



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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Главный редактор  
**Б. Е. ПАТОН**  
Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,  
В. Ф. Грабин, В. Н. Замков,  
А. Т. Зельниченко, А. Я. Ищенко,  
С. И. Кучук-Яценко, Ю. Н. Ланкин,  
В. К. Лебедев (зам. гл. ред.),  
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),  
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,  
В. И. Махненко, Л. И. Миходуй,  
Л. П. Мойсов, В. Ф. Мошкин,  
О. К. Назаренко, В. В. Пешков,  
И. К. Походня, И. А. Рябцев,  
Ю. А. Стеренбоген,  
Б. В. Хитровская (отв. секр.),  
В. Ф. Хорунов, В. К. Шелег, К. А. Ющенко

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

И. Арата (Япония), Н. П. Алешин (Россия),  
И. Гривняк (Словакия),  
У. Дилтей (Германия),  
Е. А. Дорошкевич (Беларусь),  
П. Зайфарт (Германия),  
А. С. Зубченко (Россия),  
К. Иноуэ (Япония), К. Мацубучи (США),  
Н. И. Никифоров (Россия),  
Б. Е. Патон (Украина),  
Я. Пилярчик (Польша)

**Адрес редакции:**

03680, Украина, г. Киев-150,  
ул. Боженко, 11  
Институт электросварки  
им. Е. О. Патона НАН Украины  
Тел.: (044) 227 63 02, 269 26 23  
Факс: (044) 268 04 86  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
http://www.nas.gov.ua/pwj

**Редакторы:**

Е. Н. Казарова, В. И. Котляр,  
Т. В. Юштина  
*Электронная верстка:*  
И. С. Баташева, И. Р. Наумова,  
И. В. Петушков, Т. Ю. Снегирева  
Свидетельство о государственной  
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001  
Журнал входит в перечень утвержден-  
ных ВАК Украины изданий для публи-  
кации трудов соискателей ученых сте-  
пеней  
При перепечатке материалов ссылка на  
журнал «Автоматическая сварка» обяза-  
тельна  
За содержание рекламных материалов  
редакция журнала ответственности не  
несет  
Цена договорная

**СОДЕРЖАНИЕ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

**Патон Б.Е., Булацев А.Р., Гавриш С.С., Загребельный А.А., Павлова С.В., Шулым В.Ф.** Сварочные технологии в экстремальных условиях  
Ч. 1. Анализ многофакторного потенциального риска ..... 3  
**Роман В.В.** Повышение эффективности лазерной обработки путем  
использования внеосевых пучков, сфокусированных зеркальными  
системами ..... 8  
**Задерий Б.А., Котенко С.С., Маринченко А.Е., Полищук Е.П., Ющенко К.А.** Формирование кристаллографической текстуры в металле сварных  
соединений молибденовых сплавов ..... 13  
**Белый А.И., Жудра А.П., Дзыкович В.И.** Влияние легирующих элементов  
на структуру композиционного сплава на основе карбидов вольфрама ..... 18  
**Маркашова Л.И., Арсеник В.В., Петушков В.Г., Григоренко Г.М.**  
Особенности микроструктуры соединений никеля при сварке взрывом ..... 21

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ**

**Шаблий О.М., Пулька Ч.В., Письменный А.С.** Оптимизация параметров  
индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с  
учетом экранирования ..... 24

**Проблемы качества в электродном производстве**

**Игнатченко П.В.** Состояние производства сварочных материалов и их  
качество ..... 27  
**Марченко А.Е.** Стандарты ИСО серии 9000:2000 — базис для улучшения  
качества сварочных электродов ..... 30  
**Сулима В.В., Кучерова М.И.** Обеспечение стабильного уровня качества  
сварочных электродов ..... 38  
**Проценко Н.А.** Выбор поставщиков сварочных материалов ..... 42  
**Гнатенко М.Ф.** Комплексный подход к обеспечению высокого качества  
изготовления электродов ..... 46  
**Ворновицкий И.Н.** Показатели качества электродов ..... 48

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

**Кузьменко О.Г., Рябцев И.А.** Свойства металла, наплавленного  
электрошлаковым способом с присадкой стружки инструментальной стали  
5ХНМ ..... 51  
**Черняк Я. П., Бурский Г.В., Каленский В.К.** Сопrotивляемость металла  
ЗТВ стали М76 образованию холодных трещин после наплавки проволо-  
ками ферритного класса ..... 53  
**Разработано в ИЭС.** Резонансный сварочный источник с комбинированной  
внешней характеристикой (РДК-300) ..... 54  
Диссертация на соискание ученой степени ..... 55  
Патенты в области сварочного производства ..... 55  
По зарубежным журналам ..... 57  
Новая книга ..... 60

**ХРОНИКА**

1-я Международная научно-практическая конференция «Защита  
окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве» ..... 61  
Вторая международная конференция «Материалы и покрытия в  
экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые  
технологии производства и утилизации изделий» ..... 63  
2-я Международная специализированная выставка «Россварка-2002» ..... 64  
Международная конференция «Математическое моделирование и  
информационные технологии в сварке и родственных процессах» ..... 66  
Наши поздравления ..... 69

**РЕКЛАМА** ..... 70

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

Каховский завод электросварочного оборудования  
ПИИ Бинцель Украина ГмБХ  
Ново-Краматорский машиностроительный завод  
ОАО «Фирма ССЛМА»

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

## CONTENTS

### EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

**B. E. PATON**

Yu. S. Borisov, N. M. Voropai,  
V. F. Grabin, V. N. Zamkov,  
A. T. Zelnichenko, A. Ya. Ishchenko,  
S. I. Kuchuk-Yatsenko, Yu. N. Lankin,  
V. K. Lebedev (vice-chief ed.),  
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),  
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,  
V. I. Makhnenko, L. I. Mikhoduj,  
L. P. Mojsov,  
V. F. Moshkin, O. K. Nazarenko,  
V. V. Peshkov, I. K. Pokhodnya,  
I. A. Ryabtsev, Yu. A. Sterenbogen,  
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),  
V. F. Khorunov,  
V. K. Sheleg, K. A. Yushchenko

### THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

I. Arata (Japan),  
N. P. Alyoshin (Russia),  
I. Hrivnak (Slovakia),  
U. Diltey (Germany),  
E. A. Doroshkevich (Belorus),  
P. Seyffarth (Germany),  
A. S. Zubchenko (Russia),  
K. Inoue (Japan),  
K. Masubuchi (USA),  
N. I. Nikiforov (Russia),  
B. E. Paton (Ukraine),  
Ya. Pilyarchik (Poland)

### Address:

The E. O. Paton Electric  
Welding Institute  
of the NAS of Ukraine,  
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine  
Tel.: (38044) 227 63 02, 269 26 23  
Fax: (38044) 268 04 86  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
http://www.nas.gov.ua/pwj

### Editors:

E. N. Kazarova, V. I. Kotlyar,  
T. V. Yushchina

### Electron galley:

I. S. Batasheva, I. R. Naumova,  
I. V. Petushkov, T. Yu. Snegireva

### SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Paton B.E., Bulatsev A.R., Gavrish S.S., Zagrebely A.A., Pavlova S.V., Shulym V.F.** Welding technologies under extreme conditions. Part 1. Analysis of multifactor potential risk ..... 3
- Roman V.V.** Increase in efficiency of laser treatment using off-axis beams focused by mirror systems ..... 8
- Zaderiy B.A., Kotenko S.S., Marinchenko A.E., Polishchuk E.P., Yushchenko K.A.** Formation of crystallographic texture in molybdenum alloy welded joints ..... 13
- Belyi A.I., Zhudra A.P., Dzykovich V.I.** Effect of alloying elements on structure of tungsten carbide-base composite alloy ..... 18
- Markashova L.I., Arsenyuk V.V., Petushkov V.G., Grigorenko G.M.** Peculiarities of microstructure of nickel joints in explosion welding ..... 21

### INDUSTRIAL

- Shablyi O.M., Pulka Ch.V., Pismenny A.S.** Optimizing of inductor parameters by width of hardfacing zone with allowance for screening for uniform heating of discs ..... 24

### Problems of quality in electrode manufacture

- Ignatchenko P.V.** State-of-the-art of welding consumables production and their quality ..... 27
- Marchenko A.E.** Standards ISO of series 9000:2000 are the basis for improvement of quality of welding electrodes ..... 30
- Sulima V.V., Kucherova M.I.** Assurance of stable level of quality of welding electrodes ..... 38
- Protsenko N.A.** Selection of suppliers of welding consumables ..... 42
- Gnatenko M.F.** Integrated approach to high quality assurance in manufacture of electrodes ..... 46
- Vornovitsky I.N.** Characteristics of quality of electrodes ..... 48

### BRIEF INFORMATION

- Kuzmenko O.G., Ryabtsev I.A.** Properties of metal deposited by electroslag method using a filler in the form of 5KhNM tool steel chips ..... 51
- Chernyak Ya.P., Bursky G.V., Kalensky V.K.** Resistance of HAZ metal of M76 steel to cold crack formation after surfacing with wires of ferritic class ..... 53
- Development at the Paton Institute.
- Resonance welding source with a combined external characteristic (RDK-300) ..... 54
- Thesis for scientific degree ..... 55
- Patents in welding ..... 57
- Review of foreign journals ..... 57
- New books ..... 60

### NEWS

- 1st International Scientific-Practical Conference Protection of environment, health, safety in welding industry ..... 61
- 2nd International Conference "Materials and coatings under extreme conditions: investigations, application, ecologically-clean technologies of production and utilization of products" ..... 63
- 2nd International Specialized Exhibition "Rossvarka - 2002" ..... 64
- International Conference "Mathematical modelling and information technologies in welding and related processes" ..... 66
- Our congratulations ..... 69

### ADVERTISING ..... 70

Journal «Avtomaticheskaya Svarka» is published in English under the title  
«The Paton Welding Journal».

Concerning publication of articles, subscription and advertising, please,  
contact the editorial board



# СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

## Ч. 1. Анализ многофакторного потенциального риска

Академик **Б. Е. ПАТОН**, **А. Р. БУЛАЦЕВ**, **С. С. ГАВРИШ**, **А. А. ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ**, **С. В. ПАВЛОВА**,  
**В. Ф. ШУЛЫМ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проанализированы факторы, представляющие опасность при проведении технологических работ с помощью электронно-лучевого инструмента в условиях космоса.

*Ключевые слова:* ручной электронно-лучевой инструмент, скафандр, радиационное и световое излучения, высокое напряжение, коронный разряд, расплавленный металл, электромагнитные помехи, космический объект

Данная работа состоит из двух частей. В первой освещены проблемы, связанные с риском при выполнении ручных технологических процессов; во второй части рассмотрены возможности снижения степени риска.

Освоение космического пространства и практическая реализация многих проектов в области космонавтики вряд ли будут возможны без широкого применения сварки непосредственно в космосе. Сооружение орбитальных станций длительной эксплуатации связано с их ремонтом и восстановлением во время полета, при этом с увеличением их массы и габаритов возникает необходимость в разворачивании, сборке и монтаже конструкций в открытом космосе. В связи с этим решение проблем неразъемного соединения и резки металлов, а также нанесения тонкопленочных покрытий приобретает особую важность [1].

Из существующих в настоящее время способов на основании главных критериев оценки как самого сварочного процесса (универсальность, технологичность и простота), так и требований к космическому оборудованию (высокая надежность, безопасность, минимальные масса и объем, малая энергоемкость) электронно-лучевая сварка (ЭЛС) была выбрана как наиболее перспективная. Результаты многочисленных экспериментов, проведенных в наземных барокамерах, летающих лабораториях и непосредственно в космосе, подтвердили правильность выбора электронного луча в качестве источника нагрева, что, вероятно, не исключает применение и других традиционных сварочных технологий [2–7].

Первая электронно-лучевая сварочная установка была изготовлена в ИЭС им. Е. О. Патона в 1969 г. в составе аппаратуры «Вулкан» [8]. Из соображений улучшения техники безопасности и качества сварного шва работы на ней выполняли в автоматическом режиме, что не всегда целесообразно, например, для ремонтно-восстановительных работ. Дальнейшее усовершенствование и универсализация сварочного оборудования, направ-

ленные на преодоление не только технических, но и психологических трудностей, связанных с работами с расплавленным металлом, привели к созданию для космонавта ручного электронно-лучевого инструмента (РЭЛИ), позволяющего осуществлять различные технологические операции.

Электронно-лучевая технология является сравнительно молодой, применяемой как в наземном сварочном производстве, так и в экстремальных, в частности в космических, условиях. Она характеризуется следующими основными преимуществами:

- высокий КПД преобразования электрической энергии в тепловую;

- значительная концентрация энергии в поперечном сечении пучка электронов;

- отсутствие реактивных сил при работе с электронным пучком;

- небольшой объем ванны расплавленного металла и, следовательно, низкая чувствительность к невесомости;

- возможность использования различных технологических операций (сварка, пайка, резка, нанесение покрытий и т. д.).

Однако особенности космоса (вакуум, невесомость, большие перепады окружающих температур и световой обстановки и др.) как среды для выполнения технологических операций с нагретым и расплавленным металлом оказывают влияние на процессы, протекающие при сварке [9], на физико-химические свойства конструкционных материалов, что приводит к изменению их эксплуатационных характеристик [10], а также на человека-оператора во время работы.

«Горячая» ручная или механизированная сварка и в наземных условиях является профессионально-рискованным технологическим процессом, а при работе в экстремальных условиях, в частности в открытом космосе, к традиционным факторам риска добавляются еще и специфические:

- безопасность оператора;

- окружающее низкое давление;

- световое и тепловое излучения;

- ограниченная подвижность оператора в космическом защитном снаряжении.



*Безопасность* затрудняет действия и нарушает координацию движений оператора, что может повлечь за собой брак в работе, случайные включения рабочего инструмента, направление его непосредственно на оператора, космический объект, а также соприкосновения оператора с нагретыми зонами инструмента или обрабатываемого изделия.

*Низкое давление* окружающей среды опасно для оператора в случае механического повреждения его снаряжения и возможной разгерметизации скафандра.

*Световое излучение* Солнца ухудшает условия наблюдения за ходом технологического процесса, влияет на изменение температуры рабочего инструмента и обрабатываемого изделия, доводя его до уровня, опасного для снаряжения при случайном соприкосновении.

*Ограниченная подвижность* оператора из-за жесткости специального снаряжения приводит к быстрой утомляемости, резко сужает рабочую зону и зону обслуживания, скорость и координацию движений, что может стать причиной возникновения нештатных ситуаций.

Осуществление ЭЛС в условиях открытого космоса с помощью РЭЛИ требует детальной отработки технологий, а также конструирования технологической аппаратуры. Особо важное значение имеет обеспечение максимальной безопасности оператора-сварщика и работы оборудования при выполнении сварочных работ в космосе [11, 12].

Несмотря на то что при разработке сварочных космических технологий, проектировании специального оборудования и проведении экспериментальных работ безопасности уделялось особое внимание, в ранее опубликованных научных трудах эти проблемы отражены вскользь. В настоящей работе сделана попытка проанализировать имеющиеся знания, системно обобщить накопленный опыт и предложить способы снижения (исключения) риска при выполнении подобных сварочных операций. Особо следует подчеркнуть, что авторы настоящей статьи при ее подготовке использовали опыт, знания и профессионализм своих коллег — специалистов таких коллективов, как РКК «Энергия им. С. П. Королева», АООТ «Звезда», ЦПК им. Ю. А. Гагарина, ЦУП (Россия), Центра им. Дж. Маршалла НАСА (США), которые совместно с ИЭС им. Е. О. Патона выполнили огромный объем теоретических исследований, экспериментальных работ и уникальных испытаний в условиях непосредственно космических и имитирующих их, и выражают им свою благодарность.

**Факторы риска.** При работе с РЭЛИ могут иметь место факторы, представляющие потенциальную опасность для оператора и космического объекта:

термическое воздействие электронного пучка; рентгеновское и световое излучения, сопутствующие электронно-лучевым процессам;

высокое напряжение электрических цепей;

наличие расплавленного металла на обрабатываемых изделиях и в тигле;

наличие горячих зон на рабочем инструменте и на обрабатываемых изделиях;

брызги и загрязнение поверхности скафандра и элементов космического корабля продуктами, неизбежными при сварочных технологиях;

электромагнитные помехи, влияющие на служебные системы космического объекта;

токсичность материалов деталей технологического оборудования.

*Термическое воздействие электронного пучка.*

Процесс ЭЛС основан на использовании тепла, выделяемого при торможении сфокусированного потока электронов, ускоренных до высоких энергий [13]. Катод сварочной пушки эмитирует пучок электронов, который ускоряется вследствие разности потенциалов между катодом и анодом. Электроны, сталкиваясь с изделием, тормозятся, их кинетическая энергия передается атомам вещества, происходит разогрев и плавление материала. Такое воздействие электронных пучков на вещества способствует их широкому и многоцелевому использованию для термической обработки (сварки, резки, пайки и т. п.) различных материалов.

Термическое воздействие электронного луча зависит от плотности энергии, управляемой системой фокусировки, в зоне сварки и, следовательно, определяется фокусировкой и мощностью луча.

Термические операции с РЭЛИ в условиях космического пространства могут стать причиной возникновения различных небезопасных ситуаций. Так, в случае выхода из-под контроля технологического процесса вследствие сбоя в работе оборудования или рабочего инструмента, физической усталости оператора и различных внешних воздействий на него не исключается возможность попадания пучка электронов РЭЛИ на детали космического объекта или снаряжение оператора. Попадание луча на мягкие части скафандра приводит к его разгерметизации, а на детали объекта — к их частичной или даже полной непригодности.

Жесткость скафандра, имеющего избыточное давление, затрудняет подвижность, равномерность перемещения оператора и повышает утомляемость его руки. Все это может приводить к нарушению процесса сварки и браку в работе.

*Рентгеновское и световое излучения.* При столкновении потока электронов с препятствием (материалом) часть их энергии превращается в рентгеновское излучение, поэтому каждая электронно-лучевая установка фактически представляет собой рентгеновскую трубку.

Рентгеновское излучение состоит из характеристического и тормозного спектров со значительным количественным преобладанием последнего. Тормозное излучение характеризуется минимальной длиной волны  $\lambda_{\min}$  [14]:

$$\lambda_{\min} = \frac{12,4}{U} \text{ (нм)}, \quad (1)$$

где  $U$  — ускоряющее напряжение, кВ.

Как следует из формулы (1), с увеличением ускоряющего напряжения длина волны излучения уменьшается (излучение становится более жестким), а его интенсивность  $i$  возрастает пропорционально квадрату ускоряющего напряжения, т. е.

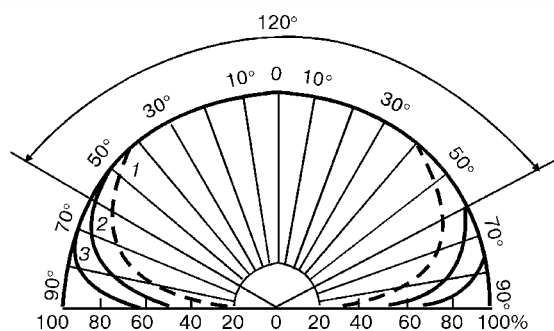


Рис. 1. Пространственное распределение интенсивности тормозного излучения  $i_x/i_0$  при разном напряжении: 1 — 10; 2, 3 — 70 кВ соответственно без и с алюминиевым фильтром толщиной 10 мм

$$i = kU^2,$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Зависимость интенсивности излучения от атомного номера  $Z$  материала изделия (анода) близка квадратичной для малых значений ускоряющего напряжения, а для электронных пучков высоких энергий интенсивность излучения пропорциональна  $Z$ .

Рентгеновское излучение со значениями энергии до 70 кВ распространяется из сварочной ванны навстречу электронному пучку почти равномерно в пределах пространственного конуса с углом около  $120^\circ$  в вершине (рис. 1). Интенсивность излучения падает пропорционально квадрату расстояния от источника излучения до облучаемого объекта.

Приведенная диаграмма распределения интенсивности характерна для точечного источника излучения и плоских поверхностей. В случае проведения работ с РЭЛИ эта диаграмма будет иметь более узкий и вытянутый вид.

Проникающая способность рентгеновского излучения зависит от длины его волны  $\lambda$  и материала защитного слоя. Коэффициент ослабления излучения следующий:

$$\mu = k\lambda^3 Z^4, \quad (2)$$

где  $Z$  — атомный номер материала экрана.

После прохождения слоя вещества толщиной  $x$  интенсивность пучка рентгеновских лучей  $i_x$  с начальной интенсивностью  $i_0$  равна

$$i_x = i_0 e^{-\mu x}.$$

В таблице приведены данные об ослаблении мягкого рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 0,071$  нм при использовании алюминиевого экрана при ускоряющем напряжении 17,5 кВ.

Оценку необходимой толщины  $x$  защитных экранов из стали и свинца можно сделать, используя данные рис. 2 [15].

Что касается светового излучения как одного из физических явлений, сопровождающих ЭЛС, то его понимание является одной из важнейших задач при визуальном контроле сварочного процесса, выполняемого РЭЛИ. Излучение светового диапазона — это тепловое излучение поверхности жидкой ванны с плотностью мощности  $\sigma_T T_{кр}^4$  ( $\sigma_T$  — постоянная Стефана —

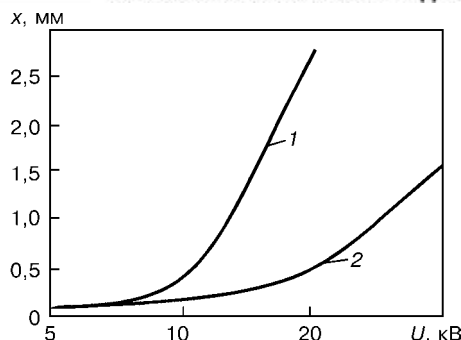


Рис. 2. Минимально необходимая толщина стального (1) и свинцового (2) защитных экранов в зависимости от уровня ускоряющего напряжения

Больцмана;  $T_{кр}$  — температура кратера сварочной ванны) [13].

Размеры зоны сварки при ЭЛС небольшие, но ее яркость, особенно при сварке тугоплавких материалов, например титана с точкой плавления более  $1700^\circ\text{C}$ , достигает болевой границы зрения. Углубленное расположение источника света (кратера) при этом повышает контрастность изображения зоны сварки и примыкающих к ней участков, что вызывает болевые ощущения и быстрое ухудшение зрения. В этом случае снижается возможность различения степени яркости и происходит потеря информации, необходимой оператору-сварщику при прямом визуальном контроле процесса.

**Высокое напряжение.** Электронно-лучевая сварочная аппаратура, используемая в космосе, должна быть максимально безопасной для оператора-сварщика и отличаться минимальными массой, объемом и энергопотреблением. Совокупность электрических устройств, обеспечивающих процесс ЭЛС, можно разделить на такие группы:

- цепи высоковольтного источника питания пушки;
- цепи накала электронной пушки;
- цепи управления электронным пучком.

Некоторые из этих цепей находятся под высоким напряжением, равным или близким напряжению ускорения [16].

Исполнительным инструментом при ЭЛС является электронно-лучевая пушка с высоким по отношению к аноду ускоряющим электрическим потенциалом катодных цепей (в ручном варианте 5... 10 кВ), что представляет собой потенциальную опасность поражения оператора электрическим током.

Немаловажной проблемой безопасности работы как оператора, так и технологического оборудования является предотвращение появления разрушающего или повреждающего коронного разряда

**Коэффициент ослабления  $i_x/i_0$  рентгеновского излучения алюминиевым экраном в зависимости от его толщины**

Параметры излучения	Толщина алюминиевого экрана, мм					
	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
$\lambda = 0,071$ нм* $U = 17,5$ кВ	0,87	0,5	0,25	0,06	0,015	0,004
$\lambda = 0,245$ нм** $U = 5$ кВ	$22 \cdot 10^{-3}$	$125 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$	$1,575 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$

\* Данные работы [14].

\*\* В пересчете на напряжение 5 кВ по формулам (1) и (2).



в любой окружающей среде космического объекта, а также электростатического заряда на элементах конструкции оборудования.

**Расплавленный металл.** Процесс ЭЛС сопровождается совокупностью сложных тепловых и динамических явлений, происходящих при плавлении и кристаллизации вещества в локальной зоне, нагреваемой электронным лучом с высокой плотностью энергии. При этом вещество достигает температуры плавления и часть его переходит из твердого состояния в жидкое. Дальнейший нагрев повышает температуру вещества до точки кипения, при которой происходит его частичный переход из жидкого состояния в парообразное [13].

В условиях микрогравитации поведение жидкого вещества сварочной ванны определяется межмолекулярным взаимодействием сил поверхностного натяжения. Необходимо отметить, что лучевые процессы являются спокойными. Расплавленный металл сварочной ванны ввиду малого объема расплава (до 100 мм<sup>3</sup>), характерного для ЭЛС тонкого металла, и быстрой кристаллизации (1... 3 с) реальной опасности для оператора не представляет.

Для предотвращения попадания паров расплавленного вещества в зону катодного узла при нанесении покрытий способом испарения днище тигля во избежание прожога нагревают расфокусированным потоком электронов, что позволяет обеспечить более равномерный нагрев и существенно увеличить количество расплавленного металла в тигле (до 1000 мм<sup>3</sup>). В этом случае необходимо учитывать воздействие инерционных сил при манипуляциях оператора с инструментом на расплав, так как не исключается возможность «выплывания» расплавленного металла из тигля.

**Горячие изделия.** Под тепловыми процессами при сварке понимают изменение температуры свариваемых деталей за счет тепла, подводимого от источника нагрева, распространение тепла по изделию и отвод его в окружающую среду [17].

Горячие зоны (свыше 150 °С) на деталях возникают вокруг сварного шва. Их температура постепенно понижается за счет излучения и теплопроводности материалов изделий и элементов их закрепления.

Для обеспечения безопасности оператора, работающего в скафандре, существуют определенные температурные ограничения. Так, согласно требованиям американского стандарта NASA-STD-300/vol.1/rev, во время внекорабельной деятельности оператора температура поверхности, к которой может прикоснуться перчатка скафандра, ограничивается диапазоном значений температур 113... 120 °С и временем соприкосновения 0,5 мин.

**Горячий инструмент.** При выполнении различных технологических процессов РЭЛИ нагревается в результате излучения катодного узла и сварочной ванны, а также «оседания» периферийных электронов на аноде пушки или вследствие теплоотдачи тигля с расплавленным металлом при нанесении покрытий.

Например, при проведении исследований на борту космической станции «Салют-6» не были приняты специальные меры, предотвращающие

нагрев рабочего инструмента электронно-лучевой установки «Испаритель-М», поэтому температура наружных частей испарительного блока достигала 300... 350 °С, а температура остальных деталей не превышала 70 °С [18].

**Брызги и загрязнение поверхности скафандра оператора.** Для сварочных операций и особенно процесса нанесения покрытий способом электронно-лучевого испарения характерно значительное парообразование расплавленного вещества в рабочую зону, что приводит к загрязнению снаряжения оператора, рабочего инструмента и объектов космического аппарата и является одним из потенциально опасных факторов для оператора. Кроме того, нельзя не упомянуть и о возможном попадании брызг расплавленного металла на снаряжение, инструмент или элементы интерьера космического корабля при нарушении технологического процесса.

**Электромагнитные помехи.** Высокая степень сложности технологических экспериментов, проводимых в экстремальных космических условиях, и современный уровень развития элементной электронной базы космической аппаратуры предъявляют жесткие требования к электромагнитной совместимости технологического и бортового оборудования, что означает полное исключение влияния одних технических средств на другие. На параметры качества электромагнитной энергии воздействуют любые отклонения параметров напряжения, тока или частоты от номинальных значений, что приводит к нарушению функционирования оборудования.

Электромагнитная несовместимость технических средств оказывает влияние на безопасность их работы. Может произойти отказ систем, обеспечивающих безопасность работ (исполнительных механизмов станции, самозапуск двигателей, самопроизвольный подрыв пиротехнических средств, наводка антенных устройств и т. п.), или сбой научной и служебной аппаратуры из-за недостаточной помехозащищенности, или потеря информации систем связи.

**Токсичность и воспламеняемость материалов технологического оборудования.** При рассмотрении фактора токсичности особое внимание следует уделять выбору материала деталей технологического оборудования, особенно той части, которая размещена в отсеках космического корабля (кабельные сети, тест-системы и т. п.), поскольку в противном случае во время работы оператора не исключается возможность их воспламенения или попадания в окружающую среду токсичных веществ.

Все рассмотренные факторы риска относятся глубоко к конкретной, т. е. к ручной электронно-лучевой технологии. Их негативное влияние, а также проблема снижения отрицательных последствий для деятельности оператора и технологических процессов была всесторонне изучена в рамках различных целевых программ и испытаний с использованием специальных комплексных стендов учеными и специалистами Украины, России и США при подготовке к выполнению космических проектов «УРИ» (универсальный рабочий инстру-



мент, первая модификация РЭЛИ), МЭСК (международный эксперимент по сварке в космосе) и «Флагман» (новая модификация РЭЛИ, аппаратура «Универсал»). Результаты этих исследований представлены во второй части данной работы.

1. Патон Б. Е. Сварка в космосе // Космос: технологии, материаловедение, конструкции / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — С. 17–18.
2. Применение сварки для ремонта космических объектов / Б. Е. Патон, Д. А. Дудко, В. Н. Бернадский и др. // Косм. исслед. на Украине. — 1976. — № 9. — С. 3–5.
3. Сварочные процессы в космосе / Б. Е. Патон, Д. А. Дудко, В. Ф. Лапчинский и др. // Сварка и спецметаллургия. — Киев: Наук. думка, 1984. — С. 121–129.
4. Рассел К. К., Андерсон Р. Г. Технологические испытания инструментов для обработки материалов в космосе // Автомат. сварка. — 1999. — № 10. — С. 23–30.
5. Ноги К., Аоки Я., Фудзи Х. Особенности ЭЛС и дуговой сварки неплавящимся электродом в условиях микрогравитации // Там же. — 1999. — № 10. — С. 39–43.
6. Шульм В. Ф., Сорокин И. В. Космическая технология в Японии // Там же. — 1999. — № 10. — С. 117–119.
7. Fuji H., Aoki Y., Nogi K. Electron beam and has tungsten arc welding under micrograviti // Trans. JWRI. — 2001. — 30, № 1. — P. 105–109.
8. Патон Б. Е., Кубасов В. Н. Эксперимент по сварке металлов в космосе // Автомат. сварка. — 1970. — № 5. — С. 7–12.
9. Пацкевич И. Р., Рябов В. Р., Деев Г. Ф. Поверхностные явления при сварке металлов. — Киев: Наук. думка, 1991. — С. 113–118.
10. Prediction of structural materials performance at long-term servise in space conditions / S. V. Bakushin, D. L. Demidov, Yu. D. Morozov et al. // Proc. from the conf. «Welding in space and the construction of space vehicles by welding» (Sept. 24–26, 1991, Miami). — Miami, 1991. — P. 299–306.
11. Особенности оборудования для технологических работ в космосе / Д. А. Дудко, А. А. Загребельный, В. Е. Патон и др. // Космос: технологии, материаловедение, конструкции / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — С. 95–99.
12. Патон Б. Е., Стесин В. В., Загребельный А. А. Опыт конструирования технологического оборудования для работ на космических объектах // Автомат. сварка. — 1999. — № 10. — С. 59–66.
13. Назаренко О. К., Кайдалов А. А., Ковбасенко С. Н. Электронно-лучевая сварка / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1987. — С. 255.
14. Хароджа Ф. Н. Обиций курс рентгенотехники. — М.; Л.: Госэнергониздат, 1956. — С. 562.
15. ОСП-72/80. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 57 с.
16. Коваль А. Б., Оболонский А. П., Салап В. И. Автоматическое регулирование электронно-лучевой сварки. — Киев: Техніка, 1971. — 116 с.
17. Сварка в СССР. В 2 т. Т. 2. Теоретические основы сварки, прочности и проектирования. Сварочное производство. — М.: Наука, 1981. — 493 с.
18. Развитие техники нанесения тонкопленочных покрытий в натуральных условиях / А. А. Загребельный, Е. С. Лукаш, В. П. Никитский и др. // Труды XXII чтений, посвящ. разраб. науч. наследия и развитию идей К. Э. Циолковского. — М.: ИМЕТ АН СССР, 1988. — С. 134–138.

Factors presenting a potential hazard in conductance of works under extreme conditions using electron-beam tool are analyzed including: X-ray and light radiation, high voltage, molten metal, hot workpiece and tool, spatters, electromagnetic interferences, toxicity of materials.

Поступила в редакцию 11.07.2002

### К сведению читателей!

**Ж. Дюбрессон. Виды неразрушающего контроля и качества сварки.** — Париж: Публикации по сварке и ее применениям, 2002 г. — 496 с.  
Формат 21×29,7 см, в твердом переплете. Цена 150 евро.

По вопросам приобретения обращаться в издательство:  
**PUBLICATIONS du SOUDAGE et de ses APPLICATIONS**  
90, rue des Vanesses — Z. I. PARIS NORD II  
BP 50362-93420 VILLEPINTE  
Tel.: 01 49 90 36 00 — Telecopie: 01 49 90 36 50  
E-mail:psa3@wanadoo.fr





# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНЕОСЕВЫХ ПУЧКОВ, СФОКУСИРОВАННЫХ ЗЕРКАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

В. В. РОМАН, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Предложен способ формирования пространственных характеристик лазерного пучка, основанный на математической модели процесса фокусирования излучения сферическим зеркалом и методике оценки влияния пространственных характеристик лазерного пучка на тепловое состояние облучаемого тела. С его помощью достигается оптимальное пространственное распределение теплового источника на поверхности материала и, как следствие, повышается эффективность лазерной обработки и расширяются ее технологические возможности.

*Ключевые слова:* лазерная обработка, зеркальные системы, внеосевые пучки, мощность пучка, эффективность

Известно, что при каждом виде лазерной обработки пучок имеет свои оптимальные размеры, форму сечения и распределение мощности излучения [1–3]. Принимая во внимание существующую тенденцию использования лазерных центров, которые могут выполнять все операции лазерной обработки на базе одного излучателя [4], возникает необходимость использования универсальной системы для управления пространственными характеристиками пучка. При этом предпочтительнее системы с минимальным количеством оптических элементов [5]. Однако в настоящее время не существует дешевых и удобных в эксплуатации устройств, которые были бы способны в широком диапазоне управлять формой сечения пучка и распределением мощности его излучения [6].

Для фокусирования мощных лазерных пучков широко используют сферические зеркала. На рис. 1 показано фокусирование лазерного пучка

1 диаметром  $D$ , мощностью  $W$  и расходимостью  $Q$ , падающего на сферическое зеркало 2 с радиусом кривизны  $R$  под углом  $\alpha$ . При фокусировании сферическим зеркалом внеосевого лазерного пучка возникает два фокуса — меридиональный  $F_1$  и сагиттальный  $F_2$ , в которых излучение формируется в линиях  $MN$  и  $HG$  (рис. 1 и 2), лежащих в двух взаимно перпендикулярных плоскостях соответственно сагиттальной  $F_2EG$  и меридиональной  $F_1AB$ . Это приводит к искажениям формы сечения пучка и распределения интенсивности по нему. При лазерной обработке эти искажения стремятся уменьшить. В настоящей работе предлагается, наоборот, их увеличить для формирования пространственных характеристик лазерного пучка с целью повышения его эффективности и расширения технологических возможностей обработки.

**Определение пространственных характеристик лазерного излучения, сфокусированного сферическим зеркалом, и оценка их влияния на тепловое состояние облучаемого материала.**

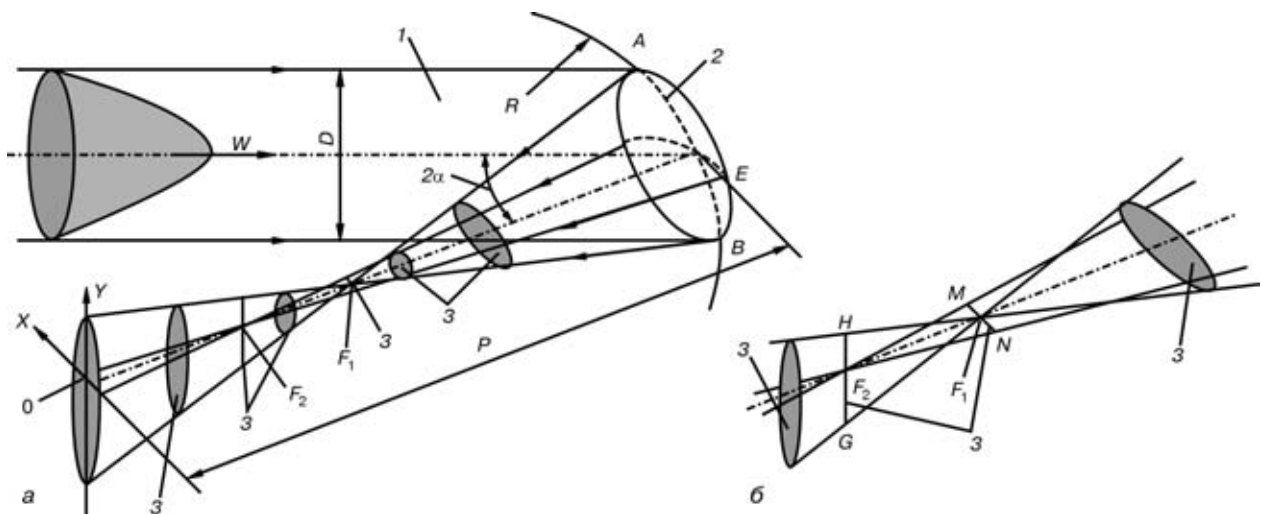


Рис. 1. Схема фокусирования луча сферическим зеркалом: а — общий вид; б — положение меридионального и сагиттального фокусов; 1 — исходный пучок; 2 — сферическое зеркало; 3 — форма сечения сфокусированного луча (остальные обозначения см. в тексте)



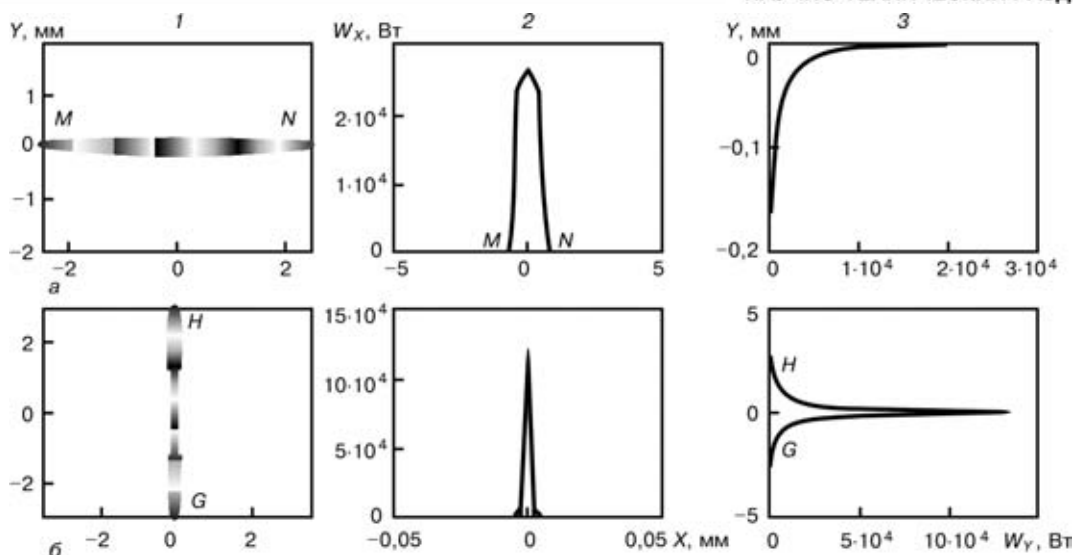


Рис. 2. Пространственные структуры лазерного излучения, сфокусированного сферическим зеркалом в меридиональном (а) и сагиттальном (б) фокусах при  $D = 42$  мм;  $R = 1600$  мм;  $W = 1100$  Вт;  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\theta = 0$  мрад: а –  $P = 751,5$ ; б –  $851,0$  мм; 1 – сечение пучка в фокусах; 2, 3 – распределение мощности соответственно вдоль осей  $Y$  и  $X$

Для создания математической модели процесса фокусирования лазерного излучения сферическим зеркалом определены факторы, характеризующие пространственную структуру сформированного пучка (см. рис. 1). При этом отобраны именно те, которые необходимо учитывать при создании математической модели. К ним относятся пространственные характеристики исходного пучка ( $\theta$ ,  $D$ ,  $W$ ), радиус кривизны  $R$  зеркала, угол падения  $\alpha$  на него пучка излучения и расстояние  $P$  от сферического зеркала до детали.

Основываясь на принципах геометрической оптики и схеме «лучевого пакета», для определения искажений формы сечения и распределения мощности сфокусированного пучка создана методика [7], в соответствии с которой расчет пространственной структуры выполняется в следующей последовательности.

Исходный лазерный пучок представляется в виде пакета лучей; определяется направление распространения каждого из лучей пакета после их отражения от сферического зеркала; задается площадь фокусирования; находятся точки пересечения лучей с плоскостью фокусирования (их совокупность определяет форму сечения сфокусированного пучка); рассчитывается мощность, сконцентрированная в каждом элементе пакета; определяется, в какие элементы плоскости фокусирования попадает каждый из лучей пакета и рассчитывается мощность в любой ее точке.

Результаты экспериментов, проведенных с гауссовым пучком при  $W = 3$  Вт,  $\theta = 0,75$  мрад,  $\alpha = 20^\circ$  (рис. 3, 4), соответствуют расчетной модели с точностью 15...20 %. Как видно из рис. 3,

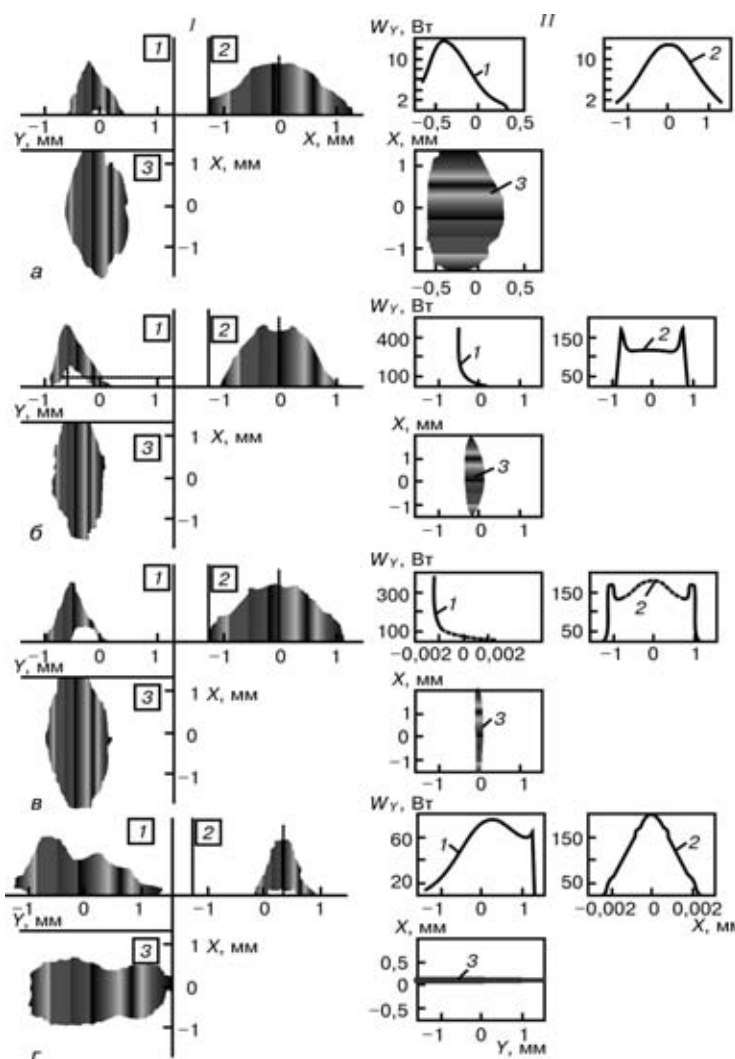


Рис. 3. Пространственные структуры лазерного излучения с гауссовым распределением мощности, сфокусированного сферическим зеркалом, которые получены с помощью эксперимента (I) и расчетов (II) при  $D = 42$  мм;  $R = 1600$  мм;  $W = 1100$  Вт;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\theta = 0,75$  мрад: а –  $P = 743$ ; б –  $750$ ; в –  $754$ ; г –  $850$  мм; 1 – сечение пучка на поверхности обработки; 2, 3 – распределение мощности соответственно вдоль осей  $Y$  и  $X$

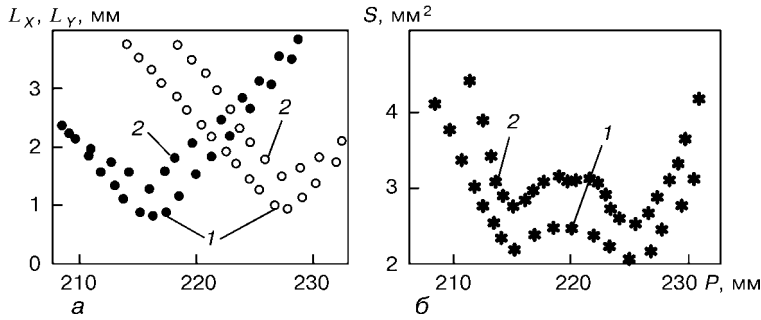


Рис. 4. Зависимость размеров сечения пучка  $L_x, L_y$  (а) и площади  $S$  (б) от расстояния  $P$  между сферическим зеркалом и плоскостью фокусирования, полученная с помощью расчетов (1) и эксперимента (2) при  $D = 15$  мм;  $R = 450$  мм;  $W = 3$  Вт;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\theta = 0,75$  мрад: ●, ○ — размеры пучка соответственно вдоль оси  $Y, X$ ; \* — площадь сечения пучка

4, размеры сечения луча, полученные с помощью математической модели, несколько меньше экспериментальных. Это можно объяснить тем, что лазерное излучение при расчетах принималось ограниченным эффективным диаметром гауссового пучка.

С помощью полученной модели проведено исследование процесса фокусирования лазерного излучения сферическим зеркалом. Это позволило определить закономерности искажений пространственной структуры излучения и показало возможности их изменения в широком диапазоне (см. рис. 2, 3).

Для оптимального использования лазерного пучка с различными пространственными структурами целесообразно определить их влияние на тепловое состояние облучаемого материала. С этой целью, основываясь на методе конечных разностей, разработана методика [8], применимая для тела, форму которого можно описать математическим путем. Эта методика позволяет рассчитать температурные поля, возникающие вследствие воздействия пучка с любыми пространственно-временными характеристиками при условии температурной зависимости свойств материала облученного тела и проникновения излучения в его глубину.

Описанные выше методики доказали возможность управления в широком диапазоне тепловым

состоянием детали благодаря использованию аберраций сферических зеркал и показали, что изменение направления движения луча по поверхности детали позволяет плавно изменять скорость охлаждения тела на его поверхности от 500 до  $3 \cdot 10^4$  К/с.

**Фокусирующая система для формирования пространственных характеристик излучения.**

Для реализации приведенных рекомендаций разработана фокусирующая система на базе сферического зеркала [9], а также методика подбора ее оптических параметров и размеров сечения первичного пучка в зависимости от характеристик излучения,

которое необходимо получить на поверхности детали. В этой системе сферическое зеркало выполняет одновременно две функции: традиционную — фокусирует излучение в пятно с заданной плотностью мощности; нетрадиционную — формирует пространственную структуру пучка (рис. 5). Система работает следующим образом. Лазерный пучок 1, проходя через устройство для изменения размеров его сечения 2 (например, телескопическая система, диафрагма), попадает на плоское зеркало 3, которое может вращаться вокруг своей оси, параллельной оси  $OX$ , и двигаться вдоль направления оси  $OZ$ . Отразившись от плоского зеркала, пучок попадает на сферическое зеркало 4, которое вращается вокруг касательной к центру отражающей поверхности оси, параллельной  $OX$ . Движение зеркал дает возможность изменять угол падения луча  $\alpha$  на сферическое зеркало. Зеркало 4 направляет лазерный пучок на обрабатываемую поверхность 5. Устройство размещено на подвижной платформе, которая может перемещаться вдоль оси  $OZ$ , что дает возможность изменять расстояние  $P$  от сферического зеркала до плоскости фокусирования 5. Изменение радиуса кривизны  $R$  зеркала 4 достигалось путем его замены.

Эффективность разработанной оптической системы проверена при лазерном упрочнении, легировании и наплавке. При этом для сравнения использовались лучи с равномерным распределением ее максимума относительно центра (деталь расположена возле меридионального фокуса сферического зеркала (см. рис. 3, б)).

Применение пучка с максимумом на переднем фронте и пологим задним фронтом (при плотности мощности излучения  $W_p = 1,9 \cdot 10^4$  Вт/см<sup>2</sup>, скорости перемещения пучка  $v = 33$  мм/с;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $R = 1600$  мм;  $D = 41$  мм;  $P = 745$  мм;  $\theta = 5$  мрад) после обработки позволило получить более однородный слой и избежать образования в нем трещин при упрочнении матриц и пуансонов штампов, выполненных из стали У10 (рис. 6, а, б), а также в случае легирования лопатки газовой турбины (из стали ЖС6К) порошком ХТН (12Х18Н10Т, TiB, CrB) параметры пучка при этом составляли  $W_p = 2,3 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>;  $v = 20$  мм/с;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $R = 1600$  мм;  $D = 41$  мм;  $P = 770$  мм;  $\theta = 5$  мрад.

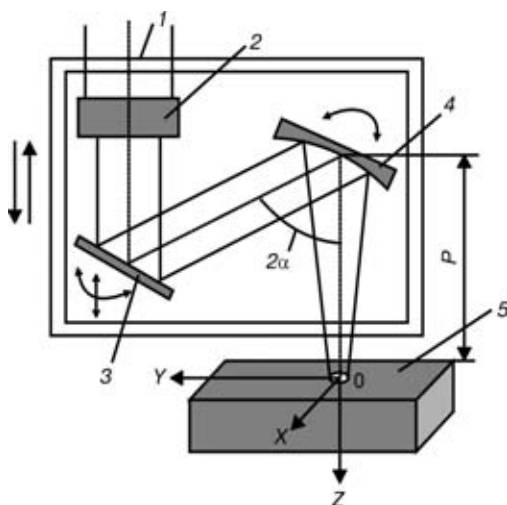


Рис. 5. Схема устройства для фокусирования лазерного излучения в пятно с заданными характеристиками (обозначения см. в тексте)

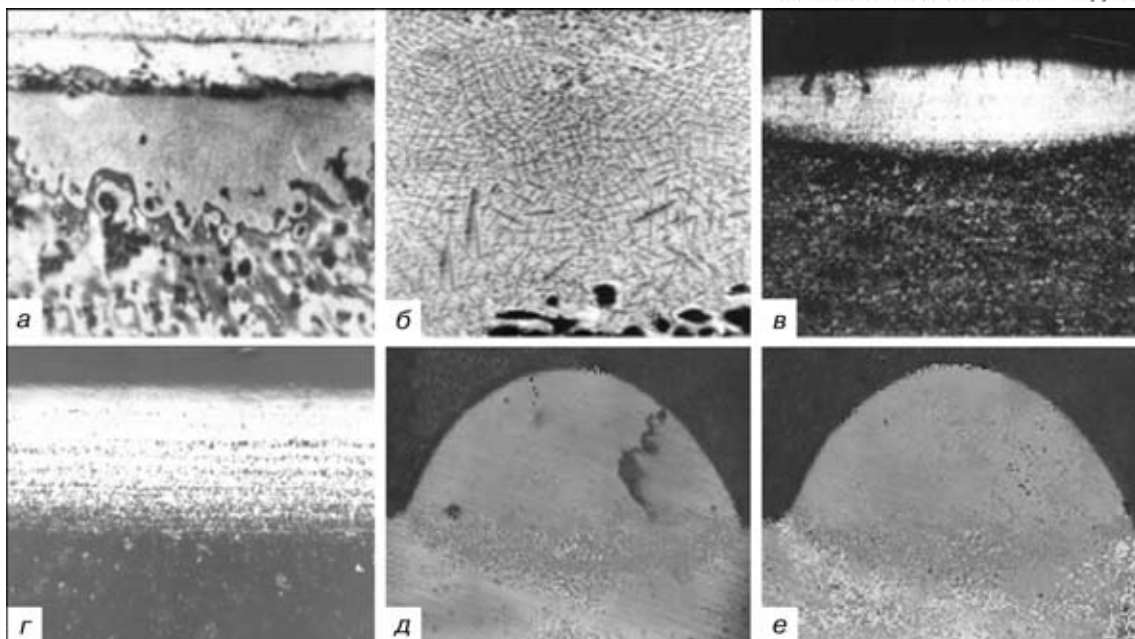


Рис. 6. Микроструктура упрочненных слоев в стали У10 (а, б) (X160), чугуна ВЧ50 (в, г) (X 160) и макроструктура наплавленных валков на сталь 45 (д, е) (X32): а, в, д — пучок с равномерным распределением мощности; б, г, е — профилированный пучок

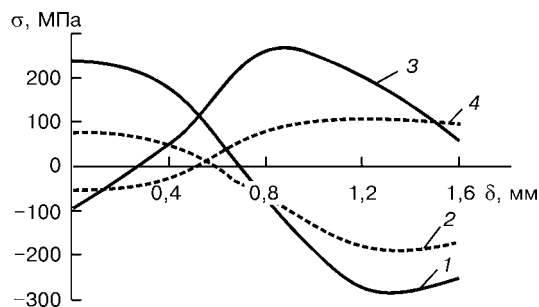


Рис. 7. Остаточные напряжения в валках, полученных при наплавке порошками ПГ-СР4 (1, 2) и ХТН (3, 4): 1, 3 — непрофилированные пучки; 2, 4 — профилированные

В случае поверхностного упрочнения зубчатых колес масляного насоса, изготовленных из чугуна ВЧ50 (при  $W_p = 6 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$ ;  $v = 8,5 \text{ мм/с}$ ;  $\alpha = 25^\circ$ ;  $R = 1600 \text{ мм}$ ;  $D = 41 \text{ мм}$ ;  $P = 722 \text{ мм}$ ;  $\theta = 5 \text{ мрад}$ ), использование аналогичной схемы обработки позволило получить однородный упрочненный слой на большей глубине (рис. 6, в, г). В переходной области наблюдалось не столь резкое изменение твердости по сравнению с обработкой пучком с равномерным распределением мощности.

Использование пучка с неравномерным распределением мощности (при  $\alpha = 20^\circ$ ;  $R = 1600 \text{ мм}$ ;  $D = 42 \text{ мм}$ ;  $P = 745 \text{ мм}$ ;  $\theta = 5 \text{ мрад}$ ) позволяет также избежать образования трещин, в 1,4 раза уменьшить сжимающие и в 2,2 раза растягивающие напряжения в наплавленных на стальную основу (сталь 45) валках самофлюсующихся сплавов (ХТН и ПГ-СР4) (рис. 6, д, е и 7). Напряжения измеряли в образцах размером 80X754 мм методом послойного стравливания [6].

Исходя из изложенного выше можно сделать ряд заключений. Оптимальные пространственные характеристики пучка для лазерного упрочнения могут быть получены при большом угле падения излучения на сферическое зеркало ( $\alpha > 20^\circ$ ) и размещении поверхности детали возле меридио-

нального фокуса (см. рис. 3, б). Это дает возможность проводить обработку широкой полосы и получать равномерный упрочненный слой. Направление движения пучка следует выбирать таким образом, чтобы на материал действовала сначала его часть, имеющая минимальную интенсивность, а потом — максимальную, что позволяет увеличивать поглощательную способность поверхности за счет нагрева и окисления, а следовательно, более эффективно использовать энергию излучения.

При обработке материалов, первичная структура которых содержит углерод в компактной форме (например, в виде сфероидального графита), использование аналогичного распределения мощности также является целесообразным. Однако при противоположной схеме обработки необходимо, чтобы сначала на материал действовала часть сечения пучка с максимальной мощностью, а потом — с минимальной. За счет этого снижается скорость охлаждения детали и увеличивается время выдержки материала при фиксированной температуре, что приводит к более полному протеканию диффузионных процессов (более полному распределению углерода), и, как следствие, способствует образованию однородного упрочненного слоя на большей глубине и менее резкому изменению твердости в переходной области. При наплавке существование значительного градиента температур по глубине в зоне термического воздействия пучка может вызвать образование трещин в наплавленных валках и материале основы. Для уменьшения вероятности их появления целесообразно использовать схему обработки и пространственные характеристики пучка, аналогичные случаю, указанному выше, но при большей плотности мощности. Вследствие уменьшения скорости охлаждения кристаллизация верхних зон происходит тогда, когда нижние слои еще находятся в пластическом состоянии. Благодаря этому возникает возможность протекания релаксационных процессов.



Разделение хрупких материалов методом лазерного термораскалывания целесообразно проводить при размещении детали в сагиттальном фокусе (при  $\alpha = 10^\circ$ ;  $R = 1600$  мм;  $D = 41$  мм;  $P = 812$  мм;  $\theta = 5$  мрад), где сечение излучения имеет вытянутую форму с максимумом мощности в центре. В этом случае при движении луча вдоль оси  $OY$  в конфигурации термонапряжений преобладает составляющая, перпендикулярная направлению раскола.

При сварке встык пластин из разнородных материалов для того, чтобы максимум температур находился в зоне контакта тел, необходимо смещать максимум мощности лазерного пучка на более теплопроводный материал [3], т. е. использовать луч, который формируется сферическим зеркалом возле меридионального (см. рис. 2, а) или сагиттального (см. рис. 3, з) фокусов (при  $\alpha = 25^\circ$ ;  $R = 1600$  мм;  $D = 41$  мм;  $P = 726$  или  $P = 875$  мм;  $\theta = 5$  мрад). Направление движения пучка должно быть параллельным оси  $OX$ .

Аналогичные пространственные характеристики излучения на поверхности материала целесообразно использовать при упрочнении деталей с ограниченными условиями теплоотвода (клина), что позволяет создать в детали почти равномерное распределение температуры.

1. *Снижение трещинообразования при оплавлении покрытий из самодиффузирующихся сплавов лазерным лучом* // В. Н. Чачин, М. А. Кардополова, Н. В. Спиридонов и др. // Физика и химия обраб. материалов. — 1991. — № 1. — С. 125–131.
2. *Звелмо О. Принципы лазеров.* — М.: Мир, 1990. — 558 с.
3. *Рыкалин Н. Н., Углов А. А. Температурное поле разнородных материалов при сварке встык поверхностным источником* // Физика и химия обраб. материалов. — 1969. — № 5. — С. 13–23.
4. *Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н. Лазерная техника и технология: В 7 т. — М.: Высш. шк., 1988. — Т. 5. Лазерная сварка металлов.* — 207 с.
5. *Fast and compact adaptive mirror* / M. Huonker, G. Waibel, A. Giesen, H. Hugel // Lasers in material processing. SPIE. — 1997. — Vol. 3097. — P. 310–319.
6. *Коваленко В. С., Головки Л. Ф., Черненко В. С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера.* — Киев: Техника, 1990. — 192 с.
7. *Головки Л. Ф., Роман В. В., Кансо Зияд. Нетрадиційне використання сферичних дзеркал при лазерній обробці* // Наук. вісті Нац. техн. ун-ту України «КП». — 1999. — № 2. — С. 85–90.
8. *Головки Л. Ф., Роман В. В., Дувейко Джавад. Вплив просторово-часового розподілу лазерного променя на тепловий стан тіла, що опромінюється* // Там же. — 2002. — № 1. — С. 80–86.
9. *Пат. 42237А Україна, МПК В 23 К 26/06. Пристрій для фокусування лазерного випромінювання у пляму з заданими характеристиками* / Л. Ф. Головки, В. В. Роман (Україна) НТУУ. — Опубл. 15.10.2001; Бюл. «Промислова власність 2001», № 3.

Method of formation of space characteristics of a laser beam, based on a mathematical model of process of focusing radiation by a spherical mirror and procedure of evaluating the effect of space characteristics of a laser beam on heat state of the body radiated, has been suggested. Using this method the optimum space distribution of heat source over the material surface is attained and, as a consequence, the efficiency of a laser treatment is increased and its technological capabilities are widened.

Поступила в редакцию 05.03.2002

**Приглашаем принять участие во Всероссийской с международным участием конференции**

**«Сварка на рубеже веков»,  
посвященной 100-летию со дня рождения Г. А. Николаева  
20–21 января 2003 г., Москва**

**Организаторы конференции:**

*Министерство образования РФ, Министерство промышленности, науки технологий РФ,  
Российская академия наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана, ИЭС им. Е. О. Патона*

**Тематика конференции:**

- сварные конструкции
- оборудование и технология сварки
- диагностика и контроль качества сварных изделий
- подготовка и аттестация персонала

**Оргкомитет конференции:**

*президент — Б. Е. Патон, академик, президент НАН Украины;  
председатель — И. Б. Федоров, ректор МГТУ им. Н. Э. Баумана;  
ответственный секретарь — А. В. Коновалов*

*Адрес: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, МГТУ им. Н. Э. Баумана.  
Тел./факс: (095) 261 4257, тел.: (095) 263 6802, (095) 263 6742  
E-mail: avk@bmstu.ru*



# ФОРМИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ В МЕТАЛЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОЛИБДЕНОВЫХ СПЛАВОВ

**Б. А. ЗАДЕРИЙ**, канд. техн. наук, **С. С. КОТЕНКО**, инж.,  
**А. Е. МАРИНЧЕНКО**, **Е. П. ПОЛИЩУК**, кандидаты техн. наук,  
 чл.-кор. НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние высокотемпературных отжигов и нагрева сварочной дугой на процессы формирования кристаллографической текстуры в зоне термического влияния листовых молибденовых сплавов ЦМ-10, ЦМ-12 и МИ-5. Показано, что в низколегированном молибденовом сплаве ЦМ-10 исходная текстура деформации типа (001)[110], (112)[110] и (111)[211] практически сохраняется в металле зоны термического влияния и шва. В легированных молибденовых сплавах ЦМ-12 и МИ-5 исходная текстура деформации типа (001)[110], (001)[100] и (111)[211] в зоне термического влияния постепенно трансформируется в кристаллографическую текстуру типа (111)[112] и [110], и этот тип текстуры сохраняется в металле шва.

*Ключевые слова:* кристаллографическая текстура, полюсные фигуры, сварные соединения, молибденовые сплавы, температура, отжиг

Температура хладноломкости сварных соединений молибденовых сплавов может изменяться в довольно широких пределах: от 200 (для молибденового сплава ЦМ-6) до более 600 К (для сплава ТСМ-3). Если учесть, что для получения сварных соединений были отобраны листы молибденовых сплавов со строго определенным содержанием легирующих элементов и примесей внедрения, а сам процесс сварки проводили в условиях, исключая возможность насыщения металла шва примесями из газовой атмосферы, то становится непонятным существование интервала температур хладноломкости сварных соединений для материала одного химического состава.

В этой связи естественно предположить, что низкотемпературная пластичность сварных соединений, выполненных на тонколистовых молибденовых сплавах без присадочного материала, в известной степени определяется структурным состоянием исходного материала. Под структурным состоянием будем понимать не только чисто структурные факторы (размер зерна или ячейки), но и кристаллографическую и механическую текстуры, сформированные в листе в процессе его производства, а также при получении сварного соединения.

У поликристаллических материалов с беспорядочно ориентированными кристаллитами удлинение меньше, а предел текучести выше среднего предела текучести отдельных взятых кристаллитов [1]. Причиной этого является действие различных систем скольжения в отдельных поразному ориентированных кристаллитах. При дефор-

мации без разрушения на границах зерен не всегда могут оказаться действующими самые благоприятные системы скольжения. В результате для возбуждения процесса скольжения необходимы более высокие напряжения. В то же время при одинаковой или близкой ориентировке соседних кристаллитов к направлению действия усилий в них возникают равные напряжения. Поэтому поликристаллические материалы с благоприятной кристаллографической ориентировкой, как правило, будут иметь более высокую пластичность, чем материалы со статическим распределением ориентировок зерен.

При сварке тонколистовых молибденовых сплавов или наплавке небольшими объемами расплавленного материала на узкую поверхность должна реализовываться двумерная схема кристаллизации

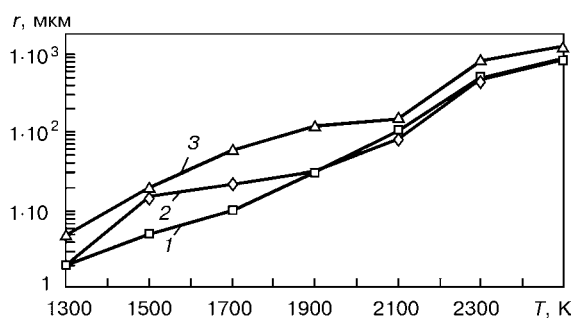


Рис. 1. Изменение размера зерна  $r$  молибденовых сплавов в металле ЗТВ в процессе сварки: 1 — сплав МИ-5; 2 — сплав ЦМ-12; 3 — сплав ЦМ-10

Таблица 1. Химический состав молибденовых сплавов

Сплав	Массовая доля элементов, %								
	Re	Zr	Hf	Al	B	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	C	H <sub>2</sub>
ЦМ-12	—	0,12	0,15	—	0,002	0,002	0,0006	0,003	0,0004
МИ-5	4,5	—	—	—	0,002	0,002	0,0004	0,003	0,0004
ЦМ-10	—	—	—	0,007	0,002	0,002	0,0050	0,003	0,0004

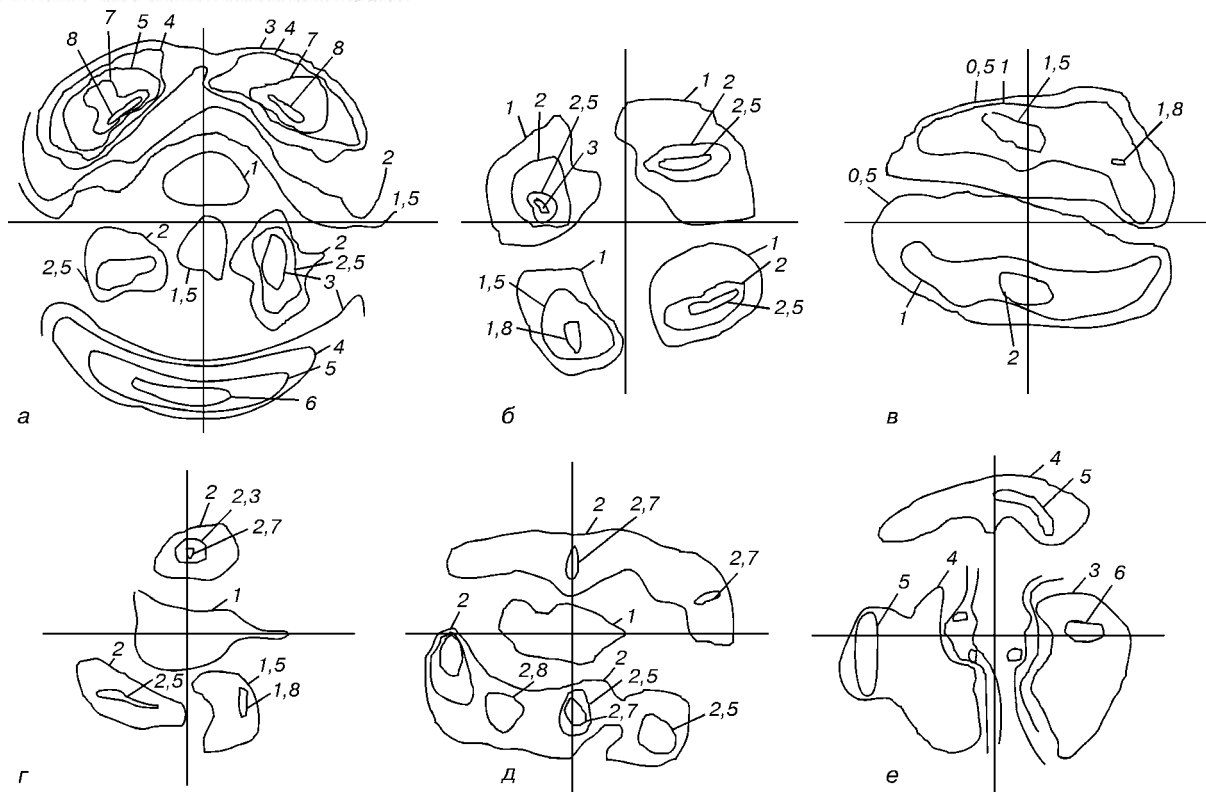


Рис. 2. Полюсные фигуры плоскостей {110} различных сечений ЗТВ сварного соединения сплава МИ-5 с максимальной температурой: а – 1300; б – 1500; в – 1700; г – 1900; д – 2100; е – 2300 К; здесь и далее цифры – интенсивность полюсной плотности

сварочной ванны. В этом случае зародышами кристаллизации являются оплавленные зерна исходного материала. При этом кристаллиты металла сварного шва могут наследовать в той или иной степени кристаллографическую ориентировку тех кристаллов, с поверхности которых начинался их рост. Вот почему наличие различных ориентировок зерен исходного материала будет способствовать формированию различного типа кристаллографических текстур в металле шва и, как следствие, сопровождаться изменением уровня физико-механических характеристик.

Кристаллографическая текстура сварных соединений низколегированных сплавов молибдена

МЛТ, ЦМ-6, МЧВП была рассмотрена в работе [2]. Установлено, что для первых двух сплавов основной компонентой текстуры исходного деформированного материала является (001) [110], а для сплава МЧВП – {111} <110> <112>. При переходе от основного металла к металлу ЗТВ текстура типа (001) [110] трансформируется на близкую к (001) [130]. В сварном шве сохраняется текстура оплавленных зерен, от которых идет кристаллизация металла шва. В сплаве МЧВП основные компоненты текстуры {111} <110> <112> сохраняются при переходе от основного металла через металл ЗТВ к металлу шва.

В настоящей работе рассмотрены условия формирования кристаллографической текстуры в легированных сплавах молибдена ЦМ-12 и МИ-5 и наиболее чистом молибденовом сплаве ЦМ-10. Химический состав сплавов приведен в табл. 1.

Непосредственно перед сваркой образцы молибденовых сплавов прогревали дугой до температуры выше температуры рекристаллизации.

Рентгенографический текстурный анализ проводили для тех плоскостей сварного соединения, размер зерен которых отвечал размеру зерен, получаемых на исследуемых сплавах после их отжига при температурах от 1300 до 2300 К (рис. 1). В металле ЗТВ при сварке предварительно отожженного, деформированного прокаткой молибденового сплава ЦМ-10 или предварительно подогретых листов сплавов МИ-5 и ЦМ-12 обнаружено пос-

Таблица 2. Основные компоненты текстур сплавов МИ-5 и ЦМ-12

$T_{отж}, K$	Основной металл	Соответствующая плоскость ЗТВ
Сплав МИ-5		
1300	(011)[100], (111)[211], (001)[110]	(113)[110], (111)[211]
1500	(111)[110], (001)[110], (112)[233]	(001)[110], (111)[110]
1700	(001)[100], (112)[211], (112)[111]	(111)[112]
1900	(111)[211], (111)[110]	(111)[112], (111)[110]
2100	(001)[110], (111)[110], (112)[111]	(111)[112], (113)[110], (001)[110]
2300	(111)[110], (112)[233], (001)[110]	(111)[112], (111)[112], (112)[233]
Сплав ЦМ-12		
1300	(011)[100], (111)[211], (001)[520]	(001)[110], (112)[110]
1500	(001)[110], (111)[110]	(001)[110]
1700	(001)[110], (111)[110]	(001)[110], (112)[110]
1900	(111)[112], (112)[110]	(111)[110]
2100	(111)[112], (112)[233]	(111)[112], (001)[110]
2300	(111)[110], (111)[211], (001)[100]	(111)[112], (111)[110]

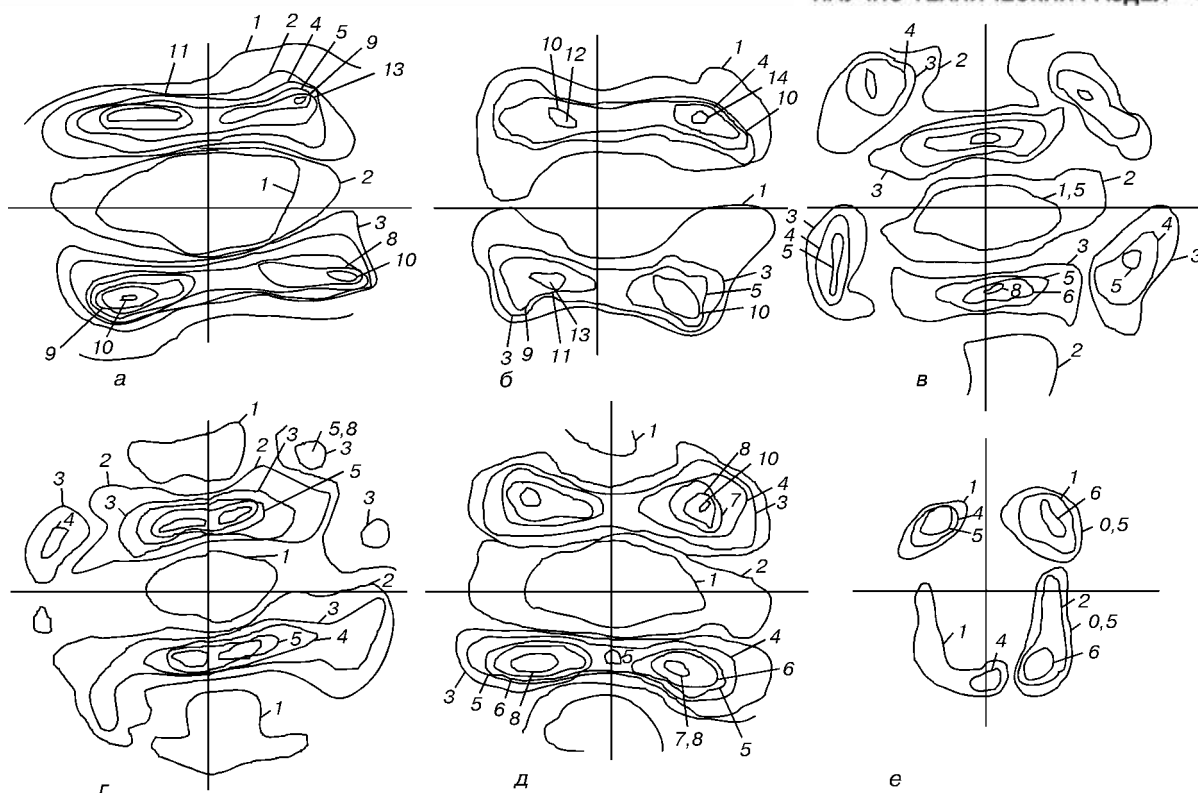


Рис. 3. Полусные фигуры плоскостей {110} различных сечений ЗТВ сварного соединения сплава ЦМ-12 с максимальной температурой: а – 1300; б – 1500; в – 1700; г – 1900; д – 2100; е – 2300 К

тепленное изменение размера структурного элемента от 2...5 мкм в исходном материале до 200... 1100 мкм у линии сплавления.

Полусные фигуры плоскостей {110} различных сечений сварного соединения сплава МИ-5 представлены на рис. 2. В табл. 2 приведены основные компоненты текстур для сплавов, отожженных при

разных температурах, и для металла ЗТВ сварного соединения в сечениях с соответствующим размером зерна.

Как следует из представленных данных, основная компонента текстур молибдена, легированного рением (МИ-5), не претерпевает существенных изменений как в процессе часовых отжигов

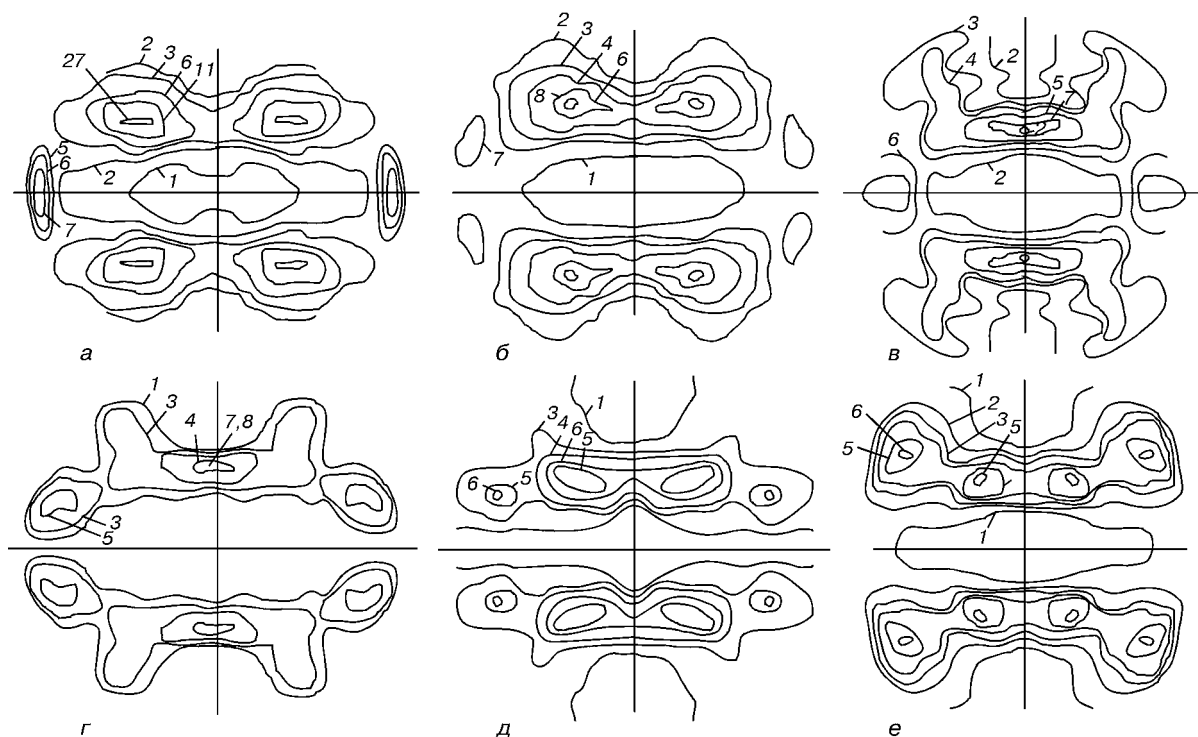


Рис. 4. Полусные фигуры плоскостей {110} молибденового сплава ЦМ-10 после различных температур отжига: а – 1100; б – 1200; в – 1300; г – 1400; д – 1500; е – 1600 К

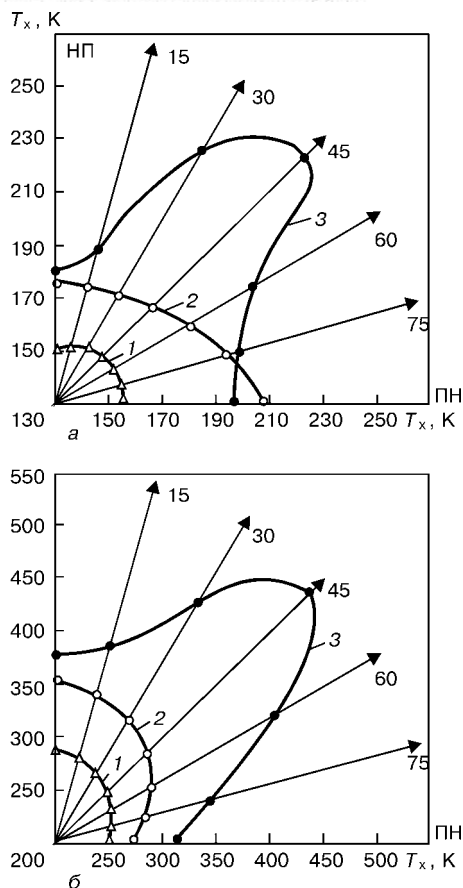


Рис. 5. Зависимость температуры хладноломкости  $T_x$  молибденовых сплавов от угла вырезки образцов и направления сварки:  $a$  — основной металл;  $b$  — сварное соединение; 1 — МИ-5; 2 — ЦМ-10; 3 — ЦМ-12; НП — направление прокатки; ПН — поперечное направление

в температурном интервале 1300...2300 К, так и в различных участках ЗТВ.

На рис. 3 показаны полюсные фигуры плоскостей  $\{110\}$  различных сечений сварного соединения сплава ЦМ-12.

Полюсные фигуры молибденового сплава ЦМ-10 после отжига при различных температурах показаны на рис. 4. Как следует из рисунка, текстура рассматриваемого сплава в исходном состоянии типична для большинства сплавов с ОЦК-решеткой и хорошо совпадает с данными работ [3, 4]. Действительно, текстура исходного состояния характеризуется следующими компонентами (рис. 4,  $a$ ): очень сильной компонентой  $(001)[110]$  и менее сильными компонентами  $(112)[\bar{1}10]$  и  $(111)[uvw]$ . После отжига при температуре полной рекристаллизации обработки, при которой ячеистая структура заменяется зеренной с размером зерна 40...100 мкм, вид полюсной фигуры в основном не изменяется, происходит только значительное уменьшение максимумов полюсной плотности и увеличивается рассеяние, т. е. текстура отожженного при температуре 1400 К листа характеризуется набором следующих компонент:  $(001)[110] + (112)[\bar{1}10] + (111)[uvw]$ .

Дальнейшее повышение температуры отжига сопровождается изменением вида полюсных фигур — происходит раздвоение максимумов, изменяется соотношение ориентировок. Конечная текстура ха-

рактеризуется очень сильными компонентами:  $(001)[110]$ ;  $(112)[\bar{1}10]$ ;  $(111)[\bar{1}10]$ ;  $(111)[\bar{2}11]$  и  $(112)[\bar{2}33]$ . При этом обнаружено увеличение интенсивности текстурных экстремумов, что обусловлено, скорее всего, снижением количества несовершенств кристаллографической решетки. Следует также отметить, что при высокотемпературных отжигах ориентировка  $(111)[\bar{1}10]$  развивается значительно сильнее, чем  $(111)[\bar{1}12]$ .

Из приведенных на рис. 2, 3 и в табл. 2 данных следует, что и отжиг при разных температурах, и соответствующие этим температурам размеры зерна на плоскости в ЗТВ при сварке молибденового сплава сопровождаются аналогичным характером изменения кристаллографической текстуры.

Если в исходном состоянии основными компонентами текстуры являются  $(001)[112]$  и  $(001)[110]$ , то после отжига при 1900 К, приводящего к полной рекристаллизации, эта текстура превращается в текстуру типа  $(111)[110]$ . При дальнейшем повышении температуры отжига или переходе в ЗТВ с более высокой температурой нагрева данный тип кристаллографической текстуры сохраняется.

Исследование текстуры столбчатых кристаллитов в литом металле шва, выполненное на различных материалах [5, 6], показало, что столбчатые кристаллиты формируются нормально к фронту изотерм охлаждения расплавленного металла сварочной ванны и их рост совпадает преимущественно с направлением  $[100]$ . В молибдене поверхностная энергия плоскости  $(001)$  минимальна и это, в частности, приводит к тому, что хрупкий скол кристаллов происходит по плоскостям  $(001)$ . Поэтому в случае кристаллизации сварочной ванны в условиях ограниченного объема расплавленного металла и реализации двумерного фронта кристаллизации на подложке оплавленных зерен исходного молибденового сплава следует ожидать преимущественного роста столбчатых кристаллов по направлению  $[100]$ . Это и зафиксировано для относительно чистого по примесям внедрения и низколегированного молибдена (сплав ЦМ-10).

Однако в молибденовых сплавах, легированных рением (сплав МИ-5) или цирконием и гафнием (ЦМ-12), где в металле ЗТВ формируется структура с плоскостью  $(111)$ , вследствие кристаллизации на подложке оплавленных зерен по линии сплавления эта текстура сохраняется в металле шва. Направление формирования кристаллитов металла шва в соответствии с формой изотерм охлаждения повернуто на 20...30° от нормали к оси сварного шва. Фронту изотерм перпендикулярно направление  $[\bar{2}11]$  или  $[011]$ , а ближайшее направление  $\langle 100 \rangle$  составляет сравнительно большой угол (соответственно 35 или 45°) с направлением роста кристаллитов и не лежит в плоскости листа. В этих условиях столбчатые кристаллиты металла шва наследуют кристаллографическую текстуру оплавленных зерен линии сплавления, т. е. растут вдоль направления  $[211]$  или  $[110]$ .





Таким образом, отжиг деформированных прокаткой молибденовых листов или их предварительный нагрев перед сваркой способствуют формированию в процессе сварки в металле ЗТВ кристаллографической текстуры с основной компонентой  $\{111\}[110]$  и  $[112]$ , которая сохраняется в металле шва. Из полученных экспериментальных данных становится понятным влияние предварительных термической обработки и нагрева на механические характеристики сварных соединений молибденовых сплавов.

При высокотемпературном отжиге в основном металле формируется текстура типа  $\{111\}\langle 110 \rangle$  и  $\langle 112 \rangle$ , которая в полной мере наследуется металлом шва. Предварительный нагрев и тепловое воздействие дуги в процессе сварки на ЗТВ также приводят к формированию в ней вблизи линии сплавления кристаллографической текстуры  $\{111\}\langle 110 \rangle$  и  $\langle 112 \rangle$  и, как следствие, текстур этого же типа в металле шва. Другими словами, вне зависимости от исходной кристаллографической текстуры ( $(001)[112]$  и  $(111)[211]$  — сплав ЦМ-12 или  $(001)[110]$ ,  $(001)[100]$  и  $(111)[112]$  — сплав МИ-5) в процессе отжига при температурах выше 1900 К и в ходе сварки с предварительным подогревом формируется один тип кристаллографической текстуры —  $\{111\}\langle 110 \rangle$  и  $\langle 112 \rangle$ .

Наследование кристаллографической текстуры основного металла в процессе сварки металлом сварного соединения в случае, когда не происходит заметного изменения химического состава сплава, сопровождается взаимосвязью физико-механических характеристик исходного материала и сварного соединения. На рис. 5, а показана зависимость температуры хладноломкости основного материала, определенная на образцах, вырезанных под различными углами к направлению прокатки листов молибденовых сплавов, а на рис. 5, б — такие же зависимости для сварных соединений.

Поскольку образцы основного металла и образцы под сварку вырезали из одного листа, можно полагать, что химический состав, содержание примесей внедрения и структурное состояние у них оставались постоянными, а изменялась только кристаллографическая ориентировка приложения внешнего напряжения при испытаниях на изгиб с целью определения температуры хладноломкости.

В случае, когда низкотемпературная пластичность (исходного основного металла) текстурированных молибденовых сплавов определяется типом

кристаллографической структуры, а металл сварного соединения наследует кристаллографическую ориентировку оплавленных зерен зоны сплавления, следует считать, что минимальной температуре хладноломкости основного металла будет соответствовать минимальная температура хладноломкости сварного соединения. Однако, как показывает сравнительный анализ полученных результатов (рис. 5), минимальная температура хладноломкости основного металла соответствует продольным образцам, а минимальная температура хладноломкости сварных соединений получена на образцах, сваренных под углом  $90^\circ$  к направлению прокатки. Это несоответствие обусловлено тем, что при сварке поперечных образцов в кристаллизующемся металле сварочной ванны формируются кристаллографические ориентировки продольных образцов.

### Выводы

1. Установлено, что при высокотемпературной обработке и сварке плавлением низколегированного молибденового сплава ЦМ-10 в металле ЗТВ у линии сплавления формируется сильная кристаллографическая  $(001)[110]$  и более слабые  $(112)[110]$  и  $(111)[211]$  текстуры, которые наследуются кристаллами металла шва.

2. Определено, что в легированных молибденовых сплавах ЦМ-12 и МИ-5 исходная текстура деформированного листа  $(001)[112]$  и  $(001)[110]$  в процессе высокотемпературной обработки или сварки трансформируется в текстуру типа  $\{111\}\langle 110 \rangle$  и  $\langle 112 \rangle$ , которая в полной мере наследуется металлом сварного шва.

1. Пальме Р. Влияние текстур деформации на свойства тугоплавких металлов // Новые тугоплавкие металлические материалы. — М.: Мир, 1971. — С. 39–43.
2. Связь кристаллографических текстур основного металла и сварного шва на низколегированных сплавах молибдена / М. М. Нероденко, Е. П. Полищук, Ю. В. Мильман и др. // Автомат. сварка. — 1978. — № 12. — С. 12–15.
3. Брюханов А. А. Общие закономерности анизотропии кубических кристаллов и текстуры металлов кубической системы. 1. Текстура прокатки // Изв. вузов СССР. Физика. — 1977. — № 4. — С. 153–158.
4. Браун Х., Семмишен М., Барр Р. Последние достижения в технологии обработки литого молибдена // Тугоплавкие металлические материалы для космической техники. — М.: Мир, 1966. — С. 316–339.
5. Savag W. F., Lundin D. D., Aronson A. N. Weld metal solidification // Welding J. — 1965. — № 4. — P. 175–178.
6. Роттер Дж. Структурные несовершенства, возникающие в процессе кристаллизации. — М.: Металлургиздат, 1962. — С. 272–306.

Investigated is the effect of high-temperature annealing and heating by the welding arc on processes of formation of crystallographic texture in the HAZ of plate molybdenum alloys TsM-10, TsM-12 and MI-5. It is shown that the initial deformation texture of the type of  $(001)[110]$ ,  $(112)[\bar{1}10]$  and  $(111)[\bar{2}11]$  persists in the HAZ and weld metal of the low-alloyed molybdenum alloy TsM-10. In the alloyed molybdenum alloys TsM-12 and MI-5 the initial deformation texture of the type of  $(001)[110]$ ,  $(011)[100]$  and  $(111)[211]$  in the HAZ is gradually transformed into the crystallographic deformation texture of the type of  $(111)[112]$  and  $[110]$ , and then this type of the texture persists in the weld metal.

Поступила в редакцию 15.12.2001,  
в окончательном варианте 12.03.2002



## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ КОМПОЗИЦИОННОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА

А. И. БЕЛЫЙ, инж., А. П. ЖУДРА, канд. техн. наук, В. И. ДЗЫКОВИЧ, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены данные о влиянии легирующих элементов (ниобия, ванадия, титана) на количественное соотношение фаз, образующих матрицу композиционного сплава при плазменной наплавке.

*Ключевые слова:* плазменная наплавка, присадочный материал, матрица композиционного сплава, армирующие частицы

При плазменной наплавке композиционного сплава на базе плавящихся карбидов вольфрама с использованием электрически нейтрального присадочного материала в виде ленточного релита основными структурными составляющими матрицы являются твердый раствор вольфрама в железе, эвтектика и сложные железобольфрамиды [1]. Указанные фазы образуются вследствие растворения армирующих зерен, представляющих собой эвтектический сплав моно- и полукарбидов вольфрама  $WC-W_2C$ , при котором происходит насыщение матричного расплава углеродом и вольфрамом [2].

В предыдущих работах, посвященных раскислению металла сварочной ванны при плазменной наплавке композиционных сплавов, установлено, что степень растворения армирующих частиц снижается при введении в состав присадочного материала кремния, марганца, алюминия [2, 3]. Однако в процессе металлографических исследований раскисленной и нераскисленной матрицы обнаружено значительное количество вторичных железобольфрамидов карбидов размерами 20...30 мкм и грубой эвтектики, наличие которых приводит к охрупчиванию матрицы. Это указывает на недостаточность одного раскисления для наплавки композиционного сплава с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Для установления более точной характеристики матрицы, а также прогнозирования износостойкости композиции в целом с помощью структурного анализатора EPIQUANT была проведена количественная оценка структурных составляющих. Содержание вольфрама в фазах определяли методом микрорентгеноспектрального анализа. Результаты исследования количественного состава фаз матрицы приведены в табл. 1.

Основным источником образования неблагоприятных фаз в виде вторичных железобольфрамидов карбидов  $Fe_2W_2C$ ,  $Fe_4W_2C$ ,  $Fe_3W_3C$  и грубой эвтектики является углерод — продукт растворения армирующих зерен. Следовательно, один из перспективных путей создания необходимой структурной организации матрицы — легирование

расплава элементами, имеющими большее сродство к углероду, чем железо и вольфрам, которые позволяют «отнять» углерод у образующихся вторичных железобольфрамидов и образовать свой собственный карбид, но меньшего удельного объема. Данный принцип широко используется для улучшения механических свойств инструментальных сталей, содержащих, кроме вольфрама, 3...5 % хрома [4, 5].

При рассмотрении ряда элементов по убывающей силе сродства к углероду (титан, ниобий, ванадий, вольфрам, молибден, хром, железо) [4], очевидно, что наиболее активными являются ванадий, ниобий, титан. Данные элементы вводили в состав шихты присадочного материала в виде феррованадия, феррониобия и ферротитана. Попытки применить другие компоненты, отличающиеся более высоким содержанием требуемых элементов, дефицитностью и повышенной стоимостью, не дали положительных результатов.

Содержание ферросплавов выбирали таким образом, чтобы обеспечить массовую долю ванадия, ниобия, титана в матрице композиционного сплава от 0,5 до 5,0 %. Верхний предел легирования ограничен увеличением объема матрицы в общем объеме композиции, вызванным высоким содержанием железа в ферросплавах.

Наплавленные образцы исследовали по указанной методике и с помощью растрового микроскопа JSM-T200 японской фирмы «Джеол». Установлено, что эти легирующие элементы оказывают положительное влияние на формирование матрицы и ее структурных составляющих.

**Таблица 1. Влияние раскисляющих элементов на содержание фаз, формирующих матрицу композиционного слоя**

Структурная составляющая	Исследуемая система	Количество фаз в матрице, об. %	Массовая доля вольфрама в фазах, %
Твердый раствор вольфрама в железе	Fe-W-C	24...26	10...16
	Fe-W-C-Al-Si-Mn	33...35	9...14
Эвтектика	Fe-W-C	52...54	36...48
	Fe-W-C-Al-Si-Mn	46...48	35...44
Вторичные карбиды Fe-W-C	Fe-W-C	21...23	68...74
	Fe-W-C-Al-Si-Mn	18...20	68...74



При повышении содержания ниобия до 2 % в составе компонентов, идущих на образование матрицы, усиливается его влияние на структурные составляющие, и в пределах 2...3 % он оказывает наибольший эффект, который выражается в снижении количества вторичных железвольфрамовых карбидов размером 20...25 мкм, по сравнению с нераскисленной матрицей, а также в увеличении доли твердого раствора вольфрама в железе (табл. 2). Структура композиционного сплава в обратнорассеянных электронах и распределение вольфрама в матрице при легировании ее ниобием в характеристическом излучении  $NK_{\alpha}$  приведены на рис. 1, *A1* и *B1*.

Наличие до 1,0...1,5 % ванадия в составе компонентов, образующих матрицу, способствует получению матрицы сплава с более дисперсной структурой. При 1,5...2,5 % ванадия его влияние выражается в снижении размеров вторичных железвольфрамовых карбидов до 12...15 мкм, большинство из которых образуется вблизи армирующих зерен, в зонах, наиболее насыщенных продуктами их растворения. Обнаружено также снижение содержания указанных карбидов и увеличение доли твердого раствора вольфрама в железе — до 46...51 % (табл. 2, рис. 1, *A2*, *B2*). Интересно, что количество вольфрама во всех составляющих мало изменяется при легировании как ниобием, так и ванадием. В случае повышения содержания ванадия в материале свыше 2,5 % заметного его влияния не установлено, за исключением увеличения объема матричного расплава.

Введение в состав компонентов присадочного материала до 1,0...1,5 % титана способствует образованию структурных составляющих аналогично ниобию и ванадию, т. е. увеличению дисперсности матрицы. Дальнейшее повышение содержания титана до 1,5...3,0 % приводит к резкому улучшению качества матрицы. Уменьшаются размеры и количество вторичных железвольфрамовых карбидов в матрице, незначительное содержание которых

**Таблица 2. Влияние легирующих элементов на количество вольфрама в структурных составляющих матрицы композиционного сплава**

Структурная составляющая	Легирующий элемент	Объемная доля, %		Массовая доля вольфрама в фазах, %
		армирующих частиц в сплаве	составляющих в матрице	
Твердый раствор вольфрама в железе	Nb	46	44...49	11...15
	V	48	46...51	12...16
	Ti	47	59...63	9...11
Эвтектика	Nb	46	46...50	33...42
	V	47	47...49	30...43
	Ti	48	31...35	29...40
Вторичные карбиды Fe-W-C	Nb	46	7...11	67...72
	V	47	4...8	66...71
	Ti	48	2...5	54...69

(размером менее 10 мкм) обнаружено в непосредственной близости от границы армирующих зерен.

Кроме того, с помощью микрорентгеноспектрального анализа установлено, что в указанной зоне отмечается повышение содержания титана в структуре, отличающейся малым объемом и приближающейся по составу к карбиду титана. Это подтверждает прогноз о связывании углерода — продукта растворения армирующих частиц. Введение 1,5...3,0 % титана в присадочный материал положительно сказывается и на других структурных составляющих. Эвтектика приобретает мелкодисперсный характер, располагаясь по всему объему матрицы (рис. 1, *A3*, *B3*). Отмечено также более значительное снижение ее содержания в матрице по сравнению с матрицей, легированной ниобием и ванадием. Вместе с тем, уменьшение количества вольфрама в эвтектике не обнаружено. Что касается твердого раствора вольфрама в железе, то зафиксировано существенное повышение его доли в общем объеме матрицы — до 59...63 % (табл. 2).

Следует отметить, что усредненное содержание вольфрама в раскисленной матрице составляет

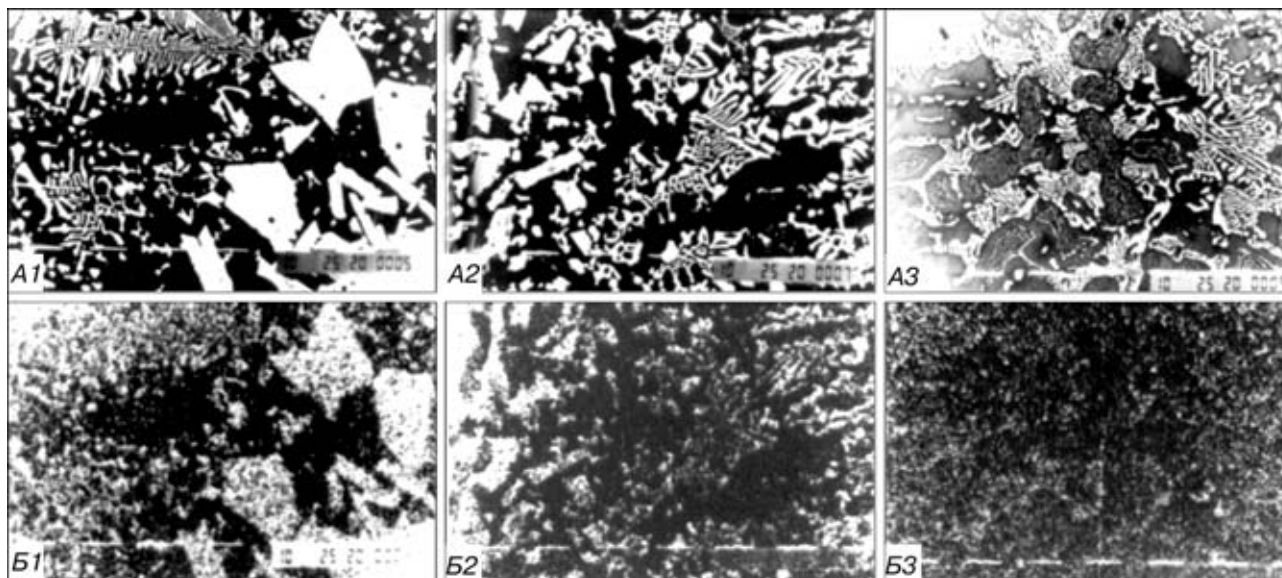


Рис. 1. Микроструктура композиционного сплава в обратнорассеянных электронах (*A1*...*A3*) и распределение вольфрама в матрице в характеристическом излучении (*B1*...*B3*) при различных системах легирования: 1 — ниобием; 2 — ванадием; 3 — титаном

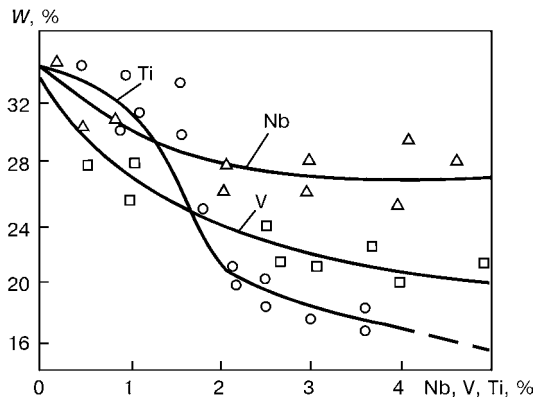


Рис. 2. Влияние легирующих компонентов на содержание вольфрама в матрице композиционного сплава

33... 36 %. При введении в присадочный материал до 1,5 % указанных элементов наиболее благоприятное влияние на снижение содержания вольфрама оказывает ванадий, затем ниобий и титан. При дальнейшем повышении степени легирования влияние титана выражено больше и по достижении его содержания в присадочном материале свыше 2 % он играет преобладающую роль в формировании матрицы композиционного сплава с наилучшими служебными характеристиками (рис. 2).

Испытание на абразивный износ композиционных сплавов, наплавленных с использованием присадочного материала, содержащего титан, показало повышение износостойкости композиции по сравнению со сплавами с раскисленной матрицей и сплавами, полученными путем армирования сварочной ванны зернами карбидов вольфрама, в 1,2... 1,3 раза.

При наплавке опытной партии замков бурильных труб ЗШ-146А ленточным релитом с титаном

установлено, что их ресурс в 2,1... 2,5 раза превышает ресурс контрольных серийных ненаплавленных замков. Новый материал для плазменной наплавки композиционных сплавов внедрен на Дрогобычском долотном заводе, где организован промышленный участок по выпуску замков с армированной наружной поверхностью.

### Выводы

1. Установлены эффективность введения в состав присадочного материала ниобия, ванадия и титана, а также их влияние на условия формирования структурных составляющих и их соотношение в матрице композиционного сплава.

2. Определено оптимальное количество титана 1,5... 3,0 %, вводимого в состав присадочного материала, по отношению к компонентам, которые образуют после плавления и кристаллизации матрицу композиционного сплава.

1. Овчинникова Т. С. Исследование структуры армированного слоя шарошек буровых долот и влияние ее на износостойкость: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1968. — 29 с.
2. Жудра А. П. Исследование и разработка материалов для наплавки композиционных сплавов, стойких в условиях интенсивного абразивного износа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1980. — 16 с.
3. Белый А. И., Дзыкович В. И. Раскисление металла при плазменной наплавке композиционных сплавов // Всесоюз. семинар «Теоретические и технологические основы наплавки в металлургической и горнорудной промышленности»: Тез. докл. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. — 52 с.
4. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. — М.: Металлургия, 1968. — 400 с.
5. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: Металлургия, 1959. — 450 с.

Data are given about the effect of alloying elements (niobium, vanadium, titanium) on the quantitative ratio of hases, forming matrix of a composite alloy in plasma surfacing.

Поступила в редакцию 28.03.2002,  
в окончательном варианте 14.05.2002



# ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЙ НИКЕЛЯ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

Л. И. МАРКАШОВА, д-р техн. наук, В. В. АРСЕНЮК, канд. техн. наук, В. Г. ПЕТУШКОВ, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН Украины Г. М. ГРИГОРЕНКО (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Выполнены исследования, позволившие выявить связь энергетических параметров соударения и качества соединений при сварке взрывом. Установлено, что формирование конечной структуры контактной зоны соединений, от которой зависит их прочность и пластичность, в основном определяется взаимным влиянием двух конкурирующих механизмов — деформационного упрочнения и релаксации (возврата). Даны рекомендации по выбору режимов сварки, обеспечивающих оптимальный энергетический баланс при протекании процессов упрочнения и релаксации структуры.

*Ключевые слова:* сварка взрывом, никель, пластическая деформация, тонкая структура, механические свойства, контактная зона, температурный режим, оптимизация

Служебные характеристики соединений, полученных сваркой взрывом, во многом определяются структурным состоянием металла, формирующегося на их поверхности, которое в свою очередь зависит от режима соударения. В настоящее время имеется несколько критериев, на основании которых можно априори назначать оптимальные параметры соударения [1–5]. Одним из них является энергетический критерий, который сводится к анализу баланса кинетической энергии метаемой взрывом пластины. При этом установлено, что равнопрочное соединение образуется в случае, когда для каждого из свариваемых металлов собственно на сварку затрачивается энергия пластической деформации  $W_2$  не ниже критической [3], характерной для каждого конкретного сочетания металлов. Этот подход позволяет оценить влияние толщины свариваемых пластин на значения  $W_2$  и соответственно на структурное состояние металла зоны соединения. Недостатком указанного способа является то, что можно определять лишь интегральные энергетические характеристики процесса. В связи с этим надежная оценка баланса энергетических затрат при сварке взрывом, а следовательно, и прогнозирование структурного состояния металла без дополнительной экспериментальной корректировки зачастую невозможно. С учетом таких параметров, как высокие давление, температура и скорость деформации определить динамическую прочность материала, температуру его плавления и другие физико-механические характеристики весьма сложно [6, 7].

Настоящая работа расширяет существующее представление о возможных путях оптимизации режимов сварки взрывом на базе исследования влияния параметров соударения на динамику структуры контактной зоны. В качестве модельного материала выбран никель технической чистоты марки НП-2. Благодаря наличию ГЦК-решетки он претерпевает пластическое деформирование сразу в широком спектре кристаллографических систем скольжения. Это позволяет получить эксперимен-

тальный материал при сварке в широком диапазоне режимов соударения без дефектов деформационного происхождения (трещин, расслоений и т. п.).

Были проведены четыре серии экспериментов, выполненных на разных режимах соударения (таблица). Сварку осуществляли по угловой схеме. Для предотвращения влияния усредненной единичной массы на закономерность образования соединений метаемой и основной пластин их толщину (соответственно 3 и 8 мм) во всех опытах оставляли неизменной. По данным работы [3], минимально допустимое (критическое) значение  $W_2$  в этом случае составляет приблизительно 1,2 МДж/м<sup>2</sup>. Сохраняя постоянную скорость метания ( $v_0 \cong 730$  м/с), значения скорости точки контакта  $v_k$  и  $W_2$  варьировали путем изменения начального (установочного) угла  $\alpha$  (таблица). В качестве взрывчатого вещества (ВВ) использовали гексоген, отличающийся стабильными и хорошо воспроизводимыми параметрами детонации. Высоту заряда ВВ выбирали одинаковой. Значения  $W_2$  в зависимости от кинематических параметров соударения находили из следующего выражения [3]:

$$W_2 = \frac{m_{\text{ср}} v_0^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{v_k}{c_0} \right)^2 \right],$$

где  $m_{\text{ср}}$  — усредненная единичная масса свариваемых пластин;  $c_0$  — скорость звука в металле.

Качество полученных соединений определяли по степени гомогенности металла непосредственно на границе контакта. Изучение структурных особенностей металла в этой области проводили с помощью методов оптической, трансмиссионной и микродифракционной электронной микроскопии. Тонкие фольги просматривали на электронном мик-

## Технологические параметры режима сварки взрывом

Режимы сварки	$\alpha$ , град	$\gamma^*$ , град	$v_k$ , м/с	$W_2$ , МДж/м <sup>2</sup>
I	3	10	4290	2,2
II	5	12	3570	3,2
III	15	22	1980	4,7
IV	20	27	1630	4,9

\*  $\gamma$  — динамический угол соударения.

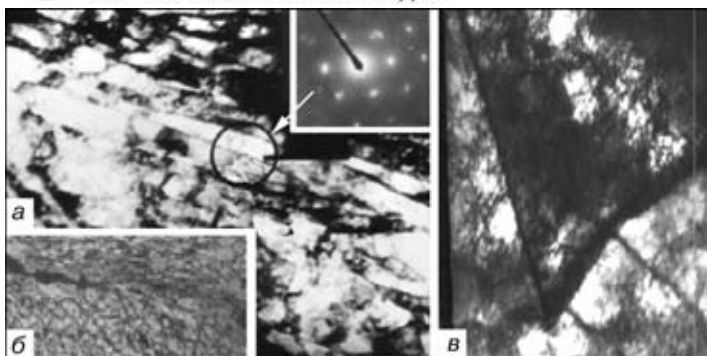


Рис. 1. Структура соединения никель–никель, выполненного сваркой взрывом при  $\alpha = 3^\circ$ : *a* — тонкая структура зоны сварки ( $\times 15000$ ) с микродифракционной картиной рефлексов в радиальном направлении; *b* — общий вид зоны сварки ( $\times 500$ ); *в* — пример формирующихся фрагментов с прямолинейными границами «ножевого» типа ( $\times 20000$ )

роскопе JEM-200СХ при ускоряющем напряжении 200 кВ.

Установлено, что микроструктуры соединений, полученные на I и II режимах (см. таблицу), практически идентичны и характеризуются повышенным числом участков микронепровара (рис. 1). Наличие таких участков обычно вызывает уменьшение электрохимической гомогенности, что в свою очередь обуславливает снижение коррозионной стойкости контактной границы. Субструктура этих соединений неоднородна по размерам и ориентации зерен. Для нее характерно наличие внутри ячеек и в области субзеренных границ дислокаций весьма высокой объемной плотности (приблизительно  $1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ ) (рис. 1, *a*). Наблюдается также формирование четких границ «ножевого» типа с высокими углами разориентировки, составляющими около  $11 \dots 12^\circ$  (рис. 1, *в*).

Наряду с равноосными ячейками образуются отдельные субструктурные элементы протяженной формы — полосы деформации, интерпретируемые как электронно-микроскопический эквивалент оптически наблюдаемых полос сдвига [8]. Согласно работе [9], различие в ресурсах пластичности сопряженных микрообъемов металла (с совершенной равноосной и полосовой структурами), а также релаксация значительного количества упругой энергии, накопленной в субграницах полосовых структур, мо-

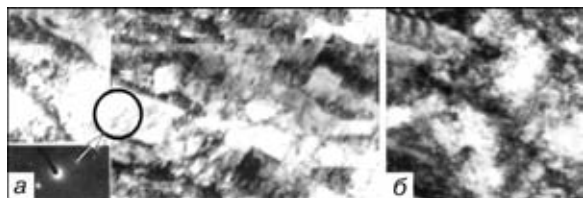


Рис. 2. Тонкая структура металла зоны сварки никеля (*a*,  $\times 15000$ ) и отдельных ее участков (*б*,  $\times 20000$ ), полученная сваркой взрывом при  $\alpha = 15^\circ$  (стрелкой показан участок, с которого была снята микродифракционная картина рефлексов)



Рис. 3. Тонкая структура зоны сварки никеля (*a*), полученная сваркой взрывом при  $\alpha = 20^\circ$ , и соответствующая микродифракционная картина рефлексов (*б*),  $\times 15000$

гут привести к разрушению соединения при его нагружении. В связи с перечисленными выше причинами I и II режимы не могут быть рекомендованы для практического применения. Повышение энергии пластической деформации при использовании III режима вызвало понижение объемной плотности дислокаций примерно на порядок (рис. 2). В этом случае так же, как и при сварке на I и II режимах, наблюдается формирование в зоне сварки направленных полосовых структур, однако перераспределение дефектов кристаллической решетки внутри полос приводит к образованию более равноосных ячеек. При этом разориентировки ячеек внутри полос и смежных полосовых образований между собой невелики — в пределах малоугловых разориентировок (приблизительно до  $2^\circ$ ).

Таким образом, увеличение значений  $W_2$  «смягчает» структуру контактной зоны в связи с исчезновением четкой направленности границ относительно деформирующего напряжения, что проявляется в виде «размытых» полосовых структур, фрагментации внутренних объемов полос, уменьшения объемной и приграничной плотности дислокаций. В результате структурное состояние зоны сварки существенно не отличается от структуры основного металла. Для соединений, полученных на IV режиме, характерно, с одной стороны, наличие равноосных центров рекристаллизации, с другой, существенное изменение тонкой структуры зоны сварки в сторону увеличения объемной доли полос деформации: ячеистая неравноосная структура, превалирующая при III режиме, с увеличением  $W_2$  «вырождается» в тонкие удлиненные пакеты полосовых образований при резком снижении плотности дислокаций внутри полос. Таким образом, структура металла зоны сварки весьма существенно отличается от структуры основного металла, как по плотности дислокаций, так и по форме структурных элементов и углу их разориентировки (рис. 3).

Выявленные детали субструктуры границы контакта соединений, полученных на различных режимах сварки, позволили выявить характер деформационных процессов, происходящих в этой зоне. Высокая плотность дислокаций, нерегулярность структурных границ, нечеткая их ориентация, а также фрагментация субструктуры с формированием дисперсных и вытянутых ячеек в случае использования I и II режимов указывают на то, что роль термической активации в движении дислокаций незначительна. Фрагментация структуры, сопровождающаяся формированием значительно разориентированных границ, обусловлена, по всей вероятности, превалированием процессов деформации в ряду деформация–релаксация. Кроме того, характер структуры металла зоны сварки свидетельствует о том, что возможности релаксационных процессов в результате движения индивидуальных дислокаций (трансляционных форм пластической деформации) исчерпаны. Таким образом, в материале создается неоднородное напряженное состояние, обуславливающее релаксацию внутренних напряжений с помощью разворота

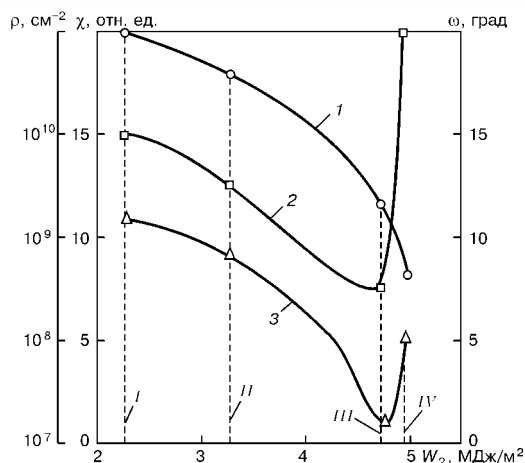


Рис. 4. Влияние энергии пластической деформации  $W_2$  на тонкую структуру никеля на контактной границе: 1 — плотность дислокаций; 2 — коэффициент формы (отношение длины субзерна к его ширине)  $\chi$ ; 3 — угол разориентировки субструктурных границ  $\omega$ ; I–IV — режимы сварки (см. таблицу)

смежных микрообъемов. Структурным проявлением подобного механизма релаксации является активная фрагментация с формированием четко направленных высокоугловых «ножевых» границ. Образование наблюдаемых полосовых структур можно связать, по всей вероятности, с эффектом потери механической устойчивости и коллективными формами движения дефектов кристаллической решетки. Равноосная форма субзерен с небольшим углом разориентировки и нечеткое проявление полосовых структур в случае сварки на III режиме (см. рис. 2, б) свидетельствуют об увеличении влияния термоактивированных форм перераспределения дефектов кристаллической решетки, которые происходят в основном по механизму полигонизации. Образование структуры при резком снижении плотности дислокаций внутри полос в случае использования IV режима можно объяснить значительным превалированием процессов термической релаксации над процессами деформации (упрочнения) металла в зоне сварки. Таким образом, выявленные в результате проведенного анализа особенности пластического течения металла в контактной зоне свидетельствуют о том, что при сварке происходят два конкурирующих процесса — деформационное упрочнение и разупрочнение. Упрочнение, обусловленное высоким уровнем пластической деформации, характеризуется накоплением дефектов кристаллической решетки, фрагментацией структуры и т. п.

Степень и механизмы разупрочнения определяются большей частью следующими уровнями температур в контактной зоне: сравнительно невысокие, явно недостаточные для сколько-нибудь существенного термического разупрочнения (I, II режимы); достаточные для развития релаксации по полигонизационному механизму и обеспечивающие равновесное состояние структуры контактной зоны (III

режим); довольно высокие, способствующие развитию таких термически активируемых процессов, как рекристаллизация (IV режим). При оптимизации режимов соударения с целью прогнозирования, например, усталостной прочности необходимо учитывать как процессы упрочнения, так и разупрочнения. По-видимому, оптимальным можно считать режим, обеспечивающий энергетический баланс между процессами упрочнения и релаксации внутренних напряжений.

**Выводы**

1. Разработаны приемы дозирования энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование и ограничения температурного режима сварки.
2. Установлено, что времени сварки взрывом, исчисляемом микросекундами, достаточно для протекания термоактивированных процессов релаксации напряжений в контактной зоне, обеспечивающих устранение полосовых структур и тем самым улучшающих пластические свойства сварных соединений.
3. Оптимальный диапазон температурного режима сварки может быть установлен за счет дозирования энергии пластической деформации путем варьирования динамического угла соударения в процессе сварки при фиксированной скорости соударения. Последнее обеспечивает оптимальное соотношение скоростей протекания процессов упрочнения и релаксации структуры.

1. Дерibas А. А., Захаренко Н. Д. О поверхностных эффектах при косом соударении металлических пластин // Физика горения и взрыва. — 1974. — № 3. — С. 409–421.
2. Исследование процесса волнообразования при сварке взрывом / Н. Д. Бусалаев, М. И. Глазков, В. Р. Лозовская и др. // Технология производства сварных конструкций: Межвуз. темат. сб. науч. тр. — Куйбышев: Б. и., 1980. — С. 66–75.
3. Седых В. С., Соинов А. И. Расчет режимов сварки взрывом разнородных металлов // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Сб. науч. тр. — Волгоград: Волгоград. политехн. ин-т, 1991. — С. 1–13.
4. Ядевич А. И. Исследование и разработка слоистых композиций на основе инструментальных сталей, изготовленных методом высокоскоростной деформации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 1980. — 20 с.
5. Explosion welding criteria / V. G. Petushkov, V. A. Simonov, V. S. Sedykh, Yu. I. Fadeenko / Ed. B. E. Paton. — Harwood: Harwood Acad. publ. 1995. — Vol. 3. — Pt. 4. — 127 p. — (Welding and Surfacing Reviews).
6. Степанов Г. В. Упругоэластическое деформирование материалов под действием импульсных нагрузок. — Киев: Наук. думка, 1979. — 268 с.
7. Petushkov V. G., Fadeenko Yu. I. Welding stress relief by explosion treatment. — N.-Y.: Backbone publ. co., 1999. — 179 p.
8. Класен-Неклюдова М. В. Механическое двойникование кристаллов. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 120 с.
9. Рыбин В. В. Физическая модель явления потери механической устойчивости и образования шейки // Физика металлов и металловедение. — 1977. — 44, № 3. — С. 623–632.

Investigations were performed to reveal the interrelation between the energy parameters of collision and quality of joints in explosion welding. It was established that the formation of a final structure of the zone of welding, on which their strength and ductility depend, is determined mainly by mutual effect of two competing mechanisms, i.e. strain strengthening and relaxation (recovery). Recommendations are issued for selection of welding conditions providing optimum energy balance in the proceeding processes of strengthening and relaxation of structure.

Поступила в редакцию 19.02.2002



# ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКТОРА ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО НАГРЕВА ДИСКОВ ПО ШИРИНЕ ЗОНЫ НАПЛАВКИ С УЧЕТОМ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Академик НАН Украины **О. М. ШАБЛИЙ**, **Ч. В. ПУЛЬКА**, канд. техн. наук  
(Терноп. гос. техн. ун-т им. Ивана Пулюя, г. Тернополь),

**А. С. ПИСЬМЕННЫЙ**, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлен метод расчета и оптимизации параметров индуктора для наплавки кромок дисков произвольного диаметра и ширины зоны наплавки с учетом влияния электромагнитного и теплового экранирования на распределение мощности электромагнитного поля по ширине зоны наплавки.

*Ключевые слова:* индукционная наплавка, стальные диски, оптимизация параметров режимов, двухвитковые кольцевые индукторы, защитные экраны, исследования, расчеты

В разных областях народного хозяйства, в том числе и в сельскохозяйственной технике, используют тонкие стальные диски разной толщины сплошной и зубчатой формы. Для обеспечения самозатачивания кромок при работе дисков их рабочую поверхность наплавляют стойкими к срабатыванию порошквидными твердыми сплавами ПГ-С1, ПГ-С27 или другого типа при нагреве с помощью токов высокой частоты [1]. При этом для соответствующих диаметров дисков и различной ширине зоны наплавки необходимо определять размеры и форму индуктора, что требует времени и затрат.

В работе [2] приведена методика, описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации конструктивных размеров двухвитковых кольцевых индукторов, применяемых для одновременной наплавки тонких стальных дисков зубчатой формы по всей рабочей поверхности. При этом обеспечивается необходимая ширина зоны наплавки, бо́льшая, чем высота зуба (рис. 1). Разработанный алгоритм позволяет определять оптимальные параметры конструкции индуктора для произвольных диаметра диска и ширины наплавки, исходя из потребностей технологии. В работе [2] представлены расчетные геометрические параметры индуктора в зависимости от ширины зоны наплавки и радиуса диска. Установлено, что в ряде случаев при данной схеме размещения детали относительно индуктора (рис. 1) мощность электромагнитного поля по ширине зоны наплавки распределяется неравномерно: наибольшая сосредоточена на торце диска. Это приводит к неравномерному расплавлению твердого сплава на рабочей кромке диска, подлежащей наплавке, а на его торце — к перегреву основного и наплавленного слоя металла.

Все эти процессы можно объяснить следующим образом. Удельная мощность электромагнитного

поля тепловых источников при отсутствии экрана определяется по формуле из [2]

$$W = \frac{\sigma \omega^2 \mu_0^2}{128\pi^2 h} \times \left[ \Delta I_B^2 A^2 a_B^2 + \Delta I_H^2 B^2 a_H^2 + 4ha_B^2 I_B^2 C^2 e^{-2(r_2 - r)/\Delta} \right], \quad (1)$$

где  $\sigma$ ,  $\omega$ ,  $\mu_0$  — соответственно электрическая проводимость, круговая частота тока и магнитная проницаемость вакуума;  $\Delta = \sqrt{2/(\sigma\omega\mu_0)}$  — глубина проникновения тока в металл диска;  $I_B$ ,  $I_H$  — соответственно ток верхней и нижней ветви индуктора;  $A^2$ ,  $B^2$ ,  $C^2$  — коэффициенты (интегралы эллиптического типа), зависящие от размеров индукционной системы, формулы для их расчета даны в [2]; остальные геометрические размеры приведены на рис. 1.

По этой формуле выполнены расчеты, иллюстрирующие распределение удельной мощности электромагнитного поля в зоне наплавки диска в зависимости от ее геометрических размеров. На рис. 2 (кривые 1) показаны их результаты для двух примеров наплавки с шириной зоны соответственно 10 и 50 мм при радиусе диска  $r_2 = 105$  мм. Согласно приведенным графикам, в тор-

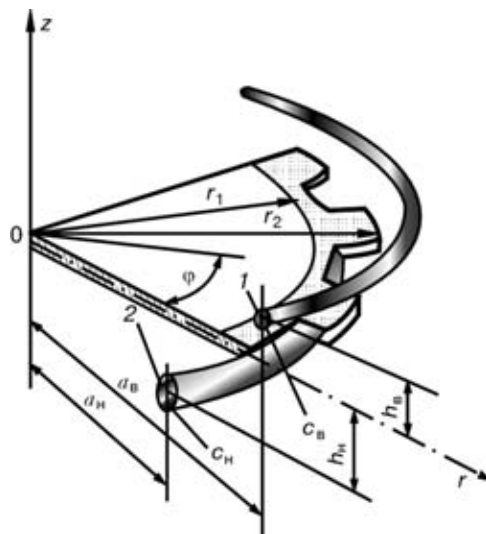


Рис 1. Фрагмент исследуемой системы (обозначения см. в тексте)



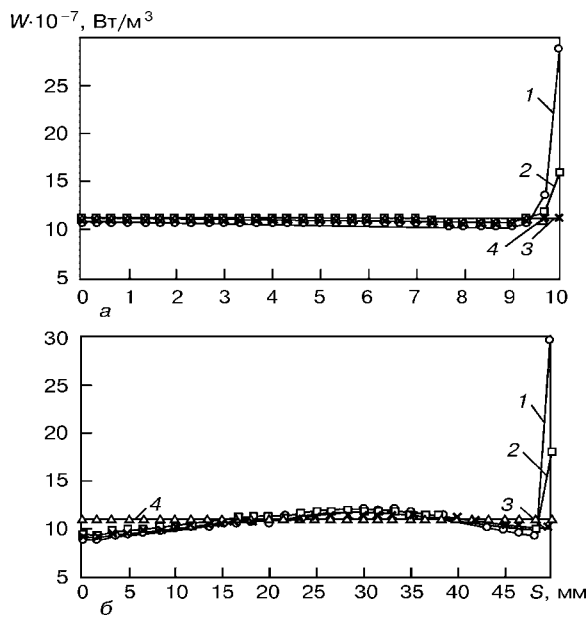


Рис. 2. Распределение мощности  $W$  электромагнитного поля тепловых источников по ширине зоны наплавки  $S$ :  $a - S = 10$ ,  $b - S = 50$  мм при разном экранировании торца диска: 1 —  $K = 1$  (без экранирования); 2 —  $K = 0,25$ ; 3 —  $K = 0$  (полное экранирование); 4 — заданное распределение мощности электромагнитного поля

це диска значения удельной мощности электромагнитного поля в 3 раза больше, чем в основной части зоны наплавки. На практике это часто приводит к оплавлению торца диска.

Известно, что с целью перераспределения и концентрации мощности электромагнитного поля тепловых источников в рабочей области индукционного нагрева деталей применяют экраны электромагнитных и тепловых полей [3]. Этот же прием использован в данной работе для обеспечения необходимого распределения мощности электромагнитного поля тепловых источников по ширине зоны наплавки. При этом необходимо было провести

оптимизацию размеров двухвиткового кольцевого индуктора с учетом наличия таких экранов. Этому и посвящена данная работа.

На рис. 3 приведена схема размещения детали в индукторе с экраном и без него. В исследованном нами случае экран охватывал нагреваемый диск со стороны внешнего периметра вдоль боковой (торцевой) поверхности. Такой торцевой экран вытесняет переменное электромагнитное поле, генерируемое индуктором, из зоны боковой поверхности диска. При этом возле торца диска уменьшается интенсивность электромагнитного поля источников тепла, а подлежащая наплавке поверхность подвергается более интенсивному воздействию электромагнитного поля. Другим назначением экрана является тепловая изоляция торца диска от окружающей среды и тем самым — уменьшение тепловых потерь в зоне наплавки.

Степень экранирования учитываем с помощью коэффициента экранирования  $K$ , который введем в формулу (1) при определении удельной мощности электромагнитного поля тепловых источников в диске. В этом случае формула примет вид

$$W = \frac{\sigma \omega^2 \mu_0^2}{128\pi^2 h} \times \left[ \Delta I_B^2 A^2 a_B^2 + \Delta I_H^2 B^2 a_H^2 + K 4 h a_B^2 I_B^2 C^2 e^{-2(r_2 - r)/\Delta} \right]. \quad (2)$$

В формуле (2) коэффициент экранирования  $K$  изменяется в диапазоне  $[0; 1]$ . При  $K = 0$  формула (2) описывает идеальный случай полного экранирования торца, а при  $K = 1$  эффект влияния экрана отсутствует, и формула (2) будет полностью соответствовать формуле (1) из [2]. В реальности же  $K \neq 0$ , и расчет этой величины сопряжен с определенными трудностями вычислительного характера, поскольку в данном случае она объединяет электромагнитный и тепловой эффекты. Методу расчета коэффициента экранирования будет пос-

**Зависимости геометрических размеров индукционной системы от коэффициента экранирования  $K$  и радиуса диска  $r_2$**

$K$	$r_2, \text{ мм}$	$S, \text{ мм}$									
		50					10				
		$a_B, \text{ мм}$	$a_H, \text{ мм}$	$h_B, \text{ мм}$	$h_H, \text{ мм}$	$I, \text{ А}$	$a_B, \text{ мм}$	$a_H, \text{ мм}$	$h_B, \text{ мм}$	$h_H, \text{ мм}$	$I, \text{ А}$
0	105	115	89	1	18,5	23,50	115	100	0	14,5	20,82
0	125	135	107	1	14,5	21,90	135	120	0	14,5	20,10
0	145	155	123	1	16,5	21,80	155	140	0	14,5	19,53
0	165	175	144	1	19,5	21,71	175	159	2	14,5	19,00
0	185	195	161	1	20,5	21,50	195	179	1	14,5	18,70
0	205	215	182	1	20,5	21,00	205	198	0	14,5	18,50
0	210	220	186	1	20,5	20,10	220	202	2	14,5	18,50
0,25	105	115	88	7	18,5	23,52	116	100	20	14,5	21,01
0,25	125	135	107	11	20,5	23,09	139	119	20	14,5	20,36
0,25	145	155	123	5	16,5	21,77	159	139	20	14,5	19,60
0,25	165	175	145	16	19,5	21,72	182	159	20	14,5	19,30
0,25	185	196	163	14	20,5	21,40	202	178	20	14,5	19,00
0,25	205	215	182	11	20,5	20,90	220	197	20	14,5	18,74
0,25	210	220	187	11	20,5	20,80	230	201	20	14,5	18,80

Примечания.  $c_B = 5$  мм;  $c_H = 8$  мм.

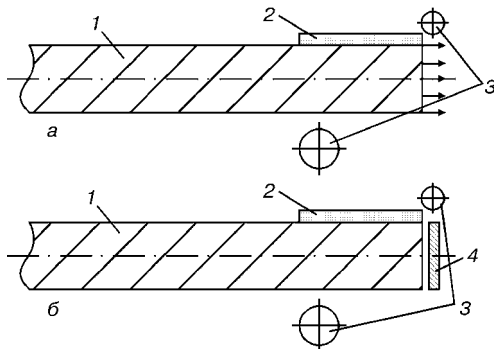


Рис. 3. Диск с индуктором без экрана (а) и с экраном (б): 1 — деталь; 2 — шихта; 3 — кольцевой индуктор с двумя витками; 4 — экран

выячена отдельная публикация. В данной статье он считается заданным — его значения равны 0; 0,25 и 1.

Определение параметров индуктора может быть выполнено с необходимой точностью при заданном коэффициенте экранирования с использованием методики, описанной в [2]. В расчетах в качестве заданного, оптимального для индукционной наплавки режима подвода к детали удельной мощности  $W_3$  использовалась зависимость из [4]

$$W_3 = \frac{T_3 c a \gamma m}{sh(am\tau)} e^{amt} \quad (3)$$

Здесь  $T_3$  — заданная температура нагрева зоны наплавки, при которой достигается качественная наплавка за период времени  $\tau$ ;  $c$ ,  $a$ ,  $\gamma$  — соответственно удельная теплоемкость, температуропроводность и плотность материала диска;  $m = Bi/2h^2$ ;  $Bi = 2h\alpha/\lambda$ ;  $2h$  — толщина диска;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $\lambda$  — теплопроводность материала диска;  $t$  — текущее значение времени процесса.

При этом оптимизацию размеров и определение тока индуктора проводили путем минимизации следующего функционала [2]:

$$F = \int_0^{\tau} \int_{r_1}^{r_2} (W - W_3)^2 r dr dt, \quad (4)$$

где  $r$  — текущее значение радиальной координаты.

В результате расчетов установлено, что наибольшая равномерность распределения мощности электромагнитного поля по ширине зоны наплавки достигается в идеальном случае при полном экранировании торца диска. Расхождение с заданной

по требованиям технологии мощностью электромагнитного поля составляет 3...5% в зависимости от ширины зоны наплавки и радиуса диска (см. рис. 2, кривые 3, 4). На основе этой методики получены расчетные зависимости геометрических параметров  $a_b$ ,  $a_n$ ,  $h_b$ ,  $h_n$  (см. рис. 1) и тока индуктора  $I$  в зависимости от коэффициента экранирования  $K$  и радиуса диска  $r_2$ . Как и на рис. 2, ширина зоны наплавки  $S$  принята 10 и 50 мм (таблица).

Анализ результатов вычислений, приведенных в таблице, показывает, что введение в технологическую схему индукционной наплавки экрана незначительно влияет на размеры  $a_b$ ,  $a_n$ ,  $h_n$  и интегральные энергетические параметры индукционной системы (это отражается на значениях тока индуктора  $I$ ). Однако наличие экрана с определенным коэффициентом экранирования приводит к значительному изменению воздушного зазора  $h_b$  между верхней ветвью индуктора и поверхностью диска. Это объясняется сильной электромагнитной связью экрана с верхней ветвью индуктора ввиду их близкого расположения (рис. 3). Наблюдаемое уменьшение зазора  $h_b$  при снижении коэффициента экранирования  $K$  необходимо для получения заданной мощности в наплавляемом диске.

Таким образом, использование электромагнитных и тепловых экранов позволяет управлять распределением мощности электромагнитного поля тепловых источников по ширине зоны наплавки. При этом можно получить необходимый закон распределения мощности электромагнитного поля для произвольных размеров дисков и ширины зоны наплавки. Наиболее равномерное ее распределение по ширине зоны наплавки достигается в идеальном случае при полном экранировании торца диска. Описанная расчетная методика дает возможность с заданной точностью определять конструктивные параметры индуктора для произвольных диаметров дисков и ширины зоны наплавки с учетом эффекта экранирования.

1. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. — М.: Машиностроение, 1971. — 264 с.
2. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Письменный А. С. Оптимизация конструктивных параметров индуктора для индукционной наплавки тонких стальных дисков // Автомат. сварка. — 1997. — № 6. — С. 17–20.
3. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 472 с.
4. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Будзан Б. П. Оптимизация энергозатрат при индукционной наплавке тонкостенных фасонных дисков // Автомат. сварка. — 1987. — № 1. — С. 36–39.

Method of calculation and optimizing of parameters of inductor for hardfacing edges of discs of an optional diameter and width of the hardfacing zone with allowance for the effect of electromagnetic and heat screening on the distribution of electromagnetic field power in the hardfacing zone width is presented.

Поступила в редакцию 14.02.2002

## ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА В ЭЛЕКТРОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ассоциация «Электрод» постоянно уделяет внимание проблемам развития производства сварочных электродов в странах СНГ с акцентом на совершенствование существующих и создание новых образцов технологического оборудования и высокоэффективных электродов, внедрение новых технологических процессов их изготовления, осуществление сертификации электродов, а также внедрение системы управления качеством их производства.

Этому способствует регулярное рассмотрение на заседаниях Совета и собраниях Ассоциации актуальных вопросов, касающихся производства конкурентоспособных сварочных электродов, что, в свою очередь, во многом определяется уровнем технологического оборудования, технологических процессов и качества сырьевых компонентов. Так, в 2000 г. состоялось расширенное совещание по сырьевым компонентам под эгидой Совета Ассоциации, в котором приняты активное участие основные производители сварочных электродов, поставщики сырьевых компонентов, сварочной проволоки. На совещании были обсуждены вопросы о поставке электродчикам качественных сырьевых компонентов.

Подобное мероприятие было проведено в 2001 г. по технологическому оборудованию, на котором рассматривалось состояние создания нового поколения оборудования и его соответствия уровню ведущих зарубежных фирм.

На последнем расширенном собрании Ассоциации был заслушан ряд докладов и сообщений, вновь рассматривающих вопросы качества. С некоторыми из них редакция сочла возможным ознакомить читателей журнала.

От редакции

УДК 621.791:658.562

## СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ КАЧЕСТВО

П. В. ИГНАТЧЕНКО, инж. (Ассоциация «Электрод»)

Приведены объемы производства сварочных материалов в ряде стран СНГ в последние годы. Рассмотрены вопросы повышения качества разработки, изготовления и поставки покрытых электродов.

*Ключевые слова:* сварочные материалы, покрытые электроды, объемы выпуска, качество, конкурентоспособность

Спрос на сварочные материалы и объемы их изготовления в странах СНГ в полной мере зависят от состояния производства стали и проката в России, Украине и Республики Беларусь (табл. 1).

В 2001 г. по сравнению с 2000 г. общий объем выпуска легированной проволоки в странах СНГ снизился на 5, в Российской Федерации — на 4, а в Украине — на 7 % (табл. 2), что обусловлено уменьшением экспорта проволоки в страны СНГ. Из этого общего объема изготовлено 6261 т омедненной проволоки, по сравнению с 2000 г. ее выпуск вырос на 18 %. Положительным также является то, что эта проволока поставляется по просьбе заказчиков упакованной на шпули и катушки с рядной намоткой. Объемы производства сварочного флюса в РФ увеличились на 15 %, а в Украине уменьшились на 12 %. В 2001 г. по сравнению с 2000 г. в СНГ снизились также объемы про-

изводства сварочных электродов по типам покрытия: рутил-ильменитовые — 179231 т (на 10 %), фтористокальциевые — 62873 т (на 8 %) и специальные — 10217 т (увеличение на 2%). Улучшилось положение с изготовлением электродов по диаметрам, особенно 3, 3,25 и 4 мм: суммарно их выпуск составил 219161 т, диаметром 5,0 мм — 32329 т и 6,0 мм — 831 т.

Важнейшей проблемой производства электродов на сегодня по-прежнему остается их качество. Этому вопросу были посвящены организованные Ассоциацией две международные конференции по

Таблица 1. Производство стали и проката в 2001 г., млн т

Страна	Сталь	Прокат	Прирост по сравнению с 2000 г., %	
			сталь	прокат
Россия	59,0	47,1	3,6	1
Украина	31,4	22,4	5	23
Беларусь	1,6	1,5	-24	1

© П. В. Игнатченко, 2002



Таблица 2. Объем выпуска сварочных материалов в 2001 г., т

Страна	Сварочные электроды	Легированная сварочная проволока для механизированной сварки в защитных газах		Порошковая проволока, всего	в т. ч.		Сварочный флюс
		$d < 2,0$ мм	$d = 0,8...1,4$ мм		сварочная	наплавочная	
Россия	211949	22290	6076	2336	1398	938	8715
Украина	35325	9358	3849	738	212	525	20031
Всего в СНГ	252321	31648	9925	3073*	1610	1463	28746

\* Включая проволоку металлургического назначения для раскисления стали — 4345 т.

сварочным материалам стран СНГ, участниками которых были представители предприятий, организаций, акционерных обществ, изготовители сварочных материалов, потребители и поставщики сырьевых компонентов. Ради решения проблемы качества стоило бы объединиться производителям сварочных электродов Ассоциации с предприятиями-потребителями, которые своевременно адресовали бы свои претензии к изготовителям на качество электродов, а поставщики сырьевых компонентов имели бы постоянных клиентов. Такой союз позволил бы решить проблему качества и конкурентоспособности сварочных электродов, защитить рынок СНГ от иностранных фирм. В этом направлении Ассоциации необходимо установить деловые взаимоотношения с обществами сварщиков стран СНГ и главными сварщиками ведущих предприятий для всестороннего рассмотрения существующего уровня качества сварочных электродов в странах СНГ и их соответствие зарубежным аналогам. Дирекция Ассоциации обратилась более чем к 100 предприятиям различных отраслей промышленности с просьбой:

- оценить качество поставляемых сертифицированных электродов и их соответствие зарубежным аналогам;
- высказать, по каким сварочно-технологическим свойствам отечественные электроды уступают зарубежным;
- оценить, насколько существующая номенклатура и сортамент обеспечивают необходимые нужды и какими свойствами должны обладать сварочные электроды;
- указать основных поставщиков сварочных электродов.

Ответы получены от 14 предприятий и они продолжают поступать.

По результатам длительного опыта применения электродов отечественного и зарубежного производства высказаны следующие замечания:

- затруднено зажигание и стабильное горение дуги, особенно повторное;
- повышенное разбрызгивание электродного металла (доходит до 10 %, у импортных — 2);
- отделимость шлаковой корки в разделке затруднена;
- высокая тугоплавкость обмазки и склонность к образованию козырьков;
- высокая нестабильность химического состава и механических свойств, последнее особенно заметно при испытаниях на  $-60$  °С;

— электроды УОНИ-13/55 обеспечивают нужную ударную вязкость только до  $-30$  °С (на образцах с круглым надрезом), а требуется обеспечить ее при температурах  $-50...60$  °С на образцах с острым надрезом;

— расход электродов на 1 кг наплавленного металла доходит до 1,7 кг (в некоторых партиях 1,8), у импортных этот показатель не превышает 1,4 кг.

Обобщение и анализ замечаний позволяет предположить, что при составлении рецептур покрытий электродов не учитываются следующие процессы:

- взаимодействие отдельных составляющих покрытий между собой и системы в целом;
- влияние компонентов на структурные изменения наплавленного металла;
- процессы, происходящие в зоне дуги.

На качество покрытий оказывают также влияние:

- отсутствие нормативов на сварочно-технологические свойства электродов и единой методики их определения;
- отсутствие новых технологий и пособий по производству электродов;
- пренебрежительное отношение к железному порошку как к наполнителю, а не равноценному компоненту покрытия;
- недостаточное распространение и внедрение в производство целлюлозных электродов типа Э42 и Э46 вместо рutilовых.

Кроме того, не ведутся работы по совершенствованию обмазочных камер электрообмазочных прессов, отечественные электроды уступают зарубежным аналогам по сварочно-технологическим свойствам (эксцентричность, козырек, откалывание обмазки в процессе сварки). Было высказано пожелание, чтобы отечественные электроды обеспечивали «мягкое» горение сварочной дуги, хорошо формировался сварочный мелкочешуйчатый шов, легко отделялась шлаковая корка при малом разбрызгивании металла. Необходимо обратиться к производителям с целью организации производства высококачественных электродов с основным типом покрытия для сварки во всех пространственных положениях, отдельно: для сварки корня шва диаметром 2,5...3 мм; для выполнения заполняющих швов с высокими механическими свойствами наплавленного металла (для этого пригодится УОНИ-13/55); для выполнения облицовочных швов, дающих минимальное разбрызгивание и хороший декоративный вид шва.

Таблица 3. Сравнительная характеристика сварочно-технологических показателей электродов стран СНГ и развитых зарубежных стран

№ п/п	Наименование свойств (показателей) сварочных электродов	Страны СНГ	Развитые страны
1	Стабильность горения дуги	Удовлетворительная	Хорошая
2	Жесткость дуги при горении	Дуга горит жестко, в связи с низкой стабильностью не обеспечивает сварку в трудных пространственных положениях и условиях	Дуга горит мягко, эластично, легко удерживается и управляется при сварке в любых пространственных положениях
3	Разбрызгивание при сварке	Достаточно высокое	Низкое
4	Шум, издаваемый дугой при горении	Высокий	Низкий
5	Растекание шлака и формирование шва	Часто неудовлетворительное	Всегда хорошее
6	Плавление обмазки электродов	Удовлетворительное	Хорошее
7	Отделимость шлаковой корки	Не всегда удовлетворительная	Только хорошая
8	Коэффициент наплавки	В зависимости от марки электродов выдерживается	В зависимости от марки и назначения электродов выдерживается
9	Внешний вид и маркировка	Удовлетворительный, маркировка выполняется не всеми производителями	Хороший, маркировка достаточно подробная на всех электродах
10	Упаковка электродов	Не всегда удовлетворительная	Только хорошая

Поставки отечественных электродов имеют следующие недостатки:

- отсутствие герметической упаковки (полиэтилена) на упаковке пачек или коробках, идентификационной маркировки на электродах;
- невыдерживание требований на ограничение по разнотолщинности нанесенной обмазки;
- непостоянство качества изготовления электродов одной и той же марки одним и тем же заводом-изготовителем (разные партии значительно отличаются своими сварочно-технологическими свойствами).

В погоне за прибылью многие электродные производства заменяют качественные компоненты менее качественными (например, рутил ильменитом и др.), что не позволяет достичь необходимых показателей сварочно-технологических свойств электродов (стабильности горения дуги, низкого разбрызгивания, удовлетворительного формирования валика шва). Сварные швы в ряде случаев имеют неудовлетворительные механические свойства, содержат значительное количество шлаковых включений (особенно при сварке корневых швов трубопроводов и металлоконструкций).

Устаревшие требования ГОСТ на электроды, низкий уровень разработки ТУ, замена качественных компонентов менее качественными приводит к тому, что сертификация электродов не вносит существенных изменений в повышение качества, поскольку при сертификации третья (независимая) сторона руководствуется требованиями тех же ТУ и ГОСТов. В результате на электроды, несоответствующие международным требованиям, выдаются сертификаты соответствия как на продукцию

хорошего качества. Таким образом, сертификация электродов в ряде случаев является «ширмой», прикрывающей либо низкое качество, либо откровенный брак.

Любое производство, выпускающее электроды, готовую шихту, компоненты, проволоку для изготовления стержней и т. д., должно быть аккредитовано и иметь сертификат на систему качества по ISO-9000, что обеспечивает постоянно стабильное качество продукции. Опыт работы и внедрения такой системы, например АОЗТ «ЭЛЗ» (С.-Петербург) показал, что хотя это нелегкий путь, но он должен быть пройден каждым производителем для получения конкурентоспособных качественных электродов.

Как правило, зарубежные электроды, выпускаемые фирмами развитых стран (Германия, Швеция, США, Япония и др.), лучше по качеству электродов, выпускаемых странами СНГ главным образом по сварочно-технологическим показателям. Сравнительная характеристика некоторых показателей сварочно-технологических свойств электродов в СНГ и развитых странах представлена в табл. 3.

К высказываниям предприятий и потребителей сварочных электродов необходимо отнестись критически, взвешенно и серьезно. Они выразили свою обеспокоенность относительно качества электродов. И наша задача обеспечить потребителей конкурентоспособной продукцией.

Предложения по улучшению ситуации будут обобщены и проанализированы, когда накопится достаточно данных.

Volumes of production of welding consumables in some CIS countries in the last years are given. Issues associated with improvement of quality of development, manufacture and deliveries of covered electrodes are considered.

Поступила в редакцию 17.07.2002



## СТАНДАРТЫ ИСО СЕРИИ 9000:2000 — БАЗИС ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

А. Е. МАРЧЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены назначение, причины разработки и особенности построения новой редакции международных и национальных стандартов ИСО серии 9000, а также регламентированные ими ключевые принципы современного менеджмента качества, представляющие интерес для производителей сварочных электродов. Проанализированы показатели качества электродов и их производство как объекты менеджмента качества по стандартам ИСО серии 9000:2000. Предложена программа действий, выполнение которой будет способствовать стабилизации и улучшению экономического положения отечественных предприятий, изготавливающих электроды.

Под качеством сварочных электродов обычно понимают технико-экономический уровень их разработки, технологические, а также материально-технические и организационно-методологические возможности его обеспечения при промышленном производстве этого вида продукции.

Международные стандарты ИСО серии 9000:2000 именно и являются тем эффективным организационно-методологическим инструментом, который, по нашему мнению, в умелых руках современных менеджеров электродного производства позволит получить хорошие результаты в достижении качества продукции при условии, что другие названные выше ресурсы обеспечения качества уже задействованы и используются в полной мере. Более того, эффективность и результативность использования указанных ресурсов можно существенно повысить именно благодаря введению в действие побудительно-правовых и организационно-технических рычагов управления качеством, предусмотренных методологией стандартов ИСО серии 9000.

Новые версии международных и принятых на их основе национальных стандартов указанных серий [1–6], как и две предыдущие их редакции, рассчитаны на применение в производстве любых видов продукции и предприятиями (организациями) всех возможных размеров и форм собственности.

В стандарте ИСО 9000:2000 изложены принципы, на которых зиждется эта идеология, и дан словарь терминов менеджмента качества, проводимого по новой версии стандартов. Стандарт ИСО 9001:2000 регламентирует требования к системам менеджмента качества (СМК): они ориентированы на удовлетворение интересов потребителей и используются при сертификации. Стандарт ИСО 9004:2000 является руководством по улучшению качества. Он ориентирован на непрерывное улучшение производства и СМК (конечная цель — японская модель TQM) и призван способствовать достижению делового совершенства предприятия в сфере качества.

Разумеется, на территории каждого суверенного государства могут применяться только националь-

ные стандарты, в том числе относящиеся к сфере менеджмента качества. Форма применения стандартов может быть прямой или опосредствованной, т. е. через промежуточные стандарты, учитывающие специфику конкретных видов производства. Так, например, сварочное производство в основном состоит из специальных процессов (термин, используемый в стандартах ИСО серии 9000). В ходе их осуществления нет технической возможности непосредственно оценить действительное качество продукции, его обеспечивают благодаря обученному квалифицированному и опытному персоналу, использованию технически совершенного и отлаженного оборудования, тщательному исполнению предписанных производственных и организационно-технических процедур, а также скрупулезному надзору за их осуществлением.

В Украине роль государственного стандарта, с помощью которого будут увязываться внутренние (специальные) требования к управлению качеством сварки с общими требованиями к менеджменту качества по ДСТУ ISO 9001 (в том числе при самодекларации и сертификации) будет выполнять ДСТУ ISO 3834, в Европе — EN 729, на международном уровне — стандарты ISO 3834 [7–9].

В тех случаях, когда требования к управлению качеством и системам качества имеют исключительно детерминированный характер, требования стандартов ИСО серии 9000 принимаются как минимально необходимые и обязательно дополняются требованиями стандартов или равноценных им по статусу нормативных документов, полностью учитывающих специфику конкретных видов продукции и их производства. Так, в автомобильной промышленности зарубежных стран наряду со стандартами ISO серии 9000 функционируют стандарты QS серии 9000, принятые по предложению пятерки известных автомобилестроительных фирм (на смену им готовят международный документ ISO/TS 16949). На рынке медицинской техники действует стандарт ISO 13485, на рынке нефтегазового оборудования — стандарты API, в сфере оборудования для атомной энергетики — нормы МАГАТЭ. Имеются международные стандарты на системы качества в аэрокосмической, телекоммуникационной сфере, пищевой промышленности и

др. Задолго до появления стандартов ИСО серии 9000 система качества, разработанная по своим внутриведомственным нормам, функционировала на предприятиях РКК «Энергия» им. С. П. Королева.

В электродном производстве количество специальных процессов очень ограничено, а требования к системам качества за редкими исключениями не столь детерминированы. Поэтому менеджмент качества можно осуществлять посредством прямого применения стандартов ИСО 9000:2000 с объявлением конкретных процедур, которые исполняются в режиме специальных. Это важный момент с точки зрения удешевления создания и обеспечения функционирования систем качества.

Существует, по крайней мере, три причины для достижения благоприятных экономических результатов (прагматические, экономические, технические), обусловившие необходимость перехода на новые версии стандартов ИСО серии 9000 [10].

Сегодня прежние редакции указанных стандартов признаны и широко используются во многих странах мира. Более 350 тыс. СМК, соответствующих положениям предыдущих редакций стандартов, сертифицированы [10–12]. Но, если в 1980-х годах сертификация обеспечивала предприятиям определенные конкурентные преимущества, то к концу 1990-х годов эти преимущества и инвестиции в рассматриваемую сферу деятельности становились все менее эффективными. А именно, с прагматических позиций стандарты ИСО серии 9000 перестали удовлетворять пользователей, поскольку не отражали современные тенденции развития менеджмента. Полагаю, что в новом варианте стандарты снова станут катализатором этой деятельности, в том числе и в электродном производстве.

Структура прежних стандартов базировалась на элементном подходе и включала 20 обязательных видов деятельности в сфере качества, каждый из которых считался таким же важным, как и все остальные. Формально это требовало распределения ресурсов, в том числе финансовых, которых, как правило, всегда не хватает, одновременно по всем 20 элементам СМК, что на практике понижало результативность и эффективность управления качеством. Новая редакция стандартов предоставляет возможность концентрировать ресурсы в нужное время на ключевых процессах, которые в экономическом отношении в данный момент являются самыми значимыми. Это положение очень важно для электродного производства, в котором достаточно много технологических операций разной отраслевой ориентации — метизно-металлургической, химико-технологической, горно-обогатительной и др. Техническое и организационное совершенствование этих многочисленных операций также должно проводиться по принципу выделения приоритетов.

Теоретические причины пока в меньшей мере, чем выше названные, касаются нашего производителя, но в будущем, несомненно, станут важными для них, поскольку играют значительную роль в совершенствовании организационной структуры

предприятия. Эволюцию организационных структур в менеджменте качества обычно представляют как результат постоянного поиска оптимальных сочетаний иерархической (системно-дифференцированной, или линейной) и матричной (системно-интегрированной, или многофункциональной) структур управления. В первом варианте сам принцип иерархичности требует, чтобы вертикальные управленческие связи были много прочнее горизонтальных межфункциональных взаимодействий. Это традиционная для нас схема. Во втором, современном, варианте вертикальные связи предельно упрощены, хотя в какой-то степени и сохранены, а управление осуществляется преимущественно по кросс-функциональным горизонталям, и это обеспечивает организации маневренность и динамизм. На смену стилю управления по принципу «как делать» приходит иной стиль — действие на результат («что должно быть получено»). В последнее время для каждого конкретного производства и конкретной выпускаемой продукции стараются подобрать оптимальное сочетание этих видов организации и обеспечить таким образом разумный консерватизм и нужную гибкость СМК при минимальных затратах на реструктуризацию, необходимую для постоянной приспособляемости к быстрым изменениям внешней среды. На крупных производствах это достигается включением в постоянно функционирующую схему элементов управления по конкретным заказам. Об этом так называемом проектном стиле управления подробно описано в работе [13].

Архитектура стандартов ИСО серии 9000:2000, как и регламентируемая ими конфигурация СМК, многослойна и включает по меньшей мере три основные структуры [14].

В структуре внешних и внутренних взаимоотношений задействованы потребители продукции, персонал предприятия, его поставщики и партнеры, собственники, кредиторы, администрация региона, государство и общество в целом. Каждая из перечисленных сторон, в принципе, должна быть заинтересована в технически успешной и экономически эффективной производственной деятельности предприятия, поскольку с этим связано постоянное трудоустройство работников, социальное благополучие персонала, налоговые поступления в бюджет, дивиденды акционеров и кредиторов, экологическая безопасность продукции и производства для окружающей среды. В модели СМК, представленной на рис. 1, внешние взаимоотношения показаны слева и справа от конфигурационного круга.

Продукция электродных предприятий полностью состоит из закупаемого сырья и материалов. Качество, своевременность и регулярность поставок существенно влияют на эффективность производства, характеристики и степень конкурентоспособности электродов.

Используемые в изготовлении продукции и объектов ответственного назначения электроды несомненно влияют на их эксплуатационную надежность и работоспособность. Регулярно выигрывать тендеры на поставки и всегда оставаться в числе



Рис. 1. Модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе

исполнителей заказов столь ответственных потребителей — очень заманчивая перспектива для любого предприятия.

Наконец, и электроды, и их производство относятся к объектам повышенного риска. Постоянная демонстрация заказчикам электродов, региональным экологическим службам и здравоохранительным органам намерений и действий, имеющих цель — снижение указанного риска, должны стать важными элементами деятельности электродных предприятий.

Все примеры показывают, насколько важно и необходимо выстроить на партнерских началах взаимоотношения электродных предприятий с внешними заказчиками и поставщиками. Сделать так, значит, во многом определить свою экономическую стабильность, конкурентоспособность продукции и производства. Стандарты ИСО серии 9000:2000 предписывают именно такие взаимоотношения, выработанные в течение многих лет международной теорией и практикой менеджмента качества продукции и услуг. Детальное изложение и анализ опыта, результаты которого, несомненно, будут полезны для руководителей электродных предприятий, приведены в работе [15].

Вместе с тем, взаимоотношения подразделений и служб электродных предприятий, задействованных во внутренних производственных и функциональных процессах (на рис. 1 они размещены в пределах конфигурационного круга), в соответствии с этим подходом также следует рассматривать как взаимоотношения поставщиков и потребителей. Такая субординация без вмешательства свыше должна повысить взаимную ответственность руководителей и исполнителей кросс-функциональных подразделений, а также эффективность и результативность их деятельности в сфере качества.

Технологическая структура менеджмента качества обычно представляет собой управленческий цикл Э. Деминга — PDCA (аббревиатура английских слов «планировать, делать, проверять, действовать»). С помощью рис. 1 можно убедиться, что в соответствии с этим циклом (пусть и не в столь явном виде, как вначале задумывали раз-

работчики стандарта, а посредством осуществления последовательности непрерывно чередующихся циклов улучшения) выстроены четыре основных раздела каждого из входящих в системную пару стандартов ИСО серии 9000: ответственность руководства; менеджмент ресурсов; выпуск продукции; измерение, анализ и улучшение. Все виды деятельности, регламентированные каждым из перечисленных разделов стандартов, в том числе и упомянутые выше кросс-функциональные взаимодействия подразделений, также осуществляются в соответствии с циклом PDCA.

При таком подходе ни в коей мере не дублируется, а скорее, структурируется каждая составляющая цикла вдоль иерархической вертикали — от глобального (стратегического) на верхнем, до оператив-

но детализированного на линейном горизонте управления. Так, стратегическое планирование, осуществляемое высшим руководством предприятия, имеет целью разработать и довести до персонала миссию, видение, цели, политику и базовые ценности предприятия в области качества. На среднем (тактическом) уровне планируют ресурсы, логистику поставок, бенчмаркинг, объемы и сроки работ по конкретным видам продукции, заказам, контрактам. Оперативное планирование (помесячное, подекадное, посменное и т. д.) осуществляют по конкретным участкам производства.

Структура жизненного цикла продукции (ЖЦП), т. е. собственно ее производство, регламентируется ключевым разделом стандарта «Выпуск продукции». Сюда входят маркетинг, разработка, закупки, производство, транспортирование и пр., вплоть до утилизации остатков после использования продукции. Формат прежних версий стандартов ИСО серии 9000 представлялся именно в виде ЖЦП (20 элементов СМК), поэтому производитель электродов хорошо известен. В полезности и продуктивности этой системообразующей структуры СМК имели возможность убедиться те предприятия изготовляющие электроды, в которых продолжают пока функционировать СМК, созданные согласно прежним стандартам. Во взаимодействии с остальными названными системообразующими структурами она приобретает динамизм — из плоского, постоянно воспроизводимого кольца элементов, превращается в восходящую, состоящую из них спираль улучшения, каждый новый виток которой осуществляется на все более высоком уровне.

Следует помнить, что и каждая стадия ЖЦП выполняется по циклу PDCA.

Все системообразующие структуры менеджмента качества имеют общую информационную среду, они как бы погружены в систему информационного обеспечения соответствующих процессов [16]. Здесь имеется в виду техническая документация на СМК, ресурсы, продукция, процессы, а также на процедуры измерения, анализа и улучшения.

Требования к документации в новых стандартах предельно упрощены. Документироваться в обя-



зательном порядке должны только те процедуры, которые подлежат оцениванию при сертификации СМК. Это управление документацией и отчетами, внутренний аудит, управление продукцией, не соответствующей требованиям, исправление и предупреждение дефектов. Документально оформляют также политику и цели в сфере качества и руководство по качеству (описание СМК). Документированной считается процедура, которая разработана, документально оформлена, внедрена и поддерживается в рабочем (актуализированном) состоянии. Включение других документов оставляется на усмотрение высших руководителей и ставит цель поддерживать на должном уровне информационный потенциал предприятия. При этом следует иметь в виду, что аудиту при сертификации подлежат все, изложенное в работе [17].

В новой версии стандартов внутренних документов документы СМК систематизированы строже и логичнее (рис. 2). В них выделены документы внешнего (обязательные для исполнения в любом случае) и внутреннего происхождения (исполняются и рассматриваются при сертификации, если включены дополнительно к обязательным). Расширена номенклатура целеобразующих документов. Процедурные документы, в том числе касающиеся статистического регулирования процессов, сгруппированы по разделам стандартов и нацелены на осуществление основных их принципов.

Причины появления и суть этих принципов, которыми придется овладеть персоналу электродных предприятий, а также требования, которые следует выполнять, описаны в работах [18–20].

В соответствии с принципом ориентации на потребителя заказчик становится главным лицом в бизнесе. Предприятия рыночной ориентации должны знать, уметь предугадать и исполнить лучшим образом его требования. Поэтому на проведение и результаты маркетинговых исследований делают ставку на протяжении всего ЖЦП.

Согласно принципу — лидерство или ведущая роль руководства, руководитель-администратор должен стать лидером в лучшем смысле этого слова. Это одна из основных предпосылок успеха предприятия в бизнесе. Без руководителя-лидера невозможно выстроить гибкую и динамичную организационную структуру предприятия, создать неформальные целеобразующие документы, мобилизовать и увлечь персонал на достижение успеха: чем больше персонал действует во благо предприятия, тем шире открываются перед ним перспективы.

Со своей стороны высшее руководство относится к персоналу как к самому главному своему капиталу, морально и материально мотивирует его деятельность, творческий труд, а не добивается слепого повиновения и исполнения. Для этого руководство обучает, повышает квалификацию персонала, привлекает его к участию в управлении (парсипативный стиль руководства); всецело доверяя, руководство делегирует часть своих полномочий на более низкие ступени управления, при этом сохраняет за собой ответственность за ре-

зультат. В этом и заключается смысл принципа вовлечения людей.

Принцип процессного подхода давно применяется в электродном производстве в виде взаимосвязанных технологических операций, каждая из которых имеет вход и выход [21]. Новые стандарты не изменяют этой ситуации, если над здравым смыслом не возобладает формалистический подход. Процесс для нормального функционирования должен иметь полную организационную и хозяйственную автономию. Это значит, что входом и выходом операций, а также и полным информационным обеспечением надо предусмотреть, чтобы руководитель располагал нужными обеспечивающими средствами (материально-техническими, энергетическими ресурсами, ремонтом и др.), иначе его управляющая роль сведется к голому администрированию [22]. Чтобы достичь такой степени автономности необходима кардинальная перестройка, к которой, особенно в крупных производствах, еще не готовы.

Принцип системного подхода впервые использовался в КС УКП [23], а затем развит в прежних стандартах ИСО серии 9000. Он объединяет все процессы в единую систему, в рамках которой планируют, выполняют работу по качеству, оценивают ее результаты, координируют действия подразделений, нацеленных на запланированный результат. Этот принцип также хорошо известен производителям электродов, у которых были СМК предыдущих поколений.

Принцип постоянного улучшения должен использоваться применительно к организационной структуре предприятия, производству, продукции, персоналу и самой СМК. Тогда действительно постоянно будут удовлетворяться запросы и ожидания заказчиков и других заинтересованных сторон, а предприятие обретет гибкость, а значит и живучесть, в условиях быстро изменяющегося и далеко не комфортного по отношению к нему внешнего рыночного окружения.

Принятие решений на основе фактов — это еще один принцип стандартов ИСО. Он напрочь исключает возможность использования волюнтаристских приемов управления в сфере качества. Факты, необходимые для обоснования и принятия решений, — это, как правило, результаты статистической обработки и оценки данных, накопленных в ходе систематических наблюдений, процедур контроля и испытаний, выполненных на всех предшествующих этапах производственной и управленческой деятельности. В таких решениях, принимаемых подготовленными и способными статистически мыслить менеджерами, несомненно, намного меньше шансов допустить ошибки [24–26]. Ренессанс статистических методов в новой версии стандартов ИСО серии 9000 тем более очевиден, что они в сочетании с рассматриваемым принципом одновременно становятся ключевым инструментом непрерывного улучшения продукции и процессов, о чем уже шла речь выше.

Наконец, по новому стандарту отношения с поставщиками сориентированы на обязательную взаимную выгоду. Тем самым заказчику предос-

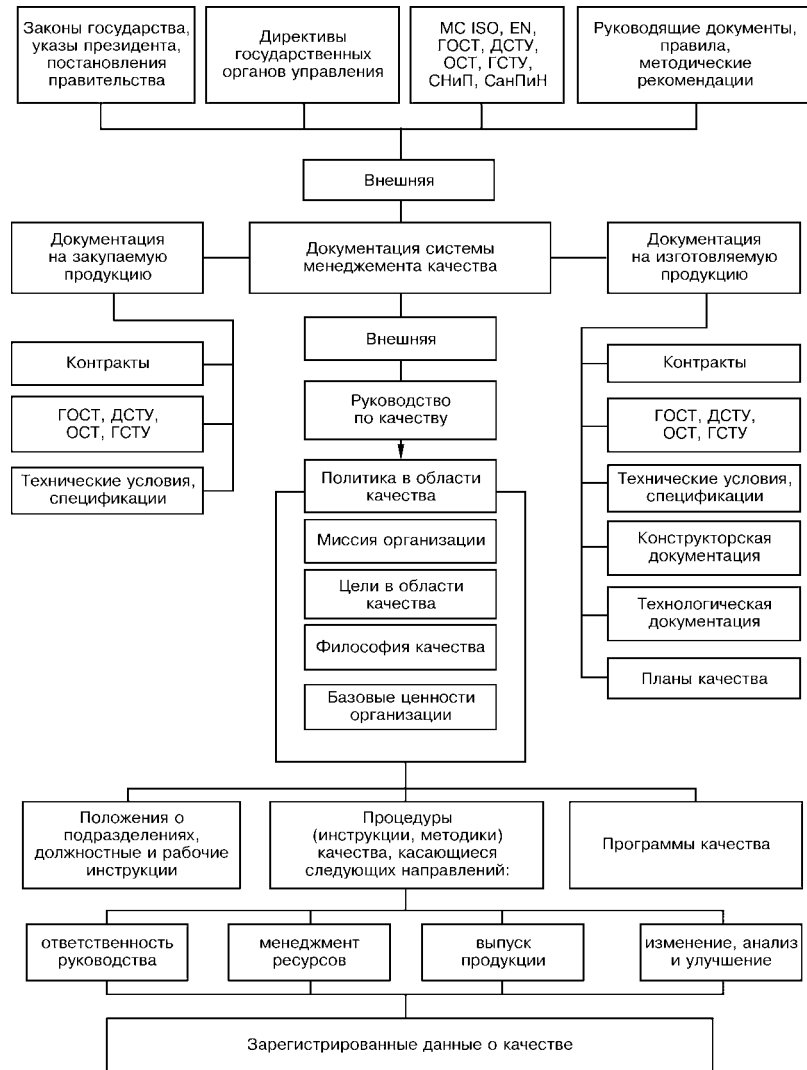


Рис. 2. Структура документации системы менеджмента качества [17]

тавляется полная свобода действий в выборе поставщиков. Этот принцип рассмотрен на примере поставок электродов в [27], к сожалению, без поправок на специфику сварочного производства. Поставщиков сварочных материалов для объектов ответственного назначения начинают выбирать еще на стадии их проектирования. Технология сварки апробируется с применением выбранных сварочных материалов по специальной программе и в случае положительных результатов аттестуется и включается в нормативный документ. Непосредственный же исполнитель проекта ограничен в свободе выбора поставщиков и может иметь дело только с теми из них, которые оговорены в нормализации (см., например, [28]). Аналогично поступают в случае детерминированных технологий, пусть даже не использующих сварку. Если электродное предприятие имеет намерение поставлять продукцию подобным заказчикам, оно может в целях экономии средств совмещать сертификацию СМК по ИСО серии 9000 с аттестацией продукции по специальным требованиям. Последние же можно включать по согласованию с надзорным органом в документацию СМК, например, в виде дополнительного самостоятельного раздела.

Изготовители электродов в выборе поставщиков сырья также ограничены предписаниями нормативной документации. Нередко в ней оговариваются даже месторождения сырья, и эти требования должны приниматься в расчет при его закупках.

Характеристики качества электродов в связи с новыми стандартами также нуждаются в обсуждении. Ограничимся пока только рассмотрением технических, которые можно разделить на три категории [29].

Нормативные показатели характеризуют важнейшие потребительские свойства, которые определяют пригодность применения электродов в той или иной сфере производства. Эти показатели регламентируются государственными стандартами и равными им по статусу нормативными документами. К такой категории относятся показатели назначения (включая тип электродов, свойства и химический состав швов и наплавленного металла), а также эффективности использования (производительность, санитарно-гигиенические характеристики, безопасность и др.).

Объективные характеристики позволяют достичь нормативных показателей и обеспечить изготовление электродов с необходимыми показате-

лями (размеры, химический состав, физико-химические показатели типа прочности покрытия, допуски на отклонения в размерах и др.). Объектовые характеристики регламентируются в документации разработчика и технологических документах, которые на ее основе выпускает изготовитель. К ним можно отнести характеристики исходных материалов, заготовок, промежуточных видов продукции.

Показатели дефектности характеризуют виды и количество дефектов (а именно, отклонений от заданных объектовых показателей), допустимых или недопустимых к исправлению. Они регламентируются в документах разработчика. Отклонения на уровне несоответствий могут регламентироваться в документации изготовителя. Различие между терминами трактуется в стандарте ИСО серии 9000:2000.

Объектовые и дефектные показатели — это непосредственные объекты управления и предметы контроля при производстве электродов. Задачами управления являются выбор номенклатуры показателей для управления (поддержание необходимого уровня качества, создание нового объекта качества, обеспечение качества для удовлетворения запросов потребителя при доступной цене) и достижения этих целей каждый раз на новом витке спирали постоянного улучшения.

Особенность электродов как продукции, качеством которой нужно управлять при изготовлении, состоит в том, что большинство показателей их качества (включая уровень дефектности) регламентируются нормативной документацией государственного уровня и разработчика. В Украине они включены в список видов продукции, подлежащих обязательной сертификации третьей (независимой) стороной. Показатель качества, назначаемый потребителем в контрактных ситуациях, не может быть хуже оговоренного в нормативных документах.

Украина так же, как и Россия, существенно отстает от стран с рыночной экономикой в разработке и использовании методов менеджмента качества по стандартам ИСО серии 9000. Количество разработанных и сертифицированных СМК на несколько порядков меньше, чем в странах Европы, в Японии и США. Одна из причин состоит в том, что до сих пор не осознаны экономические выгоды современных методов менеджмента качества и их огромное значение в обеспечении выживания, стабилизации положения и достижении достаточной степени конкурентоспособности продукции и предприятий в кризисных ситуациях, которые раньше всех продемонстрировала Япония, а недавно еще страны Азии («азиатские тигры») и Латинской Америки. Проблемы, с которыми встречаются энтузиасты, решившие идти по этому пути, на примере российских предприятий проанализированы в работе [22]. Здесь же предлагается программа оздоровления, которая, несомненно, может заинтересовать и производителей электродов. К ее выполнению следует приступить после наведения элементарного порядка на производстве. Она может осуществляться следующими путями:

проведение измерений и анализа уровня несоответствий в собственном производстве;

проведение анализа и классификации выявленных несоответствий по причинам, значимости, месту возникновения и виду (технические, исполнительские, организационные);

мотивация понижения уровня несоответствий; согласование возможностей производства с требованиями технической и технологической документации на продукцию;

разработка программ понижения количества несоответствий на заводском (цеховом) уровне, внедрение статистического регулирования процессов (операций) по контрольным картам;

построение производственных отношений подразделений по схеме поставщик—потребитель и принятие декларации прав внутреннего потребителя;

создание документированной СМК, соответствующей положениям стандартов ИСО серии 9000:2000 и нацеленной на постоянное улучшение;

налаживание современной системы взаимоотношений с внешними поставщиками.

Прежде, чем задействовать такую программу, руководитель предприятия должен на деле стать убежденным лидером намечаемых преобразований, обучиться самому и обучить свое непосредственное окружение основам менеджмента качества. Возможности для этого в настоящее время неограниченные.

Межотраслевой учебно-аттестационный центр ИЭС им. Е. О. Патона (МУАЦ) в мае 2001 г. провел первый семинар руководителей электродных предприятий по СМК. Тексты лекций изданы отдельным сборником [30]. В будущем такие семинары планируется проводить регулярно.

В июне 2002 г. МУАЦ совместно с Учебно-исследовательским институтом сварочной техники в Мекленбург-Фельпоммерне (ФРГ) обучил в Киеве по 112-часовой программе и аттестовал первую группу внутренних аудиторов СМК. Слушатели получили аттестаты «Менеджер качества» европейского образца. Руководство МУАЦ намерено и впредь проводить обучение учебных групп по этой программе.

В течение более десяти лет в МУАЦ готовят и повышают квалификацию технологи электродного производства. В 112-часовой учебной программе 40 % времени отведено современному менеджменту качества в электродном производстве. По желанию количество часов для этого может быть увеличено.

Члены ассоциации «Электрод» на своих собраниях, научно-технических семинарах и конференциях регулярно анализируют проблемы в сфере качества производства электродов. При этом рассматриваются все аспекты — материально-техническое обеспечение, состояние разработок технологического оборудования, подготовка персонала, сертификация продукции и производства и др. Иными словами, ассоциация осуществляет интеграционные подходы к управлению качеством продукции, которые еще в 1990-е годы предлагал и внедрял Госстандарт для преодоления барьеров, возникших вследствие распада единого хозяйственного механизма.



Изучается и анализируется опыт предприятий-членов ассоциации, лидирующих в разработке и использовании СМК. Пусть даже это не полностью соответствует изложенной выше программе, но их результаты были успешными. Некоторые из указанных предприятий работают по заказам ответственных потребителей [31, 32]. И это вселяет оптимизм при оценке перспектив освоения приемов менеджмента качества по стандартам ИСО серии 9000 и на других предприятиях, входящих в состав ассоциации «Электрод». Естественно, мощность, организационные особенности, финансово-технические возможности и текущее состояние производства этих предприятий скажутся на отдельных деталях программы и продолжительности ее выполнения. Но положительный результат, несомненно, будет достигнут.

При осуществлении программы обязательно возникает вопрос о степени участия в разработке документации СМК консультантов, которые приглашаются со стороны. Опыт других производств показал, что без их участия создать действенную СМК в нужные сроки вряд ли удастся. Профессиональное участие внешнего ведущего необходимо и важно для умелой диагностики производства, точного выбора, планирования и последующего поэтапного осуществления действий, в том числе и по «тонкой настройке» требований стандартов ИСО серии 9000 на условия работы конкретного предприятия (вплоть до конкретных рабочих мест). Для этого он должен в совершенстве владеть методологией указанных стандартов и досконально знать особенности производства этого предприятия. Он будет незаменим при обучении персонала общим «правилам игры», координации и согласовании результатов действий исполнителей-производственников, разрабатывающих документацию СМК, необходим для постоянной страховки от нулевого технического результата на финишном этапе разработки. Выбирая консультантов (за рубежом их уважительно именуют советниками), заказчик вправе рассчитывать на минимальный риск непрохождения предсертификационного аудита, доступную цену предоставляемой услуги и приемлемый срок. Последний должен составлять 1,5...2,0 года, иначе разработка устареет и станет невыгодной.

Сегодня в Украине и России освоена лишь формальная сторона сертификации по разработанной документации СМК. Отсюда возникает соблазн пригласить для консультаций тех, кто, пусть даже формально, но в совершенстве знает требования к документации СМК, т. е. аудиторов органов сертификации или иностранных сертифицирующих организаций. Такие примеры есть и в странах СНГ, и в странах с рыночной экономикой, в том числе в приложении к предприятиям, изготавливающим сварочные материалы.

В настоящий момент не существует юридических ограничений на разработку и сертифицирование СМК на одном предприятии одной и той же организацией (если даже эти действия от ее имени исполняют разные лица, являющиеся ее сотрудниками, или одно и то же лицо, состоящее

одновременно на службе в разных ее подразделениях). Однако такие действия осуждают профессионалы-системщики по ряду причин [33–36], указанных ниже.

Правила сертификации третьей (независимой) стороной, в принципе, не допускают такое совмещение, поскольку нельзя назвать независимой сторону, если она консультирует разработку, которую впоследствии намерена сертифицировать.

Велика вероятность того, что в результате таких действий вместо «действенной помощи по улучшению здоровья», столь важной для преодоления кризиса и приобретения стабильного положения на рынке, предприятие получит «формальную справку в виде сертификата соответствия о том, что оно уже «здорово» [22].

Не следует рассчитывать на то, что разработанная и сертифицированная таким способом СМК на деле станет эффективной и результативной, поскольку, как свидетельствует опыт, количество преимуществ, которые предприятие ожидает получить от сертификации, пропорционально усилиям, вложенным персоналом в ее разработку. Документация СМК должна быть создана в организации и именно теми людьми, которые будут ею пользоваться. В процессе разработки документации они анализируют состояние, ищут и устраняют причины несоответствий, совершенствуют структуру управления и технологию производства, при этом учитывают реалии своего предприятия и т. д. Хорошо, если советник сумеет вести диалог с ними на понятном им профессиональном языке.

Опасно возникновение «гонки к сертификации». Не касаясь других причин этого явления, обсуждаемых в работе [37], обратим внимание на то, что лица, занимающиеся одновременно и разработкой, и сертификацией СМК, больше всех заинтересованы в положительном и быстром окончании работы. Они будут стремиться опередить друг друга в проведении сертификации, даже без учета готовности персонала применять СМК. Не столь вреден избыток сертификатов (хотя нам до этого еще очень далеко), сколько появление безликих, легковесных, созданных по шаблону и похожих как близнецы одна на другую СМК. Существует опасение, что их может постигнуть участь КС УКП, создававшихся по единым рецептам из одного, пусть даже высококвалифицированного центра. При использовании подходов, основанных на совместительстве, трудно выполнить основополагающее требование — те, кто занимается качеством, должны всеми своими действиями демонстрировать образцы этики.

Менеджмент качества в электродном производстве прошел долгий путь развития [38]. Ассоциация «Электрод» имеет достаточный авторитет, организационные возможности и способна использовать момент перехода на новые версии стандартов ИСО серии 9000 как стимул для развертывания работы по качеству на новом этапе преодоления экономических трудностей и действительного повышения потенциала конкурентоспособности на рынке сварочных материалов.

1. *ДСТУ ISO 9000:2001*. Системи управління якістю. Основні положення та словник (ISO 9000:2000, IDT). — Чинний з 27.06.2001.
2. *ДСТУ ISO 9001:2001*. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2000, IDT). — Чинний з 27.06.2001.
3. *ДСТУ ISO 9004:2001*. Системи управління якістю. Наставни щодо поліпшення діяльності (ISO 9004:2000, IDT). — Чинний з 27.06.2001.
4. *ГОСТ Р ИСО 9000:2001*. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. — Введен 15.08.2001.
5. *ГОСТ Р ИСО 9001:2001*. Системы менеджмента качества. Требования. — Введен 15.08.2001.
6. *ГОСТ Р 9004:2001*. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. — Введен 15.08.2001.
7. *Проект ДСТУ ISO 3834. 2*. Требования к качеству сварки. Сварка плавлением металлических материалов. Ч. 2. Всесторонние требования к качеству (Окончат. ред.).
8. *Д. фон Хофе*. Обеспечение качества при производстве сварных изделий // Сб. тр. междунар. конф. «Сварка и родственные технологии 21-й век» (ноябрь 1998 г., Киев). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1998. — С. 262–267.
9. *Процедуры обеспечения качества сварки в системе качества по ИСО 9000* / А. И. Рожков, В. П. Зозенок, В. П. Кудинова и др. // Сварка и родственные технологии. — Минск: НИКТИ СиЗП, 2000. — Вып. 3. — С. 78–85.
10. *Рахлин К. М.* МС ИСО серии 9000:2000. Сущность и содержание процессного подхода // Стандарты и качество. — 2001. — № 1. — С. 45–47.
11. *Гуменков В. Ю.* Стандарт ИСО 9001:2000 — шаг вперед или в сторону // Там же. — № 5/6. — С. 68–67.
12. *Адашкина Н. О.* О стандартах ИСО 9000 из самого достоверного источника — из уст ИСО // Там же. — С. 66–67.
13. *Адлер Ю. П., Аронов И. З., Шнер В. Л.* Что век грядущий нам готовит? Менеджмент 21-го века — краткий обзор основных тенденций // Там же. — 1999. — № 3. — С. 52–60.
14. *Швец В. Е.* Основные направления совершенствования и структуры систем менеджмента качества на базе новых версий ИСО серии 9000:2000 // Созвездие качества 2000 (Материалы междунар. проекта). — Киев, 2000. — С. 62–70.
15. *Адлер Ю. П.* Возлюбите своих поставщиков // Поставщик и потребитель. Сер. Дом качества РИА. — 2000. — Вып. 5. — С. 6–34.
16. *Альперин Л.* Откройте новый мир качества // Стандарты и качество. — 2000. — № 10. — С. 52–59.
17. *Свиткин М. З.* Стандарты ИСО серии 9000 версии 2000 года: новые шаги в практике менеджмента качества // Там же. — № 12. — С. 56–60.
18. *Новая версия серии стандартов ИСО 9000* / Составители И. И. Чайка и Г. М. Цимбалист. — М.: Изд-во стандартов, 1999. — 20 с.
19. *Вест Д., Чифрани А., Цикалс Д.* Принципы менеджмента качества — основа семейства стандартов ИСО 9000:2000 // Стандарты и качество. — 2000. — № 7. — С. 74–77.
20. *Адлер Ю. П.* Восемь принципов, которые меняют мир // Там же. — 2001. — № 5. — С. 49–61.
21. *Гарник И. И.* Пооперационный контроль технологического процесса производства сварочных электродов // Автомат. сварка. — 1964. — № 9. — С. 86–89.
22. *Латидус В. А.* Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. — Гос. ун-т управления; Нац. фонд подготовки кадров. — М., 2000. — 432 с.
23. *Управление качеством продукции: Справочник* / Под ред. В. В. Бойцова и А. В. Гличева. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 464 с.
24. *Химмельблау Д.* Анализ процессов статистическими методами. — М.: Мир, 1973. — 958 с.
25. *Семь инструментов качества*. Сер. Качество, экономика, общество. Современные проблемы. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 88 с.
26. *Марченко А. Е., Котельчук А. С., Тараборкин Л. А.* Семь японских статистических инструментов качества в производстве сварочных электродов // Дуговая сварка. Материалы и качество на рубеже 21-го века: Сб. докл. 2-й междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ (4–8 июня 2001 г., Орел) — Орел, 2001. — С. 150–153.
27. *Проценко Н. А.* Выбор и оценка поставщиков сварочных материалов // Повышение эксплуатационной надежности линейной части магистральных газопроводов: Тез. докл. науч.-техн. семинара (12 марта 2002 г., Киев). — Киев, 2002. — С. 16–17.
28. *СП 105-34-96*. Свод правил по производству сварочных работ и контролю качества сварных соединений РАО «Газпром».
29. *Тавер Е. И.* Объект управления при управлении качеством // Стандарты и качество. — 2001. — № 2. — С. 72–73.
30. *Руководителю о системе менеджмента качества* // Материалы практического семинара руководителей предприятий-производителей сварочных материалов (24–25 апреля 2002, Киев). — Киев, 2001. — 50 с.
31. *Семедяев Б. В.* Внедрение системы качества на АО «Электродный завод» новый этап развития предприятия // Сварщик. — 1998. — № 3. — С. 26.
32. *Кусков Ю. В., Михеева Е. Н.* Стратегия планирования электродной фирмы. Электродное производство на пороге нового тысячелетия // Сб. материалов науч.-техн. семинара (22–26 мая 2000, Череповец). — Череповец, 2000. — С. 23–33.
33. *Латидус В. А.* Профессия — консультант качества. Опыт работы с промышленностью // Стандарты и качество. — 1999. — № 4. — С. 53–55.
34. *Подольский М. С.* Когда консультант приносит пользу клиенту // Там же. — 2000. — № 9. — С. 62–64.
35. *Дитор А. У.* Кто есть кто на рынке сертификационных и консалтинговых услуг в области качества // Там же. — 1999. — № 4. — С. 72–92.
36. *Плетнева Н. П.* Десять шагов на пути к успешной сертификации системы качества по ИСО 9000 // Там же. — № 2. — С. 56–58.
37. *Котти Г.* Эволюция международных стандартов по качеству и эволюция TQM // Там же. — 1997. — № 4. — С. 76–80.
38. *Марченко А. Е.* Опыт разработки и применения систем качества в отечественном и зарубежном электродном производстве // Руководителю о системе менеджмента качества: Материалы практического семинара руководителей предприятий-изготовителей сварочных материалов (24–25 апреля 2001 г., Киев). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2001. — С. 23–31.

Application, reasons for development and peculiarities of new editions of international and national ISO standards of series 9000, as well as key points of the modern quality management they specify, which are of interest for welding electrodes manufacturers, are considered. Indicators of quality of electrodes and their manufacture as object of the quality management in compliance with the ISO standards of series 9000:2000 are analysed. The program of actions is suggested, the fulfilment of which will promote survival, stabilisation and improvement of economic position of domestic electrode manufacturers.

Поступила в редакцию 09.09.2002



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

**В. В. СУЛИМА, М. И. КУЧЕРОВА**, инженеры (АОЗТ «Электродный завод», г. С.-Петербург, РФ)

На базе модели Исикавы проанализированы причинно-следственные связи при решении задачи обеспечения стабильного производства качественных электродов.

*Ключевые слова:* покрытые электроды, уровень качества, стабильность производства, оборудование, технология, персонал, документация

В данной статье понятие «качество» рассматривается не с точки зрения изготовителя (соответствие контролируемых показателей продукции параметрам нормативно-технической документации) и не в свете существующей декларации МС ISO 9000-1994 (удовлетворение требований потребителей), а с позиции сварочного участка. Тогда это определение будет примерно таким: сварочный электрод соответствует необходимому уровню качества, если сварное соединение, выполненное квалифицированным сварщиком по утвержденной технологии, на соответствующем и исправном оборудовании, с использованием данного конкретного электрода, отвечает регламентируемым требованиям.

Уровень качества сварочных электродов складывается из трех составляющих:

- качество разработки (параметры и свойства, заложенные при разработке данной марки);

- качество изготовления (соответствие параметров и свойств изготовленных электродов конкретной партии (замеса) регламентируемым для данной марки);

- стабильность (обеспечение постоянства параметров электродов данной марки при серийном или массовом выпуске).

По первой составляющей, которую условно можно назвать «качество разработанной марки электрода», необходимо отметить, что параметры и свойства закладывали, исходя из требований к сварным соединениям на момент начала разработки. Причем при установлении параметров и свойств учитывали уровень развития промышленности в части обеспечения оборудованием для производства электродов и выполнения сварки, уровень существующих технологий, сырьевую базу, экономические аспекты на момент разработки. Кроме того, следует учитывать, что большинство электродов было разработано еще в бывшем СССР. При этом существенно учитывались ведомственные интересы, т. е. для сварки практически одних и тех же сварных соединений разрабатывали различные, сравнительно мало или вообще не отличающиеся друг от друга марки электродов, которые (согласно отраслевым нормам, действующим по сей день) предназначены для использования в кон-

кретных отраслях, но при этом их аналоги того же типа к применению не допускаются.

Со временем из-за изменения перечисленных факторов качество разработки марки неизбежно начинает ухудшаться и на каком-то определенном уровне перестает удовлетворять существующим требованиям в целом или в отдельных отраслях. Примером может служить хорошо известная марка УОНИ-13/55, которая, по мнению специалистов ВНИИГаза, сегодня не отвечает отраслевым требованиям газозащитных к сварному соединению. Это мнение поддерживает и Госгортехнадзор. Качество разработки марки надо поддерживать периодическими модернизациями, а на определенном этапе заменой марки более совершенной. При этом общеизвестные названия менять не следует (как, например, это делает фирма ESAB). Учитывая большое разнообразие существующих марок электродов, с целью сокращения затрат и увеличения унификации сварочных материалов, имеет смысл перейти к внесению в отраслевые нормы не конкретных марок, а типов электродов, с дополнительным указанием специфических параметров. Это задача для сохранившихся институтов-разработчиков и пока еще сравнительно немногочисленной группы предприятий-изготовителей, которые ведут самостоятельные разработки и модернизацию марок электродов, а также и нашего завода. В связи с тем, что на сегодня многие отраслевые институты прекратили свое существование или не располагают необходимой базой, предприятиям-изготовителям, по-видимому, следует взять на себя как разработку, так и модернизацию марок электродов, тем более, что сварочные участки высказывают свои предложения и замечания именно изготовителям. Но если в регламентирующей документации указана конкретная марка электрода, то управление качеством разработки марки становится невозможным, и на первый план выступает соответствие показателей используемой партии (замеса) электродов требованиям документации на данную марку.

Ведущие российские производители организационно и технически способны обеспечить изготовление одной или нескольких партий электродов, полностью соответствующих нормативно-технической документации, при этом целый ряд показателей будет превосходить требования. Более того, электроды могут полностью отвечать установленным нормам международных и зарубежных стандартов

(ISO, EN, DIN, AWS). Эти партии электродов могут быть на полностью законном основании использованы при проведении работ по сертификации, получению разрешения на применение и т. п. одной или нескольких марок электродов. Наличие подтверждающего документа (с точки зрения рассматриваемого здесь понятия о качестве) необходимо, поскольку он свидетельствует о том, что предприятие-изготовитель может производить сварочные электроды высокого уровня качества, но недостаточно, так как конкретные проверенные партии данному потребителю могут и не попасть, а подтверждение того, что и другие поставляемые партии электродов данной марки не хуже проверенных, отсутствует. В этом случае на первый план выступает самый большой для изготовителя вопрос — обеспечение стабильного уровня качества сварочных электродов. Прежде всего, стабильность обеспечивается (независимо от желаний изготовителя) менеджментом качества, осуществляемым в той или иной форме. Но прежде, чем говорить о менеджменте качества, необходимо определить от чего зависит стабильность и какие конкретные действия при этом проводятся. Например, при использовании нами модели Исикавы для анализа причинно-следственной связи обеспечения стабильности производства сварочных электродов выяснилось, что основными факторами, влияющими на качество, являются исходное сырье и материалы, оборудование, технологии, персонал и документация.

**Исходное сырье и материалы.** Начавшееся несколько лет назад ухудшение качества сырья и материалов, поставляемых для нужд электродного производства, продолжается и сейчас. Более того, ряд необходимых материалов просто перешел в разряд дефицитных, а об их качестве не приходится и говорить. Применение импортных материалов не представляется возможным либо из-за их высокой стоимости, либо из-за запрещения их применения утвержденными рецептурами, и, наконец, ряд импортируемых материалов имеет несоответствующее качество.

В сложившейся ситуации предприятие пошло по следующему пути получения достоверных данных об истинном качестве конечной продукции:

- проведение входного контроля всех материалов, сырья и полуфабрикатов, используемых в электродном производстве;

- увеличение объема контроля (в том числе химического состава для углеродистой сварочной проволоки) и 100%-й контроль этого параметра для высоколегированной проволоки. Для контроля химического состава используется внесенный в Государственный реестр средств измерений спектроанализатор нового поколения (производства Германии) с выборочным контролем результатов по стандартным методикам химического анализа;

- дополнительный контроль ферроматериалов и основных компонентов электродных покрытий на содержание вредных примесей.

На основании полученных объективных данных реализуются следующие мероприятия:

- проведение работы с поставщиками по улучшению качества сырья и материалов, включая инспектирование у изготовителя. В случае, если положительный результат не достигнут, а поставщик не является монополистом, он заменяется. В необходимых случаях изменяется и вся цепочка поставок (например, по углеродистой проволоке);

- доведение сырья и материалов до уровня установленных требований за счет дополнительных или повторных технологических операций (например, прокатка влажных материалов или пассивация ферросплавов);

- селективный подбор сварочной проволоки и компонентов покрытия для конкретной партии (особенно при производстве высоколегированных электродов) проверкой соответствия индивидуальной рецептуры по результатам контроля и испытаний опытного замеса;

- ограничение области применения электродов на этапе запуска сырья и материалов в производство (например, без права поставки на объекты использования атомной энергии или судостроения (судоремонта)).

Полученные данные обрабатываются, анализируются и сохраняются в базах данных для последующего применения в аналогичных случаях. Проводимые заводом мероприятия требуют дополнительных затрат, поэтому и стоимость таких электродов несколько выше.

**Оборудование.** Роль оборудования в обеспечении стабильности качества очевидна. Работа в этом направлении заключается в следующем:

- постоянное поддержание работоспособности за счет планового проведения всех видов необходимых ремонтов (а не только планово-предупредительных);

- плановый контроль и недопущение к использованию оборудования с недопустимыми отклонениями параметров;

- своевременная замена быстроизнашивающихся деталей, оснастки и инструмента;

- замена существующего оборудования более современным (разумеется, в пределах реальных возможностей).

**Технология.** На первый взгляд, технология производства электродов кажется достаточно простой и неизменной, однако, она имеет множество нюансов: от применения конкретной партии сырья и материалов до изменения атмосферных параметров в течение смены. Кроме того, в ней, как и в любой производственной технологии, присутствуют элементы неопределенности. Поэтому работа по управлению технологическими процессами и их улучшению на нашем предприятии проводится практически постоянно. При возникновении незначительных отклонений в течение смены они устраняются по указанию дежурного технолога, при более значительных — по решению начальника технического отдела. Соблюдение технологии контролируется в ходе плановых и внеплановых проверок «летучих» и внутренних проверок (аудитов) на соответствие требованиям ГОСТа Р ИСО 9001-1996. Полученные данные обрабатываются, анализируются и исполь-



зуются для внесения изменений в технологическую документацию.

**Персонал.** Квалификация и опыт персонала имеют первостепенное значение в любом производстве. Для производителя электродов проблема подготовки кадров достаточно острая, поскольку как раньше, так и сейчас рабочих и специалистов в этой области никто централизованно не готовит, и каждое предприятие самостоятельно решает этот вопрос. На нашем предприятии вопросы первоначальной подготовки и повышения квалификации рабочих электродного производства решаются посредством теоретического и практического обучения по утвержденным программам. Программы индивидуальны для каждой профессии и разряда. Подготовка специалистов производится путем как внутреннего, так и внешнего обучения в специализированных организациях. В настоящее время все рабочие электродного производства, кроме способных, прошли необходимое обучение, получили или подтвердили разряд, по которому выполняют работы. При этом 15 % всех рабочих производственного цеха подтвердили свое право на самоконтроль (подтверждение проходит ежегодно).

Уровень квалификации специалистов нашего предприятия достаточно высок. Один только факт использования индивидуальных рецептов при выпуске высоколегированных электродов с использованием селекции сырья и материалов свидетельствует о многом и прежде всего о профессиональном уровне технологического отдела. Но особое внимание на предприятии обращено на персонал, осуществляющий контроль качества. Заводской центр испытаний электродов аккредитован на техническую компетентность по всем видам контроля, применяемым для сварочных электродов в системе ГОСТ Р. Все контролеры как на инженерных, так и на рабочих должностях имеют базовое техническое образование не ниже среднего специального, а также прошли обучение и сдали в установленном порядке экзамены по Правилам и Нормам Госатомнадзора РФ на право выполнения закрепленных за ними видов работ. Кроме того, отдельные специалисты прошли необходимое дополнительное обучение и получили соответствующие сертификаты или аттестаты на право проведения работ. Это, наряду с иными факторами, может свидетельствовать о достаточной компетенции персонала предприятия.

**Документация.** Полнота и качество используемой в процессе производства документации существенным образом влияет на технологический процесс, поэтому все ведущие заводы-изготовители электродов уделяют этому вопросу серьезное внимание. Работа с документацией у различных изготовителей, естественно, проводится по-разному, в удобной для них форме. На нашем предприятии разработана и внедрена процедура, регламентирующая использование документации в производстве в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-1996. По сути, это означает, что:

— всякое действие, связанное с качеством, должно быть документировано;

— вся документация должна быть идентифицирована, утверждена и доведена до конкретного исполнителя;

— документация используется только в актуализированном состоянии, данные об изменениях должны доводиться до исполнителя заблаговременно, до начала применения измененной документации.

Перечисленные факторы влияют на стабильность производства выпускаемых электродов. Наше предприятие действует в соответствии с этими требованиями, другое может представить это по-иному. Обеспечение стабильности является важнейшим аспектом менеджмента качества, поэтому можно проверить, как оно осуществляется у изготовителя. Как правило, если на предприятии разработана и внедрена эта система, то для решения как внешних, так и внутренних задач производится ее сертификация. Независимый орган по сертификации проверяет соответствие декларации предприятия его внутренней документации, соответствие последней требованиям внешнего нормативного документа, а также фактическую реализацию требований документации в производстве. При полном соответствии (чего практически не бывает) или при наличии незначительных отклонений, предприятию может быть выдан сертификат соответствия на систему качества. Наличие такого сертификата, выданного признанным в стране органом, может считаться необходимым подтверждением стабильного уровня качества поставляемых электродов. АОЗТ «Электродный завод», наверное, единственное из предприятий-изготовителей электродов, которое, наряду с национальными, имеет и международный сертификат соответствия на систему качества сети IQNet, признаваемый организациями в Европе, Японии, Азии, Северной и Южной Америке, включая Германию и Францию, всего в 29 странах.

Ряд предприятий-изготовителей имеют лицензию Госатомнадзора РФ на право производства и поставки сварочных электродов для применения на объектах использования атомной энергии. Учитывая, что лицензия выдается только после экспертной проверки возможностей предприятия обеспечить надлежащий уровень качества, такой документ также можно считать необходимым подтверждением уровня стабильности производства. Таким подтверждением может служить и аттестат производства, выданный уполномоченным органом. Правда, в России такой документ встречается крайне редко.

И, наконец, представители потребителя могут сами посетить предприятие-изготовитель, проверить и убедиться в его возможностях обеспечения необходимого и стабильного уровня качества поставки (т. е. провести так называемый аудит второй стороны). Кроме того, если изготовитель заинтересован в поставках, он обеспечит возможность проверки фактического качества сварочных электродов и предоставит для этого свой персонал, либо это могут сделать специалисты заказчика.

Достаточно долго проводя работу в области качества, предприятие накопило определенный



объем информации о подходах к решению таких вопросов в других странах и отраслях промышленности. В связи с этим можно дать следующие рекомендации потенциальному потребителю:

1) выберите несколько заводов-изготовителей, которые выпускают необходимую номенклатуру электродов и работа с которыми возможна по вашим специфическим условиям;

2) запросите документы, которые могут подтвердить качество изготовления необходимых марок электродов и стабильность его обеспечения;

3) посетите изготовителей и проверьте сами, соответствует ли его продукция вашим требованиям. Если такой возможности нет, приобретите небольшую партию и проверьте ее на собственном предприятии. О своих претензиях сообщите изготовителю;

4) посмотрите, какой будет реакция изготовителя;

5) произведите анализ для принятия решения, с какими изготовителями вы будете работать. При этом необходимо учесть, что более качественная продукция стоит дороже и решить, что выгоднее: выполнять сварные соединения высококачественными электродами или же менее качественными и более дешевыми, но с дальнейшими исправлениями и дополнительными контролями;

6) с теми изготовителями, от которых вы получаете продукцию, наладьте обратную связь, по-

скольку для проведения необходимых вам улучшений продукции изготовителю необходима информация.

Следует учитывать, что приобретать качественную продукцию можно только у изготовителя, в его представительствах и у официальных дилеров, поскольку в ином случае вам могут поставить либо контрафактную продукцию, либо продукцию, поврежденную в процессе транспортировки и хранения.

Все отмеченное выше широко используется в мировой практике, в том числе и в России, и сводится к рекомендациям стандартов ISO 9000-2000: «сделайте Ваших поставщиков Вашими партнерами». В свою очередь изготовители должны укрепить сложившиеся отношения с разработчиками выпускаемых или планируемых к выпуску марок электродов, причем эти отношения могут включать и делегирование полномочий.

В заключение необходимо отметить, что обеспечение качества связано с дополнительными затратами изготовителя, особенно в России, поэтому нет и не может быть высококачественной продукции по среднерыночным или более низким ценам. Качество всегда и везде стоит денег, выбор оптимального соотношения «цена – качество» при закупке, по-видимому, должен определяться конкретными условиями, с учетом прямых и косвенных затрат организации на выполнение сварочных соединений, отвечающих требованиям потребителей.

Cause-and-effect relations in solving the problem of ensuring consistent production of welding electrodes are analysed on the basis of the Isikawa model.

Поступила в редакцию 05.08.2002



## 2-я Международная специализированная выставка-конгресс «Электротехнологии - 2003» (ЭЛТЕХ-2003)

**Специальный раздел «Сварка и родственные технологии»**  
19-22 марта 2003, Санкт-Петербург

Тематические направления выставки-конгресса

*Электрометаллургическое производство*  
*Сварка, электротермия и родственные технологии*  
*Применение газового разряда в электротехнологии*  
*Электротехнологические установки экологического назначения*  
*Энергосбережение при использовании электротехнологий*  
*Порошковая металлургия*  
*Научное и информационное обеспечение, подготовка кадров*

В рамках выставки пройдет Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы и достижения в области электротехнологий»

**ОАО «Ленэкспо»**  
199106, С.-Петербург, В.О., Большой пр. 103, 10  
Тел.: (812) 321 26 31; факс (812) 321 27 22  
E-mail: averkina@mail.lenexpo.ru

**ООО «Элтех-Экспо»**  
194100, С.-Петербург, ул. Литовская  
Тел./факс: (812) 245 01 02, 245 83 12  
E-mail: office@rusweld.spb.ru



## ВЫБОР ПОСТАВЩИКОВ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н. А. ПРОЦЕНКО**, аудитор по сертификации сварочных материалов и систем управления качеством  
(ГП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН Украины, г. Киев)

Предложена информация по выбору и оценке поставщиков сварочных материалов. Отмечена особенность выбора и оценки поставщиков при закупке аналогичных марок электродов.

*Ключевые слова: специальный процесс, качество закупок, оценка поставщиков, анкета поставщика*

Одним из основных факторов стабильности производственного процесса при выполнении сварочных работ является закупка, доставка и использование сварочных материалов, отвечающих по количеству и качеству установленным требованиям.

В соответствии с ДСТУ ISO 9000-2001 сварка относится к «специальным процессам», поскольку его результаты не могут быть полностью подтверждены последующим контролем качества (несоответствия по качеству могут быть обнаружены и после сдачи продукции в эксплуатацию). Такие процессы должны выполняться только при наличии определенных условий. Важнейшими из них являются выбор, оценка поставщиков сварочных материалов и ежегодное утверждение перечня квалифицированных поставщиков. Качество закупок рассматривается стандартом ДСТУ ISO 9001-2001 (п. 7.4), являющимся одним из базовых элементов системы управления качеством на предприятии. Для выполнения требований данного стандарта необходимо кардинальное изменение методов работы отдела снабжения. От широко практиковавшегося

ранее принципа «достать или выбить» нужен переход к принципу «найти, оценить и выбрать», обеспечив тесную координацию между поставщиком и потребителем. Реализовать данный принцип удастся, если решаются следующие задачи: создание нормативной и информационной базы для обеспечения предприятия сварочными материалами требуемого качества; разработка планов и программ обеспечения предприятия сварочными материалами требуемого качества; организация работ с поставщиком, включая оценку, выбор и допуск поставщиков, контроль и приемку сварочных материалов у поставщика, оперативное регулирование поставок; установление форм и методов входного контроля качества сварочных материалов поставщиков; заключение контрактов с поставщиками и проведение анализа выполнения условий контракта; организация учета, анализа и оценки сроков и качества поставок; организация условий хранения сварочных материалов и подготовка их к производственному использованию; организация предъявления и удовлетворения претензий и исков к поставщикам, нарушающим договорные условия;

**Таблица 1. Оценка и выбор поставщиков**

Критерий выбора поставщика	Состав информации
Качество продукции	Показатели качества сварочных материалов поставщика Показатели качества аналогичных сварочных материалов других поставщиков Условия послепродажного сервиса, предоставляемого поставщиком Условия послепродажного сервиса, предоставляемого другими поставщиками Наличие внедренной системы управления качеством
Условия поставки	Возможные объемы поставки в установленном календарном периоде Вид и норма отгрузки (повагонная, контейнерная и т. д.) Вид транспорта (железнодорожный, автомобильный, авиационный, водный) Дальность транспортировки Ориентировочные транспортные расходы
Срок поставки	Время, под которым подразумевается промежуток между датами выдачи и выполнением заказа
Обязательность (точность) поставки	Оценка выполнения обязательств по срокам поставки
Готовность к поставке	Согласованность и подтверждение срока выполнения заказа поставщиком в соответствии с пожеланием заказчика
Информационная готовность	Готовность предприятия выдать всю запрашиваемую покупателем информацию относительно поставляемых ему сварочных материалов
Гибкость	Готовность предприятия выполнить вносимые заказчиком изменения в ранее оформленный заказ
Стоимость продукции и условия оплаты	Цена сварочных материалов поставщика Цена аналогичных сварочных материалов других поставщиков Условия оплаты: предоплата, размер скидок при предоплате, оплата по факту поставки, оплата с отсроченным сроком

снижение затрат на обеспечение сварочными материалами.

Чтобы удостовериться в способности поставщика сварочных материалов выполнять условия поставки, в системе управления качеством должны быть разработаны процедуры организации работы, определяющие: что надо делать, как надо делать, кто будет делать. В табл. 1 приведена типичная информация по оценке и выбору поставщиков сварочных материалов.

Под *оценкой поставщиков* понимается совокупность методов и приемов, используемых в процессе подготовки решения о заключении и выполнении контракта поставки. Предварительную оценку и

выбор поставщиков рекомендуется проводить в следующем порядке:

- разработка и направление поставщику специальной анкеты (одна из типичных форм приведена ниже);
- обработка анкетных данных;
- анализ результатов анкетирования и принятие одного из следующих решений: заключение контракта о поставке сварочных материалов; отказ от контракта; направление к поставщику специалистов предприятия для проведения аудита.

Анкета включает вопросы, ответы на которые дают возможность оценить организационную способность поставщика отвечать требованиям стандартов ДСТУ ISO 9001-2001 и на основе этого

### Анкета поставщика

1. Наименование предприятия поставщика \_\_\_\_\_  
 2. Адрес \_\_\_\_\_  
 3. Руководитель службы управления качеством \_\_\_\_\_  
 4. Ф.И.О. \_\_\_\_\_  
 Должность \_\_\_\_\_  
 Код, телефон, факс \_\_\_\_\_

5. Виды продукции, поставляемые на \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6. Проводится ли Вами поставка сварочных материалов через посредников: *да/нет*  
 если да, то:

- а) проводили ли Вы аудит у посредников \_\_\_\_\_  
 б) имеют ли Ваши посредники квалифицированный персонал \_\_\_\_\_  
 в) имеют ли Ваши посредники складские помещения, обеспечивающие требования по хранению сварочных материалов \_\_\_\_\_  
 г) знакомы ли Ваши посредники с процедурой работы с претензиями по качеству сварочных материалов \_\_\_\_\_

7. Имеется ли на Вашем предприятии база для проведения приемо-сдаточных испытаний сварочных материалов: *да/нет*  
 если нет, то с какой организацией имеется договор на их проведение: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

8. Сертифицирована ли выпускаемая продукция: *да/нет*  
 если да, то:

- а) каким органом по сертификации \_\_\_\_\_  
 б) на какие виды продукции \_\_\_\_\_  
 в) по какой модели \_\_\_\_\_  
 г) когда и на какой срок \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Если продукция сертифицирована независимой организацией, просим приложить к анкете копию сертификата соответствия.*

9. Сертифицировано ли производство: *да/нет*  
 если *да*, то:

- а) виды (название) производства \_\_\_\_\_  
 б) кем (название органа по сертификации) \_\_\_\_\_  
 в) когда и на какой срок \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Если производство сертифицировано независимой организацией, просим приложить к анкете копию сертификата соответствия

10. Существует ли документированная система обеспечения качества по ДСТУ ISO 9001-2001, ДСТУ ISO 3834 и т.д.: **да/нет**

если **да**, то:

а) на какие виды продукции \_\_\_\_\_

б) кем сертифицирована система обеспечения качества \_\_\_\_\_

в) дата сертификации, срок \_\_\_\_\_

г) по какой модели \_\_\_\_\_

если **нет**, то:

а) данные работы не проводятся

б) в стадии разработки

в) в стадии внедрения

(сделать отметку в списке)


Если система обеспечения качеством сертифицирована независимой организацией, просим приложить к анкете копию сертификата соответствия.

11. Применяются ли современные технологические процессы и ноу-хау в производстве (пример) \_\_\_\_\_

12. Подвергается ли продукция постоянному усовершенствованию (пример) \_\_\_\_\_

13. Имеются ли в настоящее время технические возможности для дальнейшего улучшения качества продукции: **да/нет**

если **да**, то в какой части \_\_\_\_\_

14. Планируется ли техническое перевооружение предприятия в части дальнейшего улучшения качества продукции: **да/нет**

если **да**, то в какой части \_\_\_\_\_

б) по каким видам продукции \_\_\_\_\_

Анкету заполнил \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Телефон, факс \_\_\_\_\_

Спасибо за Ваши ответы, они помогут нам найти взаимовыгодные условия для дальнейшей работы.

Заполненную анкету просим выслать по адресу: \_\_\_\_\_

вынести суждение о целесообразности заключения контракта.

При обработке анкеты возможны три варианта:

- все ответы положительные, что позволяет сделать однозначный вывод о возможности заключения договора поставки;

- все ответы отрицательные (невозможность заключения договора поставки);

- часть ответов — положительные, часть — отрицательные. Третий вариант встречается на практике наиболее часто. В данном случае возможно использование нескольких методов обработки анкеты: дифференцированного или комплексного.

Решение о методах обработки анкетных данных принимает предприятие в зависимости от требований, предъявляемых к качеству поставляемых сварочных материалов и сложившихся отношений

с поставщиком. Наиболее простой метод, используемый большинством предприятий, следующий: согласно полученным ответам по трем перечисленным выше вариантам присваивается категория группы соответственно А, В, С. Результаты оценки оформляются актом и доводятся официально до сведения поставщика. В отдельных случаях при получении оценки, соответствующей В и С, по согласованию со службой качества, может быть принято решение о проведении аудита поставщика. В любом случае порядок и условия применения возможных решений должны быть обязательно документированы, чтобы избежать нежелательных случайностей и обеспечить контроль со стороны руководства предприятия за деятельностью службы снабжения. Любая оценка потенциального поставщика, выполненная до заключения контракта, при всей ее значимости носит ограниченный характер,

Таблица 2. Нормативная документация электродов МР-3, применяемых для сварки ответственных конструкций, и их разработчики

Марка электрода	Нормативная документация	Разработчик электродов	Химический состав наплавленного металла, %					Механические свойства			
			C	Si	Mn	S	P	$\sigma_b$ , %	$\delta_5$ , %	$a_{H^*}$ , Дж/см <sup>2</sup>	
МР-3	ТУ 36.23.25-007-90	Минмонтажспецстрой (СССР)	0,08...0,12	0,07...0,20	0,50...0,80	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450 ≥ 470	≥ 18 ≥ 22*	≥ 78 ≥ 98*	
* — повышенный уровень качества (А)											
МР-3	ТУУ 14288312.001-96	ИЭС им. Е. О. Патона, «Экотехнология»	≤ 0,10	Г 0,20	0,50...0,80	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 78	
МР-3	ТУУ 01412839.004-99	ДЭИЗСМ	0,08...0,12	0,07...0,20	0,40...0,80	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 78	
МР-3М	ТУУ 14288312.010-2000	ИЭС им. Е. О. Патона, «Экотехнология»	≤ 0,10	≤ 0,10	0,50...0,80	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 78	
МР-3В	ТУУ 13691856.003-97	«Велма»	≤ 0,10	≤ 0,30	0,50...0,75	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 78	
МР-3Э	ТУУ 19270765.001-95	АО «НПО «Запорожье»	≤ 0,12	≤ 0,20	0,45...0,80	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 78	
МР-3	ТУ 14-168-72-94	АО «Спецэлектрод»	Типичный химический состав наплавленного металла				≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 80
			0,11	0,17	0,58						
МР-3М	ТУ 1272-102-36534674-98	»	≤ 0,12	0,07...0,1	0,30...0,5	≤ 0,040	≤ 0,045	≥ 450	≥ 18	≥ 80	
МР-3У	ТУ 1272-001-41637695-98	ПГ «Ротекс»	Типичный химический состав наплавленного металла				Типичные механические свойства металла шва				
			0,10	0,17	0,62	0,022	0,028	490	26	115	
МР-3Р	ТУ 1272-001-41637695-98	»	0,10	0,12	0,64	0,021	0,032	485	27,5	125	
МР-3М	ТУ 1272-001-41637695-98	»	0,09	0,21	0,65	0,018	0,032	480	25	130	
МР-3	ТУ 1272-001-41637695-98	»	0,10	0,10	0,66	0,019	0,030	480	26	125	

поскольку лишь фиксирует сложившееся у поставщика положение дел. Поэтому предварительная оценка поставщика должна дополняться его оценкой после заключения контракта, окончательная — после накопления статистических данных входного контроля сварочных материалов на предприятии-потребителе. После обработки статистических данных входного контроля все поставщики делятся на три класса:

не было претензий по качеству, условиям поставки, условиям оплаты;

были претензии хотя бы по одной из перечисленных выше оценок;

были претензии по всем перечисленным выше оценкам.

Как правило, в перечень квалифицированных поставщиков предприятия вносятся поставщики класса 1 при условии, что поставщики классов 2 или 3 не являются монополистами по какому-либо типу сварочных материалов.

Одной из важных информации при выборе и оценке поставщиков являются показатели качества аналогичных марок сварочных материалов, поставляемых разными поставщиками. Например, такая ситуация сложилась в Украине по выбору и оценке электродов марки МР-3 (изначально предназначенных для сварки и ремонта ответственных сварных конструкций из низкоуглеродистых ста-

лей). В настоящее время государственными стандартами Украины (ДСТУ 1.3-93) и России (ГОСТ 2.114-95) разрешено предприятиям (организациям-разработчикам) разрабатывать и регистрировать технические условия на продукцию независимо от форм собственности и видов деятельности. Поэтому появилось несколько марок электродов типа МР-3, выпускаемых по различным техническим условиям с использованием различных сырьевых материалов, разным назначением и характеристиками металла шва. Выбор и оценку поставщиков электродов марки МР-3 в данной ситуации необходимо проводить в зависимости от ответственности назначения выпускаемых сварных конструкций.

В табл. 2 приведены некоторые данные об имеющихся аналогах электродов марки МР-3, нормативной документации на них и наименовании разработчиков. Разработка и выполнение процедуры по выбору и оценке поставщиков сварочных материалов позволит изготовителям сварных конструкций: повысить стабильность качества сварных конструкций; определить рынок квалифицированных поставщиков сварочных материалов; определить необходимость и периодичность входного контроля сварочных материалов; снизить затраты на обеспечение сварочными материалами.

Information for selection and assessment of welding consumables suppliers is given. Peculiarities of selection and assessment of suppliers in procurement of similar electrode grades is noted.

Поступила в редакцию 29.07.2002



# КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

М. Ф. ГНАТЕНКО, канд. техн. наук (фирма «Велма», г. Киев)

Обоснована целесообразность комплексного подхода в обеспечении высокого качества изготовления электродов. Рассмотрен опыт фирмы «Велма» в совершенствовании технологии рубки проволоки.

*Ключевые слова:* покрытые электроды, качество, комплексный подход, рубка проволоки, режимы правки и рубки

За прошедшие десятилетия было несколько «великих кампаний» по повышению качества выпускаемой продукции:

- работа комиссий Госстандарта СССР по проверке соответствия показателей качества продукции ГОСТам;
- организация проверки и присуждение Знака качества с внедрением различных систем качества отечественных разработок;
- введение органов государственной приемки продукции;
- введение сертификатов соответствия продукции требованиям ГОСТов, сертификация производств и систем качества.

Целью проведения таких мероприятий было улучшение потребительских свойств продукции, однако подходы и пути к достижению этой цели были неэффективны. В результате ожидаемый эффект не был достигнут.

Любое производство начинается с технологического процесса. Применительно к производству покрытых сварочных электродов еще восемь лет назад в рамках ассоциации «Электрод» была создана экспертная комиссия из ведущих специалистов стран СНГ по оценке технологического уровня электродных производств. По результатам работы комиссии выдавались предложения по совершенствованию технологии. Далее включается в работу экспертная комиссия по оценке технического уровня оборудования. Это второй этап к достижению высокого и стабильного качества — оценка оборудования с выдачей рекомендаций по его усовершенствованию, внедрению новых образцов, замене старых и т. п. И только на базе высокого уровня технологии и высокого технического уровня оборудования параллельно разрабатывается и внедряется активный оперативный входной пооперационный и технологический контроль процесса производства электродов. Наступает очередь третьего этапа — разрабатывается и внедряется эффективная система обеспечения и гарантирования качества электродов. Представляется очевидным, что, только поддерживая высокий уровень технологии, оборудования и обслуживания, а также совершенствуя систему качества, можно обеспечить

и гарантировать стабильное и высокое качество покрытых сварочных электродов или любой другой продукции. Тогда сертификат соответствия будет в полной мере отвечать его назначению. А организация, выдавшая сертификат, может выступать перед потребителем в качестве страхового гаранта завода-изготовителя качественных электродов. Положительный эффект будет достигнут всеми: производителем, органом сертификации, потребителем. В современных условиях конкуренции «выживут» лишь те предприятия, которые комплексно и последовательно будут решать вопросы своего производства:

- использование современных технологических решений;
- применение эффективного оборудования;
- внедрение системы обеспечения качества;
- стабилизация качества исходных сырьевых материалов;
- совершенствование кадровой политики на всех уровнях;
- оптимизация системы управления и документооборота.

Остановимся на одном более узком вопросе, касающемся правки и рубки проволоки.

Качество стержней характеризуется следующими показателями: стрела прогиба, волнистость, стабильность длины, заусеницы, угол реза, состояние поверхности (насечка, нарезка и т. п.). Однако четких закономерностей технологического процесса изготовления стержней нет. Лишь одна зависимость представлена бывшими работниками Московского опытно-сварочного завода в виде цифр: на один оборот правильного барабана протяжка (продвижение) проволоки не должна быть больше 15 мм. При подробном анализе работы различных правильно-отрезных станков и эта зависимость не выдерживает критики. Так, для станков М800 фирмы ESAB (Швеция) эта цифра составляет более 25 мм, а стержни получаются качественные. Следовательно, работают другие, более важные, закономерности. На практике, используя накопленный опыт, операторы-рубщики интуитивно находят более или менее правильные режимы правки и рубки. Но при этом процесс слабоуправляемый. Подробное изучение процесса позволило уточнить уже известные закономерности и установить ряд очень важных новых.

Для малых скоростей правки и рубки ( $\leq 70 \dots 80$  м/мин) целесообразно использовать

неприводные вращающиеся размотки с тормозом как для больших бухт, так и для малых мотков. При изготовлении стержней на скоростях более 100 м/мин размотки должны быть с отдельным приводом и тормозом или безынерционные. При этом целесообразно использовать лишь большегрузные бухты ( $\geq 1,0$  т) или устанавливать станок в линии с волочильным станом.

При изготовлении стержней из специальных проволок (в том числе нержавеющей), которые поставляются, как правило, в мотках до 200 кг, следует использовать станки малой производительности (малые потери при настройке, перестройке и т. п.). Обязательным условием является использование дополнительной смазки (известковое молочко, мыло и т. п.), так как на спецпроводах смазочный слой отсутствует, а коэффициент трения с сухарями значительно выше.

Все отмеченное выше существенным образом влияет на стабильность длины получаемых стержней (в расчет не берутся те случаи, когда намотка бухт и мотков с затяжками и перепутыванием). Кроме того, чем выше скорость рубки, тем выше качество реза: меньше заусеницы, подмятие, угол реза ближе к  $90^\circ$  (при прочих равных условиях).

На качество правки проволоки влияют следующие параметры:

1)  $t_{пр}$ , мм — перемещение проволоки через барабан на один его оборот (соотношение скорости протяжки проволоки к скорости вращения барабана);

2)  $t_{сух}$ , мм — шаг размещения сухарей по длине барабана;

3)  $t_{цил}$ , мм — длина цилиндрической части сухаря;

4)  $t_{см}^n$ , мм — расстояние между сухарями «по синусоиде» (настроечный параметр),  $n$  — количество сухарей минус один (от 1 до 6);

5) соотношение между длиной цилиндрической части сухаря и диаметром;

6) соотношение между диаметром внутреннего цилиндрического отверстия сухаря и диаметром перерабатываемой проволоки;

7) соотношение между временем воздействия деформационных напряжений на проволоку в сухарях и временем релаксации этих напряжений для данной проволоки может изменяться за счет параметров 1...6, измеряется величиной смещения сухарей, скоростью протяжки проволоки, скоростью вращения барабана, размерами сухарей, упругими и пластическими свойствами проволоки.

С точки зрения кривизны стержней (стрелы прогиба) также большое значение имеет соотношение по п. 7.

Очень важно с точки зрения отсутствия волнистости, чтобы величины  $t_{пр}$ ,  $t_{сух}$  (или, точнее,  $t_{см}$ ) и  $t_{цил}$  не были кратны между собой, т. е. чтобы в разных сухарях на входе и выходе при правке не происходила деформация проволоки с одним и тем же шагом (должно быть смещение и деформация должна происходить как при нарезке многозаходной резьбы).

Важнейшим фактором с точки зрения реза является конструкция ножа, его движение и неизменность положения проволоки во время реза: диаметр режущей кромки ножей должен быть равен диаметру проволоки; между ножами — минимальные зазоры, ось проволоки и ось отрезаемого стержня должны оставаться параллельными во время реза (параллельное смещение).

Все выявленные и установленные закономерности проверены фирмой «Велма» на практике. В результате отработаны реальные режимы правки и рубки проволоки, обеспечивающие высокое качество изготавливаемых стержней из разных марок проволоки.

Expediency of the integrated approach to ensuring manufacture of high quality electrodes is substantiated. Experience gained by the «Velma» Company in the field of improvement of the wire cutting technology is considered.

Поступила в редакцию 17.07.2002



## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОДОВ

**И. Н. ВОРНОВИЦКИЙ**, канд. техн. наук (ЗАО «Электродсервис», г. Москва, РФ)

Обсуждены технико-экономические и технологические показатели качества отечественных и зарубежных электродов. Выделены основные факторы, влияющие на показатели плавления электродов и их стабильность.

*Ключевые слова:* покрытые электроды, функциональные характеристики, сварочно-технологические свойства, показатели качества

В настоящее время в странах СНГ изготавливают электроды, большая часть которых была разработана еще в бывшем СССР. Не будем останавливаться на уровне разработки (учитывая возраст последней). При сравнении качества электродов, изготовленных на предприятиях СНГ и лучших зарубежных фирмах и предлагаемых современному потребителю, последние имеют следующие основные достоинства:

возможность сварки на постоянном и переменном токе и регулирования формы и размеров шва в зависимости от вида тока при сварке швов различного типа — угловых, стыковых в разделку и т. д.;

легкое зажигание дуги, в том числе повторное; незначительное, как правило, не более 3 %, разбрызгивание электродного металла, для отдельных марок электродов допускаются потери не более 5 %; легкая отделимость шлаковой корки (в электродах многих марок происходит самопроизвольно, даже в случае сварки швов, выполненных в разделку);

высокая технологическая маневренность при сварке, которая достигается за счет изменения диаметра электродов, регулирования физико-химических характеристик шлака, энергии взаимодействия шлака и расплавленного металла и т. д., а также узкой специализации (назначении) электродов;

пригодность электродов для сварки конструкций, работающих в широком диапазоне отрицательных температур или в условиях, когда содержание водорода в наплавленном металле должно существенно ограничиваться;

более высокая производительность плавления.

Выше перечислены основные достоинства, касающиеся функциональных характеристик зарубежных электродов, многие из которых поддаются регулированию и управлению как на стадии разработки, так и изготовления. Вопросы о качестве электродов, их виде и состоянии упаковки, здесь не рассматриваются.

Качество продукции (в нашем случае — качество электродов) — это совокупность свойств, удовлетворяющих определенным потребностям в соответствии с назначением продукции. Качество электродов в начале назначается, а затем определяется при совокупной оценке технических, эк-

сплуатационных, технологических параметров, норм надежности и долговечности, показателей качества изготовления и технико-экономической эффективности потребления электродов, в том числе их стоимости и издержек при потреблении. Показатели качества электродов определяются объективными (количественными) и органолептическими методами.

В соответствии с понятием «качество продукции» в каталогах отечественных и зарубежных фирм с некоторыми вариациями ниже приводятся основные показатели качества электродов.

*Назначение электродов.* Этот показатель проектируется на стадии разработки электродов в зависимости от потребительского спроса или технического задания. При этом обычно задаются марки и классы свариваемых сталей, типы сварных конструкций (листовых, трубных, котельных и др.). Условиями эксплуатации конструкций определяются химический состав и механические свойства электродного металла, а также его служебные характеристики (допускаемая температура эксплуатации, длительная прочность, жаропрочность, стойкость к межкристаллитной коррозии, ферритная фаза и т. д.).

Признаками качества в показателе «назначение электродов» являются следующие: регламентируемое положение шва при сварке; вид и полярность тока, особенно в зависимости от пространственного положения шва и конструкции сварного соединения; форма шва — выпуклость или вогнутость, особенно при сварке угловых швов; отделимость шлаковой корки, особенно при сварке в разделку; содержание водорода в наплавленном металле; одобрение (признание) электродов органами надзора разных стран с учетом уровня прочности, температуры эксплуатации и других характеристик сталей; легкость повторного зажигания дуги.

*Показатели технико-экономической эффективности электродов или сварочно-технологические свойства электродов.* В каталогах лучших зарубежных фирм, производителей электродов, приводятся следующие показатели качества, характеризующие технико-экономическую эффективность потребления электродов: длительность плавления электрода (определенного диаметра и известной длины при максимальном токе, вид и полярность которого известны); затраты энергии на расплавление одного электрода; производительность плавления электродов определенного диаметра; масса наплавленного металла (в килограммах) при расплавлении 1000 электродов; количество элек-



Таблица 1. Техничко-экономические показатели электродов марки «Gonia» с рутиловым покрытием

Размер электрода, мм	Сварочный ток, А	Длительность плавления электрода, с*	Расход электрической мощности при плавлении электрода, кДж	Производительность проплавления при максимальном токе, кг/ч	Масса 1000 электродов, кг	Расход электродов (шт.) для получения 1 кг наплавленного металла**
Ø 3,2; 450	130...150	76	319	1,6	55,8	31
Ø 4,0; 450	170...190	89	457	1,9	76,3	22
Ø 5,0; 450	250...280	90	706	2,9	114,1	14
Ø 6,3; 450	350...375	100	1088	4,3	182,2	9

\* Длина огарка электрода 35 мм.  
 \*\* Расход электродов для получения 1 кг шва составлял 1,67 кг.

родов, необходимое для получения 1 кг наплавленного металла; расход электродов (в килограммах) на получение 1 кг наплавленного металла.

Например, в табл. 1 содержится информация об электродах марки «Gonia» с рутиловым покрытием, изготавливаемых американской фирмой «Lincoln» (данные получены при сварке на переменном токе). Информативность этих данных можно назвать безупречной и очень полезной для потребителя.

Количественные показатели качества электродов несут двойную нагрузку. Например, длительность плавления электрода и производительность этого процесса позволяют оперативно определить соответствие фактических значений нормативным требованиям, приведенным в каталоге; показатели расхода электродов на 1 кг наплавленного металла или массы электродов, получаемой при расплавлении 10...20 шт. электродов, определяют решение практической задачи выдачи определенного количества электродов сварщику для выполнения конкретного объема работ и т. д.

В то же время эти показатели необходимы потребителю для контроля их соответствия информации поставщика. Важнейшим показателем качества электродов, принятым в зарубежных фирмах, является переход металла электрода в металл шва. Для обычных электродов, не содержащих железный порошок в покрытии, этот показатель составляет не менее 95 %. Он характеризует потери электродного металла на разбрызгивание. У электродов лучших зарубежных фирм коэффициент разбрызгивания составляет не более 3 %.

К другим показателям качества изготовления электродов, оказывающим существенное влияние на функциональное и технологическое поведение электродов в процессе их плавления, относятся такие, как формирование шва, отделимость шлаковой корки и образование пор, особенно при выполнении вертикальных и потолочных швов. Сюда же относится прочность сцепления покрытия со стержнем, определяемая обычно при свободном падении электрода на гладкую стальную плиту, и глубина «втулочки» из покрытия, образующаяся при плавлении электрода. В настоящем сообщении не говорится о таком показателе, как разнотолщинность покрытия, поскольку в последние 20 лет автор статьи много писал об этом и данный вопрос достаточно хорошо освещен в литературе.

Основными количественными показателями качества технико-экономической эффективности

электродов (или, как принято в практике отечественных специалистов электродного и сварочного производства, сварочно-технологических свойств электродов) являются коэффициенты расплавления, наплавки и потерь электродного металла, производительность расплавления и наплавки, а также скорость плавления электродов. Эти показатели связаны между собой постоянными и известными зависимостями, но в то же время специалисты давно заметили, что даже в пределах одной партии указанные показатели характеризуются некоторой, иногда значительной нестабильностью. При анализе этого явления был сделан вывод, что причины нестабильности во многих случаях связаны с технологией изготовления электродов. Если это положение справедливо, то изготовитель приобретает инструмент управления, регулирования и стабилизации качества электродов.

Выделим из группы основных показателей качества изготовления электродов коэффициенты расплавления и наплавки, а также разбрызгивания, как наиболее репрезентативные.

В ходе опытов была установлена зависимость нестабильности показателей расплавления ( $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ ) от длины обмазочной камеры в головке электродаобмазочного пресса, т. е. зазора между торцом свечи и фильеры. Указанные в табл. 2 значения показателей плавления были получены для электродов УОНИ-13/55 диаметром 4 мм.

Приведенные данные свидетельствуют о значительной нестабильности показателей плавления электродов, изготовленных в обмазочной камере большой длины; особенно заметно проявляется влияние длины камеры на коэффициент разбрызгивания. Так, при опрессовке в камере длиной 3,5...4,5 мм разбрызгивание составляет 4,0...32,5 % (при среднем значении 15,6 %), а при опрессовке в камере длиной 2,0...3,0 мм этот показатель равен 1...5 % (в среднем 3 %), что соответствует требованиям, сфор-

Таблица 2. Влияние длины обмазочной камеры на показатели расплавления

Длина обмазочной камеры, мм	$\alpha_p$ , г/(А·ч)	$\alpha_n$ , г/(А·ч)	$\psi$ , %
3,5...4,5	7,7...10,0 (8,5)	6,2...7,8 (7,1)	4,0...32,5 (15,6)
2,0...3,0	8,9...9,6 (9,3)	8,5...9,4 (9,0)	1,0...5,0 (3,1)

Примечания. 1.  $\alpha_p$  — коэффициент расплавления;  $\alpha_n$  — коэффициент наплавки;  $\psi$  — потери при расплавлении. 2. В скобках приведены средние значения показателей.



мировавшимся практикой лучших зарубежных фирм.

Изложенная тенденция влияния длины обмазочной камеры на показатели плавления подтвердилась при изготовлении электродов в прессах различной конструкции.

На основании литературных данных, результатов опытов и анализа информации зарубежных фирм можно сделать вывод, что основными параметрами влияния на показатели плавления электродов, и особенно их стабильность и потери электродного металла, являются следующие:

конструкция головки пресса, особенно обмазочной камеры и сопряженного с ней объема, взаимодействие которых при работе пресса должно обеспечить порядок истечения обмазочной массы с некоторыми устойчивыми технологическими свойствами;

зерновой состав материалов электродных покрытий;

тщательное выполнение операций сушки – прокаливания электродов.

Однако можно утверждать, что основным параметром стабилизации показателей плавления электродов при прочих равных условиях является конструкция головки пресса. Например, поверхность головки пресса фирмы ESAB, прилегающая к обмазочной камере, имеет множество неглубоких спиралевидных каналов, направляющих обмазочную массу в объем обмазочной камеры строго и по определенной траектории. В прессах фирмы «Эрликон» в зонах, прилегающих к обмазочной камере, в результате их постепенного сужения происходит гомогенизация консистенции обмазочной массы, что обеспечивает стабильное обволакивание стержней массой. В других прессах конструкция головки ограничивает длительность присутствия обмазочной массы и полного выдавливания в обмазочную камеру и обволакивания стержня за счет формы и объема зоны, прилегающей к обмазочной камере.

Неупорядоченное и нестабильное истечение обмазочной массы, в частности при встрече со стержнем в обмазочной камере, обуславливает нестабильность термодинамической активности взаимодействующих материалов — покрытия и стержня — в течение всего процесса плавления электрода, а также расплавленного металла и шлака в сварочной ванне. Именно нестабильностью термодинамической активности покрытия и стержня можно объяснить причины разбрызгивания электродного металла при сварке электродами одной партии или десятка одновременно изготовленных электродов, взятых из одной упаковки. Поэтому основным кри-

терием качества электродов следует признать коэффициент разбрызгивания, который должен составлять в среднем не более 3 %, но никак не более 5 %.

Два других показателя качества электродов — прочность сцепления покрытия со стержнем и глубина втулки из покрытия в процессе плавления электродов — также поддаются регулированию при изготовлении электродов. Так, при опрессовке электродов с производительностью 300...400 шт./мин скорость перемещения стержней (при их длине, например, 450 мм) равна 2000...3000 мм/с. Таким образом, в обмазочной камере длиной 2...3 мм длительность взаимодействия обмазочной массы со стержнем составляет 0,001...0,0015 с. Можно утверждать, что именно длительность взаимодействия этой массы со стержнем в камере следует рассматривать как основной параметр процесса опрессовки. Главная функция камеры — доставить к стержню обмазочную массу, предварительно структурированную и гомогенизованную в объемах головки пресса, из которых она нагнетается в обмазочную камеру. Если конструкция головки не обеспечивает надежной гомогенизации обмазочной массы или конкретная партия этой массы не поддается гомогенизации по ряду причин (неудовлетворительное перемешивание, ошибочный выбор жидкого стекла и др.), то сам процесс обволакивания стержня такой массой в течение тысячной доли секунды не изменит ее качество и свойства.

Наблюдения показали, что неудовлетворительное сцепление обмазочной массы (покрытия) со стержнем проявляется, в частности, при сбрасывании электродов на стальную плиту. При этом покрытие разрушается на одном конце электрода или на обоих его концах. Причин для появления такого дефекта может быть несколько: неполная гомогенизация массы, несогласованная подача обмазочной массы и стержней в головку пресса, неоптимальное количество жидкого стекла и др. В условиях любого производства эти причины можно устранить, если их выявить в ходе методически организованных опытов. Если покрытие разрушается и в средней части электрода, то это свидетельствует о более сложных нарушениях в технологическом процессе. Эти же причины часто вызывают нестабильное формирование втулки из покрытия при плавлении электрода.

Следует отметить, что в условиях любого электродного производства реально получение информации, статистическая обработка которой позволит найти пути регулирования сварочно-технологических свойств электродов.

Technical-economic and technological indicators of quality of domestic and foreign electrodes are considered. Basic factors affecting behaviour of the electrodes in melting and their stability are highlighted.

Поступила в редакцию 19.08.2002



УДК 621.791.92

## СВОЙСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ СПОСОБОМ С ПРИСАДКОЙ СТРУЖКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 5ХНМ

О. Г. КУЗЬМЕНКО, инж., И. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны технологический процесс и свойства металла, наплавленного электрошлаковым способом с присадкой стружки инструментальной стали 5ХНМ. Установлено, что при ЭШН значительно понижается содержание вредных примесей в наплавленном металле. Производственные испытания показали, что стойкость штампов, восстановленных ЭШН с использованием стружки инструментальных сталей, в 1,5...3,0 раза превышает стойкость кованых штампов. Высокие и стабильные показатели стойкости штампов ЭШН подтверждают целесообразность их использования взамен кованых.

*Ключевые слова:* электрошлаковая наплавка, штампы, механические свойства, стойкость, инструментальные стали

При восстановлении изношенных штампов способом наплавки важную роль играет производительность и экономичность процесса. Широко применяемые для этой цели различные способы электродуговой наплавки не всегда отвечают этим требованиям, особенно при больших объемах наплавленного металла, например при восстановлении крупных молотовых штампов [1].

Значительно повысить производительность наплавки, улучшить качество наплавленного металла позволяет способ электрошлаковой наплавки (ЭШН) штампов с использованием в качестве присадки стружки инструментальных сталей, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона [2]. Сущность процесса заключается в следующем. Для наплавки штамп устанавливают гравюрой вверх в кристаллизатор, размеры которого соответствуют размерам штампа. Для наплавки штампов используют флюс АН-15М, который предварительно расплавляют в шлакоплавильной печи в количестве, необходимом для наведения

шлаковой ванны глубиной 40...75 мм. Шлак заливают в кристаллизатор, опускают в шлаковую ванну нерасходуемые водоохлаждаемые электроды и начинают электрошлаковый процесс.

Порционную подачу стружки инструментальной стали со скоростью 2...3 кг/мин начинают только после подплавления всей поверхности гравюры штампа. По окончании подачи стружки уменьшают до определенного значения удельную мощность процесса, что позволяет осуществлять контролируемую кристаллизацию наплавленного металла.

Такая технология дает возможность получить высококачественный наплавленный слой толщиной в несколько десятков миллиметров, плотный по всему сечению, без дефектов усачного характера, шлаковых включений, несплавлений и пр.

Исследования химического состава наплавленного металла показали, что содержание серы уменьшилось от 0,024 в металле стружки до 0,012 % в металле наплавленного слоя. Количество кислорода и азота снизилось соответственно от 0,0042 и 0,0073 в металле стружки до 0,0014 и 0,0040 % в наплавленном слое. Кроме того, в наплавленном металле также уменьшилось количество неметаллических включений. Так, объемная доля оксидов и сульфидов в наплавленном металле составляет 0,002 и 0,018, а в кованом — соответственно 0,016 и 0,120 %. Причем в наплавленном металле неметаллические включения располагаются равномерно, а в кованом — преимущественно группами. При плавлении стружки в шлаковой ванне приведенная поверхность реагирования значительно больше, чем при использовании других типов присадочных или электродных материалов (проволока, лента, жидкий металл и т. д.), что способствует лучшему рафинированию наплавленного металла.

Металлографические исследования показали, что микроструктура наплавленного слоя при использовании в качестве присадки стружки стали 5ХНМ состоит из троостита, перлита и небольших участков с мартенситно-аустенитной структурой (рис. 1, а). Микротвердость участков с трооститно-перлитной структурой составляет HV 5—(3490...3840) МПа, а участков с мартенситно-аустенитной структурой HV 5—(4120...4410) МПа. Основной металл штампа, по сравнению с наплавленным, имеет более грубую трооститно-перлитную структуру (рис. 1, б).

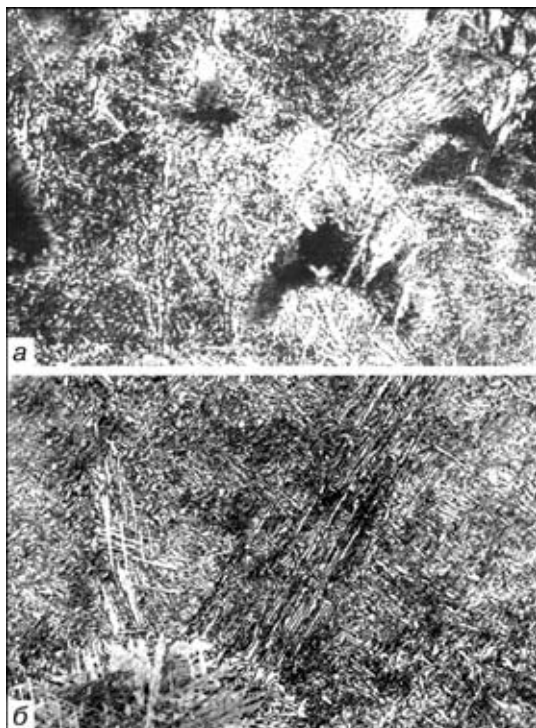


Рис. 1. Микроструктура (×200) стали 5ХНМ: а — наплавленный слой; б — кованый металл основного слоя

### Механические свойства кованой и наплавленной стали 5ХНМ

Температура испытаний, °С	Характеристика металла	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$a_{H_1}$ , Дж/см <sup>2</sup>
20	Кованый	1160	1302	11,9	38,6	47,7
	ЭШН	1139	1252	11,0	32,0	45,0
400	Кованый	807	934	18,4	67,4	45,5
	ЭШН	742	932	16,4	57,7	42,5
600	Кованый	197	267	47,6	92,6	85,0
	ЭШН	185	254	46,4	95,1	97,7

© О. Г. Кузьменко, И. А. Рябцев, 2002

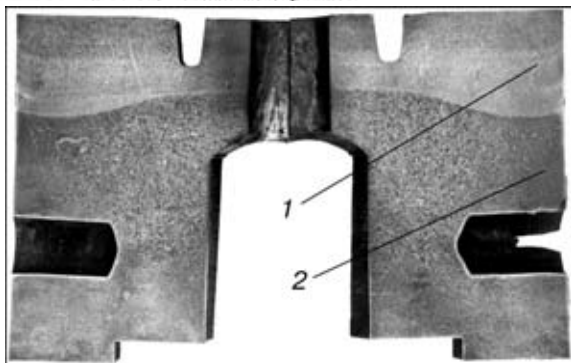


Рис. 2. Макроструктура поперечного сечения штампа, наплавленного способом ЭШН стружкой инструментальной стали 5ХНМ: 1 — наплавленный металл; 2 — штамп

Результаты механических испытаний (таблица) образцов из ковального металла открытой выплавки и металла, наплавленного способом ЭШН с присадкой стружки стали 5ХНМ, свидетельствует о том, что прочностные характеристики последнего находятся на уровне ковального при всех значениях температуры испытаний (20; 400 и 600 °С).

Изучение образцов наплавленного металла после испытаний на ударную вязкость показали, что их излом волокнистый, с небольшими участками кристаллического строения, плотный, матового цвета без флокенов, пор и расслоений. Исследования макроструктуры поперечного сечения штампа (рис. 2) подтвердили высокое качество наплавленного слоя. Последний имеет различную высоту вследствие различной глубины гравюры штампа.

Сравнительные испытания кованных штампов и восстановленных способом ЭШН с использованием стружки инструментальной стали производили на ОАО «Токмакский кузнечно-штамповочный завод» и АО «Ростсельмаш» на молотах с массой падающих частей (МПЧ) 1 и 5 т и прессах усилием 2,5 МН.

Испытания на молотах с МПЧ 1 т показали, что средняя стойкость штампов ЭШН некомпактными материалами (НМ) до первого ремонта составляет 17167 поковок. Причина выхода штампов из строя — износ гравюры. Затем штампы подвергали

ремонту с понижением гравюры. Их стойкость при этом практически не снижалась — 16000 поковок. Стойкость аналогичных, но кованных штампов составила в среднем 6860 поковок при норме 8000.

На молотах с МПЧ 5 т были испытаны кованные и наплавленные штампы размерами 500×500×770 мм. Испытания показали, что средняя стойкость штампов ЭШН НМ до первого ремонта составляет 4415 поковок. Причина выхода штампов из строя — износ гравюры. Затем штампы дважды подвергали ремонту с понижением гравюры и их стойкость при этом не снижалась (соответственно 5250 и 4805 поковок). Стойкость аналогичных кованных штампов составила в среднем 2858 поковок, после ремонта — 1822 при норме 2500. Причина выхода из строя кованных штампов — различные дефекты металлургического характера, а наплавленных — трещины разгара.

На прессах усилием 2,5 МН испытывали штампы из стали 5ХНМ, восстановленные способом ЭШН НМ, размерами 180×300×400 мм и аналогичные кованные. Стойкость наплавленных штампов составила 8000 поковок, стойкость кованных штампов — 3500 поковок. Основная причина их выхода из строя — трещины разгара.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что стойкость штампов, наплавленных способом ЭШН (до ремонта механической обработкой), в 1,5...3,0 раза превышает стойкость кованных штампов. Снижение содержания вредных примесей в наплавленном металле, отсутствие дефектов усадочного и ликвационного характера, высокие механические свойства металла наплавленного слоя обеспечивают хорошие эксплуатационные характеристики штампов, наплавленных с использованием в качестве присадки стружки инструментальной стали 5ХНМ. Высокие и стабильные показатели стойкости наплавленных штампов подтверждают целесообразность их использования взамен кованных.

1. *Рябцев И. А., Кондратьев И. А.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
2. *Пат. Украины 16 МПК В 22 Д 19/07.* Способ наплавки штампов / В. А. Носатов, П. В. Гладкий, О. Г. Кузьменко и др. — Оубл. 30.04.93, Бюл. 1.

Technological process and properties of metal deposited by electroslag method with a filler in the form chips of tool steel 5KhNM are described. It was established that in ESH the content of harmful impurities in the deposited metal is decreased significantly. The industrial tests showed that the life of dies restored by ESH using chips of tool steels 1.5-3.0 times increases the service life of the forged dies. High and stable characteristics of service life of ESH dies prove the expediency of their use instead of the forged dies.

Поступила в редакцию 29.05.2002



УДК 621.791.92

# СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ МЕТАЛЛА ЗТВ СТАЛИ М76 ОБРАЗОВАНИЮ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН ПОСЛЕ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКАМИ ФЕРРИТНОГО КЛАССА

Я. П. ЧЕРНЯК, Г. В. БУРСКИЙ, инженеры, В. К. КАЛЕНСКИЙ, канд. техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изучена возможность наплавки трамвайных рельсов без предварительного подогрева ферритными проволоками типов ТГМ и ГСМФ. Установлено, что при наплавке на оптимальных режимах холодные трещины в металле ЗТВ рельсов и в наплавленном не образуются. Полученные результаты подтверждены испытаниями образцов с применением усовершенствованного метода вставок.

*Ключевые слова:* рельсовая сталь, наплавка, зона термического влияния, погонная энергия, холодные трещины

Для восстановления изношенных внутренних боковых поверхностей желобчатых трамвайных рельсов на криволинейных участках пути использовали наплавку проволоками аустенитного класса [1]. Установлено, что в зоне термического влияния (ЗТВ) рельсовой стали М76 под первым наплавленным валиком образуются холодные трещины типа откол. Основной причиной отколов является мартенситное превращение аустенита в ЗТВ основного металла. Неблагоприятное влияние также оказывают сварочные напряжения, усиливающиеся из-за большой разницы между значениями коэффициента линейного расширения (КЛР) аустенитного наплавленного металла и высокоуглеродистой перлитной стали М76. Устранить отколы удалось при наплавке первого валика на повышенной погонной энергии.

Более естественным и экономичным способом устранения отколов может стать применение для наплавки проволокой ферритного класса, обеспечивающих получение наплавленного металла с КЛР, близким к таковому основного металла. В связи с этим нами были разработаны и использованы порошковая проволока типа ГСМФ для наплавки под флюсом и самозащитная проволока типа ТГМ. Наплавку образцов изношенных рельсов осуществляли без предварительного подогрева восемью горизонтальными валиками, поочередно накладывая их друг на друга с 10-минутными перерывами и таким образом имитируя процесс наплавки реального рельса.

### Режимы наплавки проволоками

ТГМ открытой дугой:  $I = 450$  А,  $U = 26$  В,  $v_n = 36,8$  м/ч;  
ГСМФ под флюсом: АН-26П  $I = 450$  А,  $U = 34$  В,  $v_n = 36,8$  м/ч;  
КЛР ( $\alpha \cdot 10^{-6}$ ) стали М76 и наплавленного металла обоих типов, измеренные при нагреве от 20 до 700 °С, следующие: М76 — 15,2; ТГМ — 14,4; ГСМФ — 14,9.

Изучение шлифов показало, что в обоих случаях отколы в ЗТВ основного металла и какие-либо другие трещины в наплавленном металле отсутствовали (рис. 1).

Для получения количественной оценки сопротивляемости ЗТВ стали М76 образованию холодных трещин после наплавки

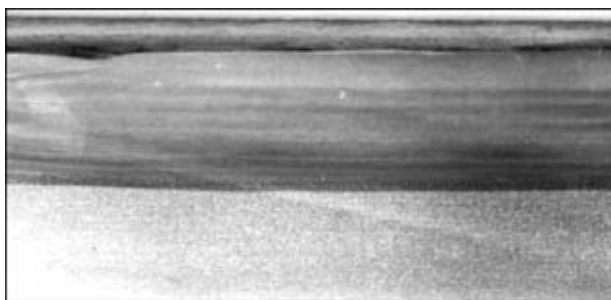


Рис. 1. Продольный макрошлиф губы рельса, наплавленной восемью валиками опытной порошковой проволокой типа ГСМФ без трещин

указанными ферритными проволоками были проведены исследования замедленного разрушения наплавленных образцов.

Методика и оборудование для исследований описаны в работах [2, 3]. В соответствии с методикой следовало оценить удельную работу  $A_{з.т}$  зарождения микротрещин в ЗТВ образцов, изготовленных из стали М76 и, если образцы разрушатся, удельную работу  $A_{уд}$ , необходимую для образования очага разрушения. Техника изготовления образцов и проведения испытаний описаны в работе [4]. Параметры и результаты испытаний обобщены в таблице. Каждый образец наплавливали двумя валиками: сначала нижним, а через 10 мин верхним. В образцах № 1 и 3 наплавку нижних валиков выполняли на малых скоростях, чем обеспечивали соответствующее повышение погонной энергии.

Уровень прилагаемой нагрузки был выбран из условия  $P_{уд} \approx \sigma_T$  ( $\sigma_T = 610$  МПа — предел текучести стали М76). Опыты показали, что все образцы, выдержанные под воздействием этой нагрузки 24 ч, не разрушились.

Из рис. 2 следует, что релаксация напряжений в ЗТВ стали М76 осуществляется вследствие микропластических де-

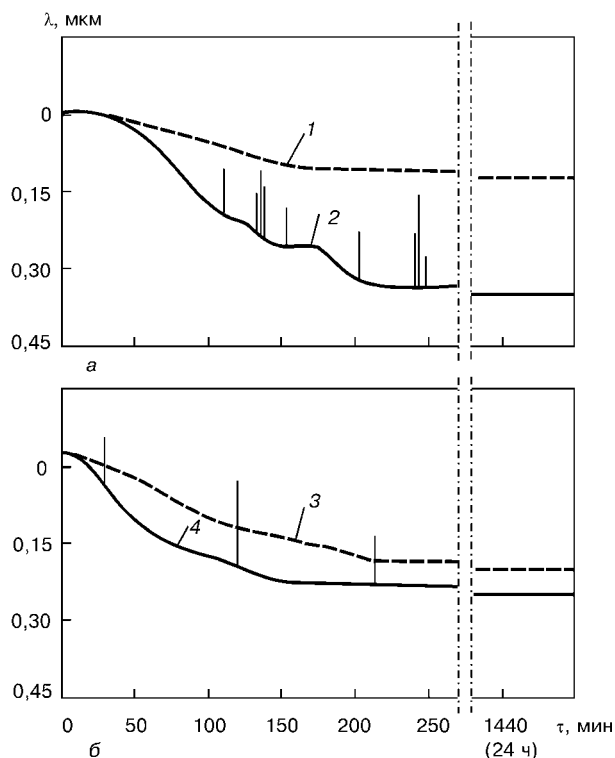


Рис. 2. Сопротивляемость металла ЗТВ стали М76 образованию отколов после наплавки проволоками типа ГСМФ (а) и ТГМ (б) на следующих погонных энергиях: 1 — 32,3; 2 — 15,1; 3 — 24,7; 4 — 11,6 кДж/см



**Влияние погонной энергии и термических циклов на сопротивляемость образцов из стали М76 образованию холодных трещин**

№ образца	Проволока	Валик	$v_n$ , м/ч	$Q_1$ , кДж/см	$\omega_{\Sigma 2}$ , °С/с	$A_{\Sigma 2}$ , Дж/м <sup>2</sup>	Сигналы АЭ
1	ТГМ	Нижний	17,2	24,7	1,4	—	Нет
		Верхний	36,8	11,6	1,2		
2	ТГМ	Нижний	36,8	11,6	2,9	72,7	Есть
		Верхний	36,8	11,6	1,7		
3	ГСМФ	Нижний	17,2	32,3	1,3	—	Нет
		Верхний	36,8	15,1	1,0		
4	ГСМФ	Нижний	36,8	15,1	2,3	163,3	Есть
		Верхний	36,8	15,1	1,2		

Примечание. Остальные параметры режима наплавки для ТГ —  $I = 450...460$  А,  $U = 26$  В, открытая дуга; для ГСМФ —  $I = 450...460$  А,  $U = 34$  В, флюс АН-26П.

формаций. В образцах № 1 и 3, где нижний валик наплавлен на повышенной погонной энергии, релаксация происходит в более благоприятных условиях. Релаксация напряжений в ЗТВ образцов № 2 и 4, наплавленных при пониженной погонной энергии, осуществляется в менее благоприятных, но вполне приемлемых условиях. Перемещения при деформации здесь больше и сопровождаются зарождением микротрещин, что, однако, не приводит к их росту и образованию макродефектов. Зарождение микротрещин улавливалось пьезодатчиком и отмечено на кривых 2 и 4 сигналами акустической эмиссии различной амплитуды.

The feasibility of hardfacing of tram rails without preheating using ferritic wires of TGM and GSMF types was studied. It was established that in hardfacing at optimum conditions the cold cracks in rail HAZ metal and deposited metal are not formed. The results obtained were confirmed by testing samples using the improved implant method.

Поступила в редакцию 29.05.2002

То, что все образцы, наплавленные проволоками ферритного класса, не разрушились и выдержали испытания, свидетельствует о высокой сопротивляемости ЗТВ стали М76 замедленному разрушению.

Высокая сопротивляемость замедленному разрушению и отсутствие холодных трещин при многослойной наплавке образцов изношенных трамвайных рельсов ферритными проволоками типа ГСМФ и ТГМ позволяют не опасаться образования холодных трещин типа откол, вызывающих разрушение наплавленного соединения. Таким образом, можно наплавлять рельсы указанными проволоками на оптимальных режимах и отказаться от усложняющей технологию необходимости наплавлять первый валик на повышенной погонной энергии, как это было рекомендовано в работах [1, 4] для наплавки проволоками аустенитного класса.

1. Влияние погонной энергии на образование отколов в ЗТВ высокоуглеродистой стали М76 при наплавке аустенитными проволоками // В. К. Каленский, Я. П. Черняк, В. Г. Васильев, Т. Г. Соломийчук // Автомат. сварка. — 2001. — № 11. — С. 11–14.
2. Бурский Г. В., Савицкий М. М., Олейник О. И. Усовершенствованная методика оценки сопротивляемости металла ЗТВ замедленному разрушению // Там же. — 1999. — № 4. — С. 31–34.
3. Бурский Г. В., Стеренбоген Ю. А. Оценка сопротивляемости металла ЗТВ среднелегированных высокопрочных сталей замедленному разрушению // Там же. — 1990. — № 8. — С. 33–35.
4. Черняк Я. П., Бурский Г. В., Каленский В. К. Некоторые особенности замедленного разрушения металла ЗТВ высокоуглеродистой стали М76 после наплавки проволокой аустенитного класса // Там же. — 2002. — № 8. — С. 50–52.

Разработано в ИЭС

**РЕЗОНАНСНЫЙ СВАРОЧНЫЙ ИСТОЧНИК С КОМБИНИРОВАННОЙ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ (РДК-300)**

Устройство РДК-300 представляет собой сварочный аппарат, предназначенный для ММА сварки в диапазоне токов 50...300 А. Выполнено оно по двухмодульной структуре. Сочетание этих двух модулей позволяет получить комбинированную внешнюю характеристику с широкими пределами регулирования сварочного тока. Подход, основанный на многоканальном преобразовании энергетического потока, позволяет существенно улучшить эффективность сварочного оборудования.

Применение принципа резервирования емкостного реактора в значительной степени повышает надежность устройства и позволяет достигнуть продолжительности нагрузки ПН  $\geq 60$  %.

Использование резонансного принципа преобразования энергетического потока (резонанс напряжений во вторичном контуре) обеспечивает высокие сварочно-технологические свойства этого класса оборудования при достаточно низком напряжении холостого хода (36...42 В), что гарантирует наибольшую электробезопасность и позволяет рекомендовать их для использования в полевых условиях.

Применение во вторичной цепи резонансного контура с высокими избирательными свойствами приводит к тому, что

уровень электромагнитных помех, генерируемых в питающую сеть и окружающее пространство, ниже на порядок по сравнению со всеми другими типами сварочных аппаратов. По своей сути емкостные реакторы, которые составляют основу резонансных сварочных аппаратов, являются продольными конденсаторами реактивной мощности, поэтому коэффициент мощности  $\cos \phi$  составляет 0,95...0,98.

Аппарат выпускается в трех модификациях: для сварки на переменном токе (модель М1), постоянном (М2) и вариант универсального исполнения — сварка на переменном и постоянном





токе (МЗ). Основные параметры устройства, соответствующего модели М1, приведены ниже:

напряжение питающей сети, В .....	220... 380
частота питающей сети, Гц .....	50
максимальный первичный ток, А .....	36
максимальный вторичный ток, А .....	300
номинальный вторичный ток, А .....	280
первичный ток в режиме к.з., А .....	25
способ регулирования сварочного тока .....	ручной (12 ступеней)
напряжение холостого хода, В .....	40
пределы изменения сварочного тока, А .....	50... 300
продолжительность нагрузки (ПН), %, при .....	180 А... 100
.....	220 А... 80
.....	250 А... 60
.....	280 А... 40
максимальная масса устройства, кг .....	36

Устройство РДК-300 может быть использовано для сварки штучными электродами с рутиловым покрытием диаметром 2, 2,5, 3, 4, 5 и 6 мм. Модели М2 и М3 могут осуществлять процесс сварки практически всеми типами электродов. Это достигается тем, что в указанных модификациях применены блоки «горячего» старта. При использовании осциллятора устройство РДК-300 можно также применять для сварки вольфрамовым электродом в инертных газах.

По параметрам электромагнитной совместимости разработанное устройство полностью соответствует всем требованиям Европейских нормалей.

*За дополнительной информацией обращаться по телефону: (044) 261 51 02 Коротынский А. Е.*

## ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



**И. В. Зяхор** (ИЭС) защитил 18 сентября 2002 г. кандидатскую диссертацию на тему «Разработка технологии сварки трением сплавов алюминия со сталью и медью».

В работе соискателем установлено, что в процессе сварки трением алюминия со сталью и медью наблюдается смещение поверхности трения в алюминиевую заготовку, в результате чего зона максимальных деформаций сдвига размещается на некотором расстоянии от поверхности начального контакта. Вследствие этого образуются две поверхности раздела в зоне соединения, что определяет невозможность полного вытеснения оксидов и органических веществ с поверхности начального контакта заготовок. Показано, что формирование соединений на заключительной стадии процесса происходит через слой пластифицированного алюминия по двум поверхностям: поверхности начального контакта свариваемых материалов и поверхности трения.

Диссертантом сделан вклад в дальнейшее развитие теории кинетики образования интерметаллидного слоя в стыке при получении в твердой фазе биметаллических соединений. Установлено, что деформационное влияние значительно интенсифицирует диффузионные процессы в зоне контакта, приводящие к образованию интерметаллидного слоя на границе начального контакта свариваемых материалов. Определен наиболее эффективный термомеханический цикл сварки разнородных материалов, которые вступают при нагреве в химическое взаимодействие. Разработаны принципы управления процессом сварки трением при получении биметаллических соединений.

В работе предложен способ сварки трением с регулируемой динамикой торможения вращения. На его основе разработаны эффективные технологии сварки трением алюминия и его сплавов со сталью и медью, обеспечивающие получение качественных соединений без интерметаллидного слоя.

Результаты работы внедрены в промышленности при сварке сталеалюминиевых переходников для авиакосмической техники и роторов турбокомпрессоров из жаропрочных никелевых сплавов и конструкционных сталей.

УДК 621.791(088.8)

## ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА\*

**Способ наплавки износостойких покрытий**, отличающийся тем, что в качестве наплавляемого материала используют износостойкий материал большей плотности, чем основной металл детали, а проплавление детали осуществляют по линиям армирования на всю глубину с созданием сжимающих напряжений при охлаждении детали. Патент РФ 2184639. С. В. Стребков, С. А. Булавин, А. Н. Макаренко, С. А. Горбатов (Белгородская сельскохозяйственная академия) [19].

**Роликовая головка для контактной сварки**, отличающаяся тем, что ротор роликового электрода выполнен в виде диска с радиальными каналами и кольцевой крышки, установленной на торце диска герметично и образующей с ним испарительную полость, заполненную пористым материалом, причем сварочное кольцо установлено на наружной образующей диска, в каналах установлены клапаны с биметаллическими пластинами, пружинное устройство установлено снаружи роликовой головки на оси, жестко закрепленной в статоре, с возможностью аксиального перемещения совместно с ротором относительно статора, а система охлаждения выполнена незамкнутой, с воз-

можностью вывода охлаждающей среды в атмосферу. Патент РФ 2184640. С. В. Костарев (ЗАО «Полимак») [19].

**Способ изготовления трехслойной биметаллической ленты**, включающий подготовку травлением с зачисткой контактных поверхностей основы из стальной ленты и двух плакирующих слоев из мельхиоровой ленты, их совместное двухстороннее холодное рулонное плакирование со смазкой и прокатку за несколько пропусков, отжиг и дроссировку на конечный размер. Приведены отличительные признаки способа. Патент РФ 2184641. А. А. Соловьев, В. Н. Лепин, С. П. Воробьев и др. (ОАО «Тульский патронный завод») [19].

**Машина для прессовой сварки труб с нагревом дугой, управляемой магнитным полем**, отличающаяся тем, что она снабжена размещенным на штоке каждого гидроцилиндра осадки плавающим поршнем, который взаимодействует с пружинным кольцом, установленным в корпусе гидроцилиндра осадки, задней крышкой гидроцилиндра осадки, конгрштоком, соединенной с ним регулировочной гайкой, установленной с возможностью упора в заднюю крышку гидроцилиндра осадки, и соединенную с ним резьбовую втулку, при этом каждый зажимной вкладыш выполнен с выпуклыми поясками, внутренний радиус которых меньше минимально допустимого внеш-

\* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетене РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2002 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



него радиуса свариваемых труб на 2...3 %. Патент РФ 2185940. С. И. Кучук-Яценко, В. А. Сахарнов, В. Ю. Игнатенко и др. (Институт электросварки им. Е. О. Патона) [21].

**Устройство для сварки**, отличающееся тем, что в него дополнительно введен датчик фиксации момента отрыва капли, работающий в противофазе с блоком сравнения напряжений дуги с задающим напряжением, причем вход датчика фиксации момента отрыва капли подключен к дуговому напряжению, а выход через усилительное устройство к — дополнительному входу блока формирования длительности импульсов. Патент РФ 2185941. А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, А. Г. Крампит, А. В. Веревкин (Томский политехнический университет) [21].

**Устройство для светолучевой обработки материалов**, отличающееся тем, что отверстие для вакуумирования и подачи рабочих газов в нем выполнено в крышке корпуса и связано с вакуумным насосом и емкостью для рабочего газа. Приведены и другие отличительные признаки устройства. Патент РФ 2185943. Г. М. Алексеев, В. Г. Почаев, Я. Крикорка [21].

**Состав электродного покрытия**, отличающийся тем, что он дополнительно содержит доломит, полевой шпат и мусковитный сланец при следующем соотношении компонентов, мас. %: 40...45 ильменитового концентрата, 15...20 ферромарганца, 16...22 полевого шпата, 1...2 целлюлозы, 10...18 доломита, 5...12 мусковитного сланца. Патент РФ 2185944. К. Д. Басиев, А. А. Бигулаев, Г. В. Рухлин и др. (Северо-Кавказский гос. технологический университет) [21].

**Машина для контактной стыковой сварки рельсов**, отличающаяся тем, что гидроцилиндры оплавления-осадки в ней выполнены в виде цилиндров-танDEMов, в каждом из которых на общем биметаллическом токоподводящем штоке установлено по два поршня, разделенных перегородкой, а гидроцилиндр зажатия выполнен со встроенным в его шток гидромножительным устройством, содержащим шток-плунжер и крышку-проушину, на которой установлен клапан давления, соединенный внутренними каналами с полостями гидромножителя, при этом в шток-плунжер встроен обратный клапан с тарированной пружиной и хвостовиком. Патент РФ 2186664. С. И. Кучук-Яценко, В. А. Сахарнов, В. Г. Кривенко и др. (Институт электросварки им. Е. О. Патона) [22].

**Устройство для электронно-лучевой сварки**, отличающееся тем, что магнитная линза между ускоряющим анодом и изделием выполнена в виде токопроводящего раструба, снабженного продольной щелевой прорезью с широкой частью, размещающейся у ускоряющего анода, и узкой частью, размещающейся у изделия. Патент РФ 2186665. В. Т. Доронин (Алтайский гос. технический университет им. И. И. Ползунова) [22].

**Устройство для электронно-лучевой сварки**, отличающееся тем, что его фокусирующая линза выполнена в виде пар пластинчатых элементов, расположенных с возможностью размещения электрических полей этих пар в перекрещивающихся направлениях с образованием единого электрического поля, представляющего для электронов электрический барьер, причем пластинчатые элементы изогнуты в поперечном сечении по окружным образующим концентричных полых цилиндров. Патент РФ 2186666. В. Т. Доронин (То же) [22].

**Способ лазерной сварки металлов и сплавов**, отличающийся тем, что удаление поверхностного слоя материала осуществляют с одновременным формированием канала с боковыми стенками, покрытыми тонким слоем расплава, воздействием модульного излучения дополнительного лазера, и воздействие плавящего импульса начинают с временным сдвигом от начала генерации импульсов модулированного излучения дополнительного лазера. Патент РФ 2186667. Т. Т. Басиев, А. В. Федин, Е. А. Чащин, И. В. Шилев (Ковровская гос. технологическая академия) [22].

**Устройство автоматического управления положением сварочной головки**, отличающееся тем, что в устройство введен второй канал управления положением сварочной головки, содержащий последовательно соединенные датчик сварочного напряжения,

триггер Шмитта, аналоговый ключ, вход управления которого подключен к выходу датчика фазы сканирования, два выхода аналогового ключа подключены к соответствующим входам первого и второго инерционных звеньев первого порядка, выходы которых подключены к соответствующим входам устройства сравнения аналоговых сигналов, выход которого подключен через сглаживающий фильтр ко второму усилителю, выход которого подключен к приводу перпендикулярной коррекции к стыку. Патент РФ 2187414. В. М. Панарин, Д. С. Помелов, Э. В. Рощупкин (Тульский госуниверситет) [23].

**Способ электродуговой сварки**, при котором на внешнюю поверхность свариваемых кромок перед сваркой размещают слой активирующего флюса и производят сварку в среде защитных газов по этому слою, отличающийся тем, что дополнительно на внутренней торцевой поверхности свариваемых кромок перед сваркой размещают слой соли или смеси солей, выбранных из группы хлористых солей щелочных и щелочно-земельных металлов. Патент РФ 2187415. С. Г. Паршин [23].

**Способ изготовления электрода с износостойкой вставкой**, отличающийся тем, что на торце заготовки со стороны будущей рабочей части электрода формируют выступ, а отверстие под износостойкую вставку изготавливают в выступе, диаметр которого несколько больше диаметра вставки, при этом фиксацию вставки в отверстие осуществляют одновременно с формированием рабочей части электрода и выдавливанием его охлаждающего канала. Патент РФ 2187416. О. Г. Гринев, М. В. Вишняков (ЗАО «Орион Гринева») [23].

**Способ формирования внешней характеристики источника дуговой сварки**, заключающийся в получении напряжения путем сложения двух напряжений различных источников питания, отличающийся тем, что выходное напряжение источника получают векторным сложением двух напряжений, причем величины модулей этих напряжений, фазовый угол между ними, а также сумма этих напряжений являются функциями тока сварки. Патент РФ 2188104. В. В. Коваленко (ООО «Линкор») [24].

**Способ дуговой сварки**, при котором на поверхности кромок свариваемых деталей перед сваркой размещают ленту с активирующим флюсом и производят сварку в среде защитного газа, отличающийся тем, что ленту с активирующим флюсом выполняют в виде трехслойного пакета, причем слой флюса размещают между слоями ленты, выполненными из материала, нейтрального по отношению к свариваемому материалу. Патент РФ 2188105. С. Г. Паршин, Ю. В. Казаков, К. Б. Корягин (ЗАО «Авиационные технологии») [24].

**Способ стыковой контактной сварки сопротивлением деталей из разнородных металлов**, при котором на торце одной детали выполняют выступ, а на торце другой детали выточку, отличающийся тем, что выступ выполняют на торце детали с большим удельным сопротивлением, а выточку — на торце детали с меньшим удельным сопротивлением, при этом выбирают соотношение площадей сечения деталей в стыке из условия их прямой пропорциональности удельному сопротивлению материала свариваемых деталей. Патент РФ 2188106. В. Ф. Чернов (Электромеханический завод «Авангард») [24].

**Полуавтоматическая установка для диффузионной сварки трубчатых заготовок**, содержащая вакуумную камеру со съемной крышкой и системой обеспечения разрежения, поворотную планшайбу-накопитель с устройством для поворота на заданный угол, высокочастотный нагреватель с источником питания и силовой шток с приводом, установленный соосно с нагревателем. Приведены отличительные признаки установки. Патент РФ 2188107. А. Н. Семенов, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев и др. (ГУП «НИКИ Энерготехники») [24].

**Способ кадодной обработки поверхности металлической детали перед лазерной закалкой в электролите**, отличающийся тем, что в электролит, содержащий перманганат калия, вводят соединения амфотерных металлов до тех пор, пока электролит не станет насыщенным раствором амфотерных металлов и перманганата калия, процесс обработки проводят в нейтральной или в слабощелочной среде и при комнатной





температуре, плотность тока на катоде устанавливают в интервале 30...50 А/дм<sup>2</sup>. Патент РФ 2188108. А. М. Забелин, С. М. Фомин (ЗАО «Техно-Лазер») [24].

**Состав сварочной ленты и проволоки**, отличающийся тем, что он дополнительно содержит медь, алюминий, свинец, олово, сурьму, мышьяк, азот, кобальт, РЗМ при следующем соотношении массовой доли элементов, %: 0,01...0,025 углерода; 0,17...0,35 кремния; 1,3...1,7 марганца; 17,50...19,50 хрома; 10,00...11,00 никеля; 0,7...0,9 ниобия; 0,003...0,010 серы; 0,003...0,010 фосфора; 0,01...0,05 алюминия; 0,01...0,025 азота; 0,01...0,04 меди; 0,0005...0,001 свинца; 0,001...0,005 мышьяка; 0,001...0,005 олова; 0,001...0,005 сурьмы; 0,01...0,05 кобальта; 0,05...0,10 РЗМ; остальное железа. Патент РФ 2188109. И. В. Горынин, Г. П. Карзов, С. Н. Галяткин и др. (ЦНИИИМ «Прометей», ОАО «Ижорские заводы») [24].

#### Композитный электрод

**1) для механизированной наплавки**, отличающийся тем, что присадка электрода дополнительно содержит хром и никель при следующем соотношении компонентов электрода, мас. %: 12...15 алюминия; 0,5...0,9 хрома; 0,3...0,4 никеля; остальное стальная малоуглеродистая основа.

**2) электрод по п. 1**, отличающийся тем, что предназначен для механизированной наплавки под слоем флюса на основе оксидов кремния и марганца. Патент РФ 2188110. В. Г. Путилин, В. П. Туркин, М. Р. Николаенко и др. (Автономная некоммерческая организация, Аттестационный центр по сварочному производству Брянской области) [24].

**Способ дуговой наплавки неплавящимся электродом**, при котором в сварочную ванну подают присадочную проволоку, отличающийся тем, что производят возмущение хвостовой части единичной сварочной ванны и одновременное ее растяжение присадочной проволокой. Патент РФ 2188750. И. И. Столяров, С. В. Цыпков (ОАО «Пермский моторный завод») [25].

**Способ наплавки аустенитными электродными материалами углеродистых сталей под флюсом с принудительным охлаждением струй сжиженного азота**, подаваемого в зону охлаждения в интервале температур 500...800 °С, отличающийся тем, что струю азота в зону охлаждения подают через кордоцетку, вращающуюся с частотой 500...1500 мин<sup>-1</sup> в одном направлении с деталью, причем угол между осями вращения детали и кор-

доцетки изменяется от 45 до -45° с частотой, большей частоты вращения детали в 2...4 раза. Патент РФ 2189889. А. Б. Коберниченко, А. С. Ухалин, А. Н. Филатов (Военный автомобильный институт) [27].

**Устройство для наплавки плоских поверхностей изделий**, содержащее базовую платформу для закрепления наплавляемого изделия, установленную в горизонтальных направляющих с возможностью возвратно-поступательного подпружиненного перемещения относительно наплавочной головки посредством приводного механизма, кинематически соединенного с базовой платформой. Приведены отличительные признаки устройства. Патент РФ 2189890. А. Н. Макаров (ГУП Забайкальская железная дорога) [27].

**Источник питания сварочной дуги переменного тока**, отличающийся тем, что в источник введен дополнительный компенсирующий конденсатор, при этом один из выводов нормально замкнутых контактов реле дуги подключен к одной из клемм питающей сети, а другой вывод — к одному из выводов дополнительного компенсирующего конденсатора, причем второй вывод дополнительно компенсирующего конденсатора подсоединен ко второй клемме питающей сети. Патент РФ 2189891. А. В. Агунов, М. В. Агунов, Г. М. Короткова и др. [27].

**Способ формирования внешней вольт-амперной характеристики сварочного генератора постоянного тока**, включающий изменение величины тока обмотки возбуждения электромашинного генератора с помощью контура обратной связи, в котором осуществляют формирование двух управляющих сигналов. Приведены отличительные признаки способа. Патент РФ 2189892. А. А. Иванов, В. Г. Березняков, В. В. Зотиков (ЗАО «Завод электросварочного оборудования «ЭЛИС») [27].

**Устройство для сборки и сварки полых изделий**, отличающиеся тем, что его оправка выполнена из двух частей треугольного сечения, представляющего собой в сборе прямоугольный, разрезанный по диагонали, при этом основания треугольных профилей имеют выступы с наклонными поверхностями, которые взаимодействуют между собой и имеют возможность перемещения относительно друг друга посредством винта, установленного в кронштейне одной из частей и взаимодействующего с резьбовым отверстием другой части. Патент РФ 2189893. Б. Н. Рогоуленко, Н. Б. Рогоуленко, А. Ф. Карманов (ОАО «Юргинский машзавод») [27].

## ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ЖУРНАЛАМ\*



(Великобритания), 2002.  
— № 117 (англ. яз.)

**Reignier C.** Высокоэффективные полимерные покрытия для защиты компонентов, с. 1.

**Lorentzen T.** Ввод в эксплуатацию первого в Дании цеха для сварки трением с перемешиванием, с. 3.

**Knight A.** Экструзионная сварка термопластов (практические рекомендации), с. 4–5.

**Brightmore A.** Новая версия программного обеспечения CRACKWISE, с. 7.



(Германия), 2001. — № 1  
(англ. яз.)

**Silny J., Aspacher K.-G., Dilthey U et al.** Совместимость с электромагнитной окружающей средой установок для контактной точечной сварки, с. 20, 22–27.

**Schmoor H.** Методы замены высокотемпературных припоев на основе никеля и меди/фосфора, с. 28–31.

**Bouaifi B., Ait-Mekideche A., Gebert A., Wocilka D.** Использование высокотемпературной азотсодержащей плазмы для нанесения химически активного покрытия с помощью плазменно-дуговой наплавки, с. 32–35.

**Kannengiesser T.** Образование сварочных напряжений и деформаций при переменных режимах крепления во время испытания сварочного элемента, с. 36–37.

**Schilf M., Horber H.** Датчики для сварки открытой дугой, с. 38–41.

(Германия), 2002. —  
№ 2 (англ. яз.)

**Сварка** по-прежнему остается одной из самых важных областей применения промышленных роботов, с. 58–59.

**Lorenz G., Heitz S., Treder M.** Автоматизированная наплавка, применяемая в бойлерных установках, с. 62–63.

**Farnusch K., Heyse T., Michel G. et al.** Мобильная система для ручной лазерной сварки, с. 64–65.

**Нестационарная дуговая сварка**, с. 66.

\* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона. Более полно библиография представлена в Сигнальной информации (СИ) «Сварка и родственные технологии», издаваемой в ИЭС и распространяемой по заказам (заказ по тел. (044) 227 07 77, НТБ ИЭС).



**Heinemann J., Brill U.** Присадочный металл для дуплексных азотосодержащих сталей 6Mo, с. 70–73.

**Использование** неорганических, неметаллических связующих слоев для высокотемпературных областей, с. 74–76.

**Сварка** алюминиевых материалов в производстве железнодорожных вагонов. Вопросы качества, с. 76–79.

**Aichele G.** Влияние расстояния между токопроводящим мундштуком и изделием при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитного газа, с. 80–83.

**Bach F.-W., Lugscheider E.** Новейший обзор технологии термического напыления, с. 83–86.

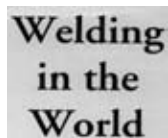
**Matthes K.-J., Kohler T.** Процесс гибридной плазменной МИГ сварки, с. 87–90.

**Nassenstein K.** Концепция новой установки для термического напыления, с. 93–95.

**Zhang G., Eibl M., Singh S. et al.** Методы прогнозирования усталостной долговечности нахлесточных сварных швов, выполненных лазерной сваркой, подверженных напряжениям при сдвиге, с. 96–103.

**Knepper M., Melzer A.** Электродуговое напыление как средство надежной коррозионной защиты железобетона, с. 104–107.

**Neuhauser M., Furche T., Dahms S.** Соединение неорганических, неметаллических материалов с разными коэффициентами теплового расширения с помощью градиентных лент, с. 108–111.



(Франция), 2001. —  
№ 5/6 (англ. яз.)

**Ohata A., Maeda Y., Suzuki N.** Продление усталостной долговечности за счет ремонта усталостных трещин, возникающих вокруг швов коробчатой конфигурации, сваренных с помощью проволоки с низкой температурой превращения. Док. ПW-1507-00 (ранее док. XIII-1835-00), с. 3–8.

**Weber G., Burmeister J.** Контроль процесса точечной контактной сварки на переменном токе в реальном масштабе времени с помощью нечеткой классификации. Док. ПW-1537-01 (ранее док. III-1156-00), с. 9–14.

**Potente H., Becker F., Fiegler G., Korte J.** Исследования по применению новой технологии лазерной сварки. Док. ПW-1536-01 (ранее док. XVI-792-01), с. 15–20.

**Farkas J., Jarmai K.** Предложенные изменения некоторых подразделов анкеты европейского инженера-сварщика в области расчета сварных конструкций. Док. ПW-1541-01 (ранее док. XIV-747-01), с. 21–24.

**Farrar J. C. M., Marshall A. W., Zhang Z.** О влиянии висмута на свойства узлов, сваренных порошковой проволокой из нержавеющей стали, работающих при повышенных температурах. Док. ПW-1498-00 (ранее док. IX-1974-00), с. 25–31.

**Marshall A. W., Farrar J. C. M.** Сварка ферритных и мартенситных сталей с 11...14 % Cr. Док. ПW-1499-00 (ранее док. IX-1975-00), с. 32–55.



(США), 2002. — Vol. 81,  
№ 1 (англ. яз.)

**Johnsen M. R.** Сварка помогает фирме «Кодак» обеспечить отличное качество ремонтно-строительных работ, с. 22–26.

**Перемены** в области строительства барж, с. 27–29.

**Johnsen M. R.** Новшества в судостроительной отрасли в Филадельфии, с. 30–34.

**Chuko W. L., Gould J. E.** Развитие соответствующей технологии контактной точечной сварки для сталей, упрочненных в результате фазового превращения, с. 1–7.

**Kang Y. H., Na S. J.** Исследование моделирования магнитного отклонения дуги и динамический анализ датчика дуги, с. 8–13.

**Zhang S.** Напряжения в нахлесточных соединениях, выполненных лазерной сваркой, определенные деформацией наружной поверхности, с. 14–18.

WELDING TECHNIQUE (Япония), 2001. —  
Vol. 49, № 1 (яп. яз.)

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ XXI ВЕКА

**Круглый стол** в Интернете, с. 58.

**Нисикава Х., Оудзи Т.** Сварка в космосе, с. 69.

**Хасэгава Х.** Будущее заводской сварки, с. 76.

**Асан С., Аояма К., Сакума М. и др.** Дистанционные системы контроля качества сварки на базе информационных технологий, с. 82.

**Исидэ Т.** Современные направления разработки технологий лазерной обработки, с. 88.

**Комидзо Ю.** Технологии сварки и соединения черных металлов, с. 91.

**Суга Т., Курокава Т.** Сварка и экологические проблемы, с. 95.

**Такахаси Н.** Новейшее оборудование для сварки МАГ в CO<sub>2</sub>, с. 111.

**Новый** взгляд на ультразвуковую бесфлюсовую пайку, с. 117.

**Сантоу Т.** Наплавочные материалы и их свойства, с. 118.

**Разработка** автоматизированных систем для заводской сварки ТИГ с целью повышения производительности линий, с. 125.

## ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

**Работы** для дуговой сварки, с. 134.

**Плазменная** сварка, с. 139.

2001. — Vol. 49,  
№ 2 (яп. яз.)

## СВАРКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

**Токисуэ Х.** Соединение магниевых сплавов, с. 58.

**Михара Т.** Сварка чугуна и стального литья, с. 65.

**Нацумэ С.** Сварка никеля и его сплавов, с. 72.

**Наката К.** Сварка молибдена и его сплавов, с. 77.

**Нагатоми К.** Подкладки для сварки, с. 84.

**Сугисаки М.** Выводные планки. Типы стальных планок и их выбор, с. 90.

**Ямамото М.** Удаление окалины при сварке нержавеющей стали, с. 94.

**Исикава О.** Применение средств против налипания брызг, с. 100.

**Мацуока М.** Обработка электродов шлифовальным кругом, с. 102.

**Новейшие** японские технологии сварки вагонов скоростных поездов, с. 108.

**Заводская** сварка крупногабаритных конструкций, с. 109.

**Нагатани К.** Основные направления развития сварки МАГ, с. 113.

## ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

**Сварочное** оборудование, с. 117.

**Плазменная** сварка, с. 121.

**Лекции** по методам неразрушающего контроля

**Оока Н.** Лекция 1. НРК сварных швов, с. 125.

2001. — Vol. 49,  
№ 3 (яп. яз.)

## ПУТИ РАЗВИТИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Номото Т., Такэти С.** Виртуальное конструирование, с. 62.

**Исигаки К., Ёдогава Я., Коива Т. и др.** Виртуальное машиностроение, с. 68.

**Такахаси Н.** Моделирование процессов лазерной сварки, с. 74.

**Касуя Т.** Прогнозирование свойств соединений, выполненных дуговой сваркой на виртуальных заводах, с. 79.

## НОВЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

**Фудзия К.** Направления развития и применения оборудования оперативного управления для контактных машин, с. 84.



**Коуяма К.** Соединение стальной проволоки с изоляционным покрытием с использованием нагрева сопротивлением на оборудовании для контактной микросварки (фудзинг-способ), с. 89.

**Магата А., Фудзикара Т.** Измерение усилия на электроде в пистолете сервоманипулятора во время сварки, с. 93.

**Фукуда Т.** Сварка и соединение пластмасс в Британском институте сварки, с. 99.

**Сварка** алюминиевых конструкций в автомобилестроении, с. 105.

**Повышение** производительности заводских линий, с. 106.

**Иба Т.** Сварки меди и ее сплавов, с. 111.

**Ёкота Х.** Проблемы патентования в Японии, с. 116.

#### ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

**Сварочное** оборудование, с. 121.

**Плазменная** сварка, с. 125.

**Лекции** по методам неразрушающего контроля

**Аракава Т.** Лекция 2. Ультразвуковая дефектоскопия, с. 128.

**Билеты** аттестационных экзаменов, с. 134.

2001. — Vol. 49,  
№ 4 (яп. яз.)

#### РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

**Круглый стол.** Реконструкция производства, с. 58.

**Имаи Х.** Реконструкция производства в станкостроении, с. 69.

**Хоси Р.** Усовершенствование производства трубчатых опор, с. 75.

**Ёкои Т.** Деятельность Ассоциации по активизации промышленности, с. 78.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ

**Каямото Т.** Применение пайки, с. 83.

**Фукан Т., Каида Х., Сагоу Ё.** Применение современных технологий пайки, с. 88.

**Мацу Т.** Пайка в газовой среде, с. 93.

**Онодзука Ё., Чан М.** Использование ультразвука для сварки металлов и соединения пластмасс, с. 100.

**Причины** повреждения и способы повышения долговечности барабанов для коксования, с. 105.

**Снижение** стоимости производства каркасов для сварочных автоматов на рулевой колонке за счет роботизации, с. 106.

**Нагао Ё., Урабэ Х., Кавабата Дз.** Применение роботов для моделирования, с. 110.

**Аоки Х., Накагоми Т., Маруока Ё. и др.** Аттестация операторов роботов для сварки строительной арматуры, с. 115.

**Коутаки Х.** Экзаменационный справочник по сварке титана. Ч. 1. Теоретический курс по титану, с. 120.

#### ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

**Плазменная** сварка, с. 127

**Лекции** по методам неразрушающего контроля

**Накамура К.** Лекция 3 по радиографическому контролю, с. 130