталей конструкции ведут до образования сварочной ванны, по достижении требуемого прогрева переключают напряжение на плавящийся электрод и выполняют сварку, причем предварительный разогрев и сварку осуществляют в защитном газе. 2275999 (C2). Г. С. Киселев (RU), В. И. Астахин (RU), В. В. Лихман (RU), Ю. В. Грачев (RU). ОАО "Криогенмаш" (RU). [13].

**Устройство для деформирования листовых заготовок из титановых сплавов при их нагреве** содержит матрицу и пуансон. Отличается тем, что дополнительно снабжено накидной гайкой, установленной по резьбе на матрице со стороны пуансона, в матрице выполнены каналы подвода инертного газа в полость между матрицей и пуансоном, причем матрица закреплена на нижнем, а пуансон установлен на верхнем электроде машины контактной точечной сварки. 53201 (U1). В. В. Овчинников (RU), В. В. Алексеев (RU), В. Б. Верденский (RU). [13].

**Заготовка слоистой тонкостенной сварной конструкции** криволинейного профиля включает наружную и внутреннюю обшивки, собранные коаксиально с натягом на торцевых участках. Отличается тем, что поверхности контакта на торцевых участках снабжены припойным покрытием. 53202 (U1). В. Р. Петренко (RU), В. В. Пешков (RU), С. С. Доронкин (RU) и др. Воронежский ГТУ (RU). [13].

**Сварочная установка** содержит базовый трелевочный трактор, топливный бак, рычажный гидроманипулятор, кузов с размещенной в нем дизель-электростанцией, а также электрический кабель для подключения сварочных постов. Отличается тем, что топливный бак выполнен плоским, по ширине и высоте не превышает соответ-

ственно ширину и высоту кузова, размещен параллельно передней торцевой стенке кузова между ней и гидроманипулятором, при этом электрический кабель выведен из кузова над топливным баком, пропущен вдоль рычагов гидроманипулятора и подключен к электрическому разъему, закрепленному вблизи грузового крюка гидроманипулятора. 53203 (U1). Л. И. Катаргин (RU), В. А. Филин (RU), А. А. Стародумов (RU), В. А. Тупицын (RU). ООО "Кировский завод лесного машиностроения" (RU). [13].

**Робототехнический комплекс для точечной контактной сварки** содержит позиции загрузки и выгрузки изделий, зафланцовки и сварки, снабженные приемным столом с защитным экраном, транспортным роботом с закрепленным на руке захватом, агрегатом зафланцовки, кондуктором, сварочным роботом, оснащенным сварочными клещами со встроенным трансформатором, и системой управления. Отличается тем, что сварочные клещи дополнительно оснащены сварочной оснасткой, а крепление их к руке сварочного робота выполнено посредством технологического кронштейна. 53204 (U1). А. Е. Хабаров (RU), М. В. Снопко (RU), А. Н. Холмов (RU), С. М. Куликов (RU). ОАО "ГАЗ" (RU). [13].

**Устройство для сборки-сварки кузова автомобиля** содержит сварочную станцию, снабженную соответствующими сварочными средствами, конвейерную линию для подачи основания кузова к сварочной станции и для отвода прихваченного кузова из станции, по меньшей мере одну пару боковых затворов, расположенных по обе стороны от сварочной станции, которые установлены с возможностью поперечного перемещения из нерабочего положения в рабочее и снабжены зажимными элементами для фиксации боковин кузова, устройство для подачи и загрузки боковин кузова в боковые затворы и манипуляционное устройство для установки в рабочее положение по крайней мере одного верхнего элемента кузова посредством соответствующего формообразующего кондуктора. Отличается тем, что последний выполнен заодно с манипуляционным устройством и в рабочем положении установлен с возможностью обеспечения первоначальной пространственной базы для верхнего отсека кузова с последующим сближением и прихваткой боковин к верхнему элементу кузова. 53205 (U1). В. М. Мосалыгин (RU), В. Г. Уткин (RU), Ю. Н. Хорошев (RU) и др. ОАО "ГАЗ" (RU). [13].

**Ограничитель напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги** содержит устройство питания и пусковой элемент, включающий делитель напряжения с последовательно соединенными резисторами, устройство коммутации, устройство обратной связи и времязадающую цепочку. Отличается тем, что он дополнительно снабжен устройством индикации, содержащим последовательно соединенные светодиоды, включенным параллельно устройству коммутации, и стабилизатором напряжения, установленным на устройстве питания, содержащим последовательно включенные транзистор и диодный мост, устройство коммутации выполнено в виде транзисторного ключа, содержащего транзистор, реле и управляющие логические элементы, времязадающая цепочка выполнена в виде параллельно включенных конденсатора и резистора и соединена с входом логического элемента устройства коммутации и с выходом устройства обратной связи, выполненного в виде датчика тока на магнитоуправляемой микросхеме, соединенного с инвертирующим транзистором и диодной развязкой, делитель на-

пряжения снабжен последовательно установленными на его выходе двумя логическими элементами, своим выходом соединенными с конденсатором времязадающей цепи и с входом управляющего логического элемента устройства коммутации. 2276634 (С1). С. М. Минеев (RU). [14].

**Способ сварки плавлением** в защитных газах, при котором на кромки свариваемых изделий наносят раствор галогенидов в этиловом спирте. Отличается тем, что при сварке плакированных алюминиием сталей в качестве галогенидов используют хлорное железо. 2227035 (С1). А. И. Ковтунов (RU), А. С. Климов (RU), В. А. Лабзин (RU). НОУТУЦ "Спектр" (RU). [15].

**Машина газовой резки металлов** содержит корпус с электроприводом, снабженный направляющей, на которой установлена каретка с электроприводом и с закрепленным на ней резаком. Отличается тем, что корпус снабжен дополнительной направляющей с размещенной на ней дополнительной кареткой с резаком, причем направляющие выполнены на разных уровнях, а каретки установлены с возможностью поперечного перемещения навстречу друг другу в одной плоскости. 53609 (U1). В. Ф. Дьяченко (RU), Е. В. Кебенко (RU), М. И. Сафин (RU), Ю. Б. Снегирев (RU), ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU). [15].

**Гратосниматель** включает подъемное устройство, сочлененное с приводом, в раме которого размещен приводной режущий вал с установленными с двух сторон от него опорными роликами. Отличается тем, что снабжен установленным по ходу металла у первого опорного ролика защитным устройством, экраном и открытым коро-

бом с наклонным днищем и разновеликими боковыми стенками, к внутренней стороне большей из которых прикреплены копиры с наклонными поверхностями, а в днище или в боковой стенке выполнено сливное отверстие. 53610 (U1). С. А. Гриценко (UA), Ю. В. Сусь (UA), И. А. Евгиненко (UA) и др. ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод" (UA). [15].

**Способ получения телескопического соединения сваркой давлением**, при котором детали устанавливают одна в другой, контактирующим поверхностям придают необходимую форму, а сварочное давление создают путем двустороннего сжатия торцов одной из деталей. Отличается тем, что для повышения прочности соединения при сварке трех и более деталей контактирующим поверхностям наружной и внутренней деталей предварительно придают V-образную в поперечном сечении форму с opposитно расположенными вершинами, обращенными к средней детали, которую изготавливают с прямоугольным поперечным сечением, шириной, равной расстоянию между упомянутыми вершинами, соосно сопряженными с равнобокой трапецией, боковые стороны которой совпадают с примыкающими сторонами поперечного сечения наружной и внутренней деталей, причем среднюю деталь выполняют выступающей над наружной и внутренней деталями на величину, соответствующую допустимой деформации при сварке, и сварочное давление прикладывают к средней детали. 1102144 (A1). И. И. Осипов, В. М. Дробчик, А. И. Исаев и др. [15].

Н. Посметная



## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РАСКРОЯ МЕТАЛЛА



Оборудование для дуговых способов сварки



Установки для контактной сварки



Установки для плазменной резки



Машины для термической резки



Машины для лазерной резки

**Разработка комплексных решений для Вашего производства. Демонстрационные залы. Лизинг**

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

Ждем Вас на [WWW.DUKON.RU](http://WWW.DUKON.RU)

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791.927.535

**Высокопроизводительная механизированная двухэлектродная наплавка проволоками под флюсом с подачей дополнительной заземленной проволоки в зону горения дуги.** Мастенко В. Ю. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 3—6.

Разработан способ двухэлектродной наплавки под флюсом с подачей в зону горения дуги дополнительной заземленной проволоки. Рассмотрены различные варианты подачи дополнительной проволоки. Определены оптимальные параметры наплавки, обеспечивающие хорошее формирование валиков с минимальной долей участия основного металла в наплавленном. Установлены области применения разработанного способа. Показаны преимущества двухэлектродной наплавки в сравнении с наплавкой одной проволокой. Разработано оборудование и проведены практические испытания при нанесении защитных покрытий на внутреннюю и внешнюю поверхности изделий малого диаметра. Ил. 4. Библиогр. 5.

УДК 621.791.019:539.376

**Исследование термомеханического состояния цилиндрических деталей, наплавленных слоями аустенитной и мартенситной сталей.** Сенченков И. К., Червинко О. П., Турьяк Е., Рябцев И. А. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 6—14.

Изложены теоретические вопросы, связанные со структурными превращениями и остаточными напряжениями при спиральной наплавке цилиндрических деталей из аустенитной и мартенситной сталей. Проведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных, показывающее их удовлетворительное совпадение.

Теоретически обоснован предварительный подогрев до температуры 200—300 °С стали 35ХМ перед наплавкой с целью исключения образования трещин в наплавленном слое. Табл. 4. Ил. 14. Библиогр. 18.

УДК 621.791.92:669.018.25

**Покрyтия, полученные электронно-лучевой наплавкой композиционными порошками карбид титана — связка из быстрорежущей стали Р6М5.** Прибытков Г. А., Храмогин М. Н., Дураков В. Г., Коржова В. В. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 14—17.

С применением самораспространяющегося высокотемпературного синтеза получены композиционные порошки карбид титана — связка из быстрорежущей стали Р6М5 с объемным содержанием связки 13—37 %. Электронно-лучевые покрытия, наплавленные синтезированными порошками, исследованы методами металлографии и рентгеноструктурного анализа. Установлено влияние микроструктуры, фазового состава, объемного содержания и морфологии карбидной фазы в наплавленных покрытиях на их твердость и абразивную износостойкость. Табл. 2. Ил. 3. Библиогр. 10.

УДК 621.791.927.2:621.373.826

**Формирование наплавленных слоев с использованием лазерного импульсно-периодического излучения.** Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Чжан Цин — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 18—21.

Рассмотрена принципиальная возможность применения объемного лазерного формообразования для изготовления и восстановления деталей машин с использованием импульсно-периодического лазерного излучения. Исследовано влияние режимов на форму и размеры наплавленных валиков при применении твердотельных импульсно-периодических лазеров. Получена регрессионная модель, связывающая режимы наплавки с размерами единичного валика. Установлено, что при боковой подаче порошка по сравнению с коаксиальной темп прироста высоты отдельного валика снижается по мере увеличения числа проходов. При этом отмечена также неравномерность высоты наплавленного слоя по длине наплавки. Ил. 6. Библиогр. 3.

УДК 621.791.763.1.03

**Модернизация системы охлаждения электродов для контактной точечной сварки.** Латыпова Е. Ю., Фурманов С. М., Цумарев Ю. А., Емельянов С. Н. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 22—24.

Разработана новая система охлаждения электродов для контактной точечной сварки. Ленточный завихритель внутри подающей воду трубки обеспечивает интенсивный теплообмен между потоком и охлаждаемой поверхностью за счет повышения турбулентности потока при его закручивании. Данная конструкция улучшает условия эксплуатации электродов и способствует уменьшению их износа на 20 %. Ил. 5. Библиогр. 2.

УДК 621.791.755

**Исследование плазменной закалки.** Коротков В. А., Шевцов А. В. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 25—29.

Исследован процесс ручной плазменной закалки. Установлено, что ручная плазменная закалка обеспечивает достаточные для практического применения толщину и твердость закаленного слоя. Приведены примеры практического применения ручной плазменной закалки, увеличившей срок службы деталей. Табл. 1. Ил. 12. Библиогр. 6.

УДК 621.791.754

**Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки.** Лебедев В. А. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 30—35.

Рассмотрены некоторые технические и технологические аспекты процесса сварки с короткими замыканиями дугового промежутка тонкими электродными проволоками в углекислом газе с использованием регулируемого импульсного движения проволоки. На основе исследований сварки металлов разных толщин установлены дополнительные возможности регулируемых импульсных механизмов: расширение диапазона устойчивых режимов, регулирование и наладка механизированного дугового оборудования, управление формой сварного соединения при сварке сталей широкого диапазона толщин в различных пространственных положениях. Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. 7.

УДК 621.791.14

**Комплексная оценка свойств сварных соединений труб из сплава циркония с содержанием 2,5 % ниобия, выполненных сваркой трением.** Плышевский М. И., Тюрин В. Н., Семенов А. Н. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 35—36.

Проведены комплексные исследования свойств сварных соединений труб из сплава H-2,5, полученных сваркой трением. Определен оптимальный режим сварки. Подтверждена эффективность контроля исследуемых сварных соединений методом акустической эмиссии. Табл. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.791:658.567.1

**Исследование процесса утилизации отходов меди методом электрошлакового переплава.** Игнатов А. П., Макаренко В. Д., Бакеев Р. Б., Шевцов В. Л. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 39—44.

Предложена альтернативная технология утилизации отходов меди в виде проволоки или шинки методом электрошлакового переплава (ЭШП). Разработаны схемы электрошлакового процесса на промышленной установке и определен состав необходимого оборудования и оснастки для участка ЭШП отходов меди производительностью 200 т в год при односменном режиме работы. Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 621.791.001.12/.18

**Прогресс сварочного производства в Республике Корея.** Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. — Сварочное производство. 2007. № 8. С. 53—57.

Приведены данные, характеризующие динамику производства, потребления и вклад производства сварочных материалов и оборудования в экономику Республики Корея. Отмечается чрезвычайно высокий темп развития экономики Республики Корея в целом и сварочного производства в частности. Ил. 4. Библиогр. 15.



# Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2007, № 8

**Highly productive mechanized bielectrode build-up submerged arc welding feeding auxiliary earth wire into the arc burning zone.** Mastenko V. Yu. P. 3—6.

A technique of bielectrode build-up submerged arc welding feeding auxiliary earth wire into the arc burning zone was developed. Different manners of auxiliary wire feeding are considered. Optimum build-up conditions, enabling good bead formation with minimal share of parent metal in the built-up one, are determined. Fields of application are established for the developed method. Advantages of the bielectrode build-up welding are shown as compared to the single-wire deposit. Equipment is designed and practical tests were carried out by depositing protective coating onto the internal and external surfaces of parts of minor diameter.

**Study of the thermomechanical state of the cylindrical parts padded by austenitic and martensitic steels.** Senchenko I. K., Chervinko O. P., Turyk E., Ryabtsev I. A. P. 6—14.

Theoretical problems of structural changes and residual stress at spiral deposition of the austenitic and martensitic steel cylindrical parts are covered. Calculation and experimental data correlation is given, which shows their satisfactory coincidence.

Theoretical ground is given to preheating of the steel 35XM up to 200—300 °C before deposition aimed at crack formation excluding in the pad.

**Coatings electron-beam surfaced by composite powders of titanium carbide — binder from the rapid machining steel P6M5.** Pribytkov G. A., Khramogin M. N., Durakov V. G., Korzhova V. V. P. 14—17.

Since application of the self-propagating high-temperature synthesis, composite powders of titanium carbide — binder from the rapid machining steel P6M5, binder volumetric content 13—37 per cent, has been obtained. Electron-beam coatings, deposited by synthesized powders, are investigated by method of metallography and X-ray diffraction analysis. Effect of microstructure, phase structure, volumetric content and morphology of the carbide constituent in the surfaced coat on their rigidity and abrasive wear-resistance is established.

**Formation of pads by pulse periodic laser emission.** Grigoryants A. G., Misyurov A. I., Chzhan Tsin. P. 18—21.

Fundamental opportunity of applying volumetric laser formation is considered aimed at machine elements production and reconditioning by pulse-periodic laser emission. Operation effect on the form and dimension of the weld bead is studied at using a solid-state pulsed-recurrent laser. Regression model is obtained, which correlates welding deposit conditions and dimension of a single bead. It is established that growth rate of the separate bead thickness decreases as the number of passes increases at lateral feed of the powder as compared to the coaxial one. At the same time it is noted that thickness of the pads is irregular along the bead.

**Spot contact welding die cooling system update.** Laty-pova Ye. Yu., Furmanov S. M., Tsumarev Yu. A., Yemelyanov S. N. P. 22—24.

A new spot contact welding die cooling system is developed. Band swirler in the water-supplying pipe provides intense heat exchange between the flow and the cooled surface due to flow turbulence rise at its swirling. This construction improves electrode operation conditions and contributes to their wear reduction up to 20 per cent.

**Study of plasma hardening.** Korotkov V. A., Shekurov A. V. P. 25—29.

Hand plasma hardening is investigated. It is established that hand plasma hardening ensures hardened case thickness and hardness, sufficient for practical application. Examples are given illustrating practical application of the hand plasma hardening, which increases service life of components.

**Peculiar properties of steels pulsed welding.** Lebedev V. A. P. 30—35.

Some technical and technological problems of the arc space thin-wire-short-circuited CO<sub>2</sub>-shielded welding, using wire adjusted impulsive motion, is covered. Based on the studies of welding metals of different thickness additional opportunities for variable pulsing mechanisms are established: range extension of the stable modes, adjustment and engineering setup of the arc-wise equipment, welding joint shape control at welding steels of wide range of thickness in different attitude positions.

**Property integrated assessment of the welded joints of pipes from zirconium alloy containing 2,5 % of niobium, conducted by friction welding.** Plyshevsky M. I., Tyurin V. N., Semionov A. I. P. 35—36.

Comprehensive analysis of the friction welded joints properties was conducted for the H-2,5 alloy pipes. Optimum welding conditions are determined. Efficiency of the welded joints examination by the method of acoustic emission is justified.

**Study of the copper wastes recovery by electroslog remelting.** Ignatov A. P., Makaranko V. D., Shevtsov V. L. P. 39—44.

An alternative technology of copper wire or tie recycling by electroslog remelting is suggested. Pattern of the electroslog processing is developed on the industrial-scale plant, and configuration of necessary equipment and tool is determined for the copper wastes electroslog remelting department, production rate is 2001 per annum working in one shift.

**Advancement in welding production of Republic of Korea.** Bernadsky V. N., Makovetskaya O. K. P. 53—56.

Information on production dynamics, consumption and contribution of welding materials and equipment production to the economy of the Republic of Korea is covered. Extremely high pace of development of the economy of the Republic of Korea in general and of welding production in particular is noted. A number of basic development tasks for the Korean welding production of current importance are considered.

---

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 14.06.2007. Подписано в печать 18.07.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 10,15. Заказ 15/07.

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".