



# Сварочное производство

2 (867)  
Февраль  
2007

**УЧРЕДИТЕЛЬ:**

**Издательский центр "Технология машиностроения"**

Издается с января 1930 года

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

**Редакционная коллегия:**

Гл. редактор **В. А. Казаков**

Зам. гл. редактора **Н. В. Посметная**

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

**Редакция:**

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

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

**Адрес редакции:**

129626, Москва, проспект Мира, 106.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 78,

ОАО "Издательство "Машиностроение"  
(для журнала "Сварочное производство").

Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;  
редакция — (495) 682 3856.

Факс: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

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

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

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

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

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

За содержание рекламных материалов ответствен-  
ность несет рекламодатель.  
Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Раямяки П., Кархин В. А., Хомич П. Н.** — Определение основных характеристик температурного поля для оценки типа затвердевания металла шва при сварке плавлением \_\_\_\_\_ 3
- Гущин А. Н., Пачурин Г. В.** — Механические характеристики сварных соединений из титана при циклическом нагружении \_\_\_\_\_ 7
- Овчаренко Ю. Н.** — Методика оценки малоциклового усталости сварных соединений на основе энергетического критерия J-интеграл \_\_\_\_\_ 11
- Латыпова Е. Ю., Цумарев Ю. А.** — Анализ критериев оценки смачивающей способности материалов при испытаниях на паяемость \_\_\_\_\_ 18
- Бардин В. М., Борисов Д. А.** — Оптимизация режима работы высокочастотных сварочных аппаратов по критерию минимума потерь \_\_\_\_\_ 23

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Зенин В. В., Бокарев Д. И., Козинцев О. Г.** — Дистанционный метод контроля трещин в материалах и сварных швах \_\_\_\_\_ 26
- Кудрявцев Ю. И.** — Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях "АЛИКС" \_\_\_\_\_ 28
- Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.** — Плазменная наплавка (обзор) \_\_\_\_\_ 32
- Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б., Чичеров С. Н., Калганов А. Н., Лазарева В. П., Корольков П. М.** — Технология местной термической обработки сварных соединений реактора Р-1-201 с использованием комбинированного нагрева \_\_\_\_\_ 41

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.** — Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике \_\_\_\_\_ 43

### ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Петров А. П., Галкин В. И., Соколов В. С.** — Практика непрерывной информационно-компьютерной подготовки студентов-технологов \_\_\_\_\_ 48

### ИНФОРМАЦИЯ

- Иванов А. Н.** — 3-я Международная выставка "Российская неделя контрольно-измерительного оборудования" \_\_\_\_\_ 50

### БИБЛИОГРАФИЯ

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



**FOUNDER:**

**Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"**

Published since January 1930

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

**Editorial board:**

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

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

**Editorial staff:**

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

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

*Address of the editorial office:*

Prospekt Mira, 106, Moscow.

*For correspondence:*

"Mashinostroenie" Publishers,  
P.O.B. 78, Moscow, 129626, Russia  
(for "Svarochnoe Proizvodstvo").

Phones: (495) 687 6316 — Editor-in-Chief;  
682 3856 — Editorial office.

Fax: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

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

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

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

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

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

Registration certificate ПИ N 77-7778.

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

## CONTENTS

### SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Rayamyaki P., Karkhin V. A., Khomich P. N.** — Temperature field main characteristics determination to estimate weld metal freezing type at fuse welding \_\_\_\_\_ 3
- Guschin A. N., Pichugin G. V.** — Titanium welded joints mechanical properties at repeated loading \_\_\_\_\_ 7
- Ovcharenko Yu. N.** — Welded joints low endurance fatigue estimation procedure on the basis of the J-integral power criterion \_\_\_\_\_ 11
- Latypova Ye. Yu., Tsumarev Yu. A.** — Analysis of the material wettability evaluation criteria at solderability tests \_\_\_\_\_ 18
- Bardin V. M., Borisov D. A.** — Welding apparatus operation mode optimisation according to the criterion of minimum losses \_\_\_\_\_ 23

### PRODUCTION SECTION

- Zenin V. V., Bokarev D. I., Kozintsev O. G.** — Crack remote control in materials and welds \_\_\_\_\_ 26
- Kudryavtsev Yu. I.** — Reinforcing fabric production power-consuming reduction at the "ALIKS" automatic transfer lines \_\_\_\_\_ 28
- Gladky P. V., Pereplechikov Ye. F., Ryabtsev I. A.** — Plasma-jet hard-facing: A Review \_\_\_\_\_ 32
- Babkin V. A., Lavrov A. I., Lovyrev P. B., Chicherov S. N., Kalganov A. N., Lazareva V. P., Korolov P. M.** — The P-1-201 reactor welded joints local thermal treatment technique applying combined heating \_\_\_\_\_ 41

### ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Bernadsky V. N., Makovskaya O. K.** — Welding production and welding equipment market in modern economics \_\_\_\_\_ 43

### EDUCATION & PERSONNEL TRAINING

- Petrov A. P., Galkin V. I., Sokolov V. S.** — Practice of students' regular information-computer education as production engineers \_\_\_\_\_ 48

### INFORMATION

- Ivanov A. N.** — The 3<sup>rd</sup> International exhibition "The Russian week of test equipment" \_\_\_\_\_ 50

### BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding \_\_\_\_\_ 55
- RF patents**, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding \_\_\_\_\_ 57
- Abstracts** of the published articles \_\_\_\_\_ 61

УДК 621.791.01:669

**П. РАЯМЯКИ**

(Технический университет, Лаппеенранта, Финляндия),

**В. А. КАРХИН**, д-р техн. наук, **П. Н. ХОМИЧ**, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

## Определение основных характеристик температурного поля для оценки типа затвердевания металла шва при сварке плавлением

Структура и свойства металла шва зависят в основном от типа затвердевания жидкого металла сварочной ванны. В настоящее время приняты различные физические и математические модели затвердевания, позволяющие анализировать кристаллизационные процессы при сварке [1—5 и др.]. Для анализа в качестве исходных данных необходима информация о температурном поле: геометрии фронта затвердевания и значениях скорости затвердевания и температурного градиента на этом фронте.

Цель данной работы — разработка математической модели трехмерного температурного поля для оценки типа затвердевания жидкого металла сварочной ванны. Расчетный метод основан на аналитическом решении прямой задачи теплопроводности и численном решении обратной задачи с использованием некоторых экспериментальных данных.

Примем следующие допущения:

- тело (плоский слой) однородно и не ограничено по длине и ширине;
- свойства материала (теплопроводность  $\lambda$  и температуропроводность  $a$ ) не зависят от температуры;
- поверхность тела теплоизолирована;
- начальная температура  $T_\infty$  постоянна;
- центр источника и начало прямоугольной системы координат  $X, Y, Z$  движутся по поверхности тела вдоль оси  $X$  с постоянной скоростью  $v$  в течение времени  $t$  (рис. 1);
- источник теплоты поверхностный, нормально круговой и его плотность мощности

$$q_2(x, y) = q_{2\max} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{r_e^2}\right);$$

$$q_{2\max} = \frac{q}{\pi r_e^2},$$

где  $q_{2\max}$  — максимальная плотность эффективной мощности источника;  $r_e$  — радиус источника;  $q$  — эффективная мощность источника.

Тогда решение температурной задачи может быть получено методом источников [6]:

$$T(x, y, z, t) - T_\infty = \frac{q}{4\pi^{3/2} a^{1/2} \lambda} \int_0^t \frac{1}{\tau^{1/2} (\tau + t_0)} \times \\ \times \exp\left[-\frac{(x + v\tau)^2 + y^2}{4a(\tau + t_0)}\right] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(z - 2nh)^2}{4a\tau}\right] d\tau;$$

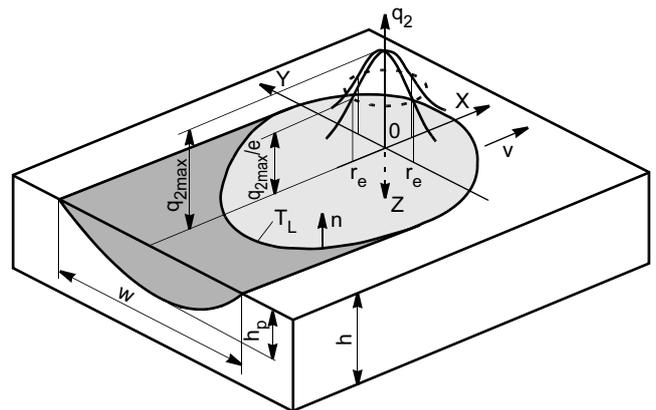


Рис. 1. Схема сварочной ванны и подвижного нормально распределенного источника на поверхности пластины ( $h$  — толщина пластины,  $h_p$  — глубина проплавления,  $w$  — ширина шва)

$$T(x, y, z, t) - T_{\infty} = \frac{q/h}{4\pi\lambda} \int_0^t \frac{1}{\tau + t_0} \times \\ \times \exp\left[-\frac{(x+v\tau)^2 + y^2}{4a(\tau + t_0)}\right] \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{\pi n z}{h}\right) \times \right. \\ \left. \times \exp\left(-\pi^2 n^2 \frac{a\tau}{h^2}\right)\right] d\tau,$$

где  $t_0 = r_e^2/4a$ .

При  $t \rightarrow \infty$  температурное поле становится квазистационарным. Формулы позволяют рассчитать температурное поле и все его характеристики (границу сварочной ванны, поле максимальных температур, градиенты и др.). С целью ускорения компьютерного времени первой формулой рекомендуется пользоваться при значениях критерия Фурье  $a\tau/h^2$  менее  $10^{-5}$ , а второй — более  $10^{-5}$ .

Если учитывать распределение источника по толщине тела и ограниченность источника по осям  $X$  и  $Y$ , решение температурной задачи усложняется [7]. При необходимости влияние теплоты плавления и затвердевания можно учесть дополнительно [8].

Вектор неизвестных параметров источника  $\mathbf{p} = \{q, r_e\}$  определим из условия оптимального приближения расчета и экспериментальных данных [7]:

$$F(\mathbf{p}) = \sum_{n=1}^N w_n [f_n^m - f_n(\mathbf{p})]^2 \rightarrow \min,$$

где  $N$  — количество измерений;  $w_n$  — весовой множитель для характеристики температурного поля в  $n$ -й точке (задается исследователем в зависимости от размерности и погрешности измерения);  $f_n^m$ ,  $f_n$  — заданная и расчетная характеристики температурного поля в  $n$ -й точке измерения (температура, максимальная температура и др.).

Глобальный минимум функции цели  $F$  можно определить с помощью известных алгоритмов.

Процесс затвердевания металла при сварке является неравновесным. В зависимости от состава сплава и условий затвердевания граница твердой и жидкой фаз и, следовательно, тип затвердевания может быть плоский (планарный), ячеистый, дендритный и равноосный [4]. Механизм затвердевания обычно описывают на основе теории концентрационного (конституционного) переохлаждения [1—4].

Примем следующие допущения:

— состояние сварочной ванны квазистационарное в подвижной системе координат, а затвердевание жидкого металла непрерывное (недискретное);

— перед фронтом затвердевания образуется тонкий слой повышенной концентрации растворенного элемента  $C$ , так как его растворимость в жидком металле выше, чем в твердом (рис. 2, а);

— толщина слоя повышенной концентрации мала относительно радиуса кривизны траектории оси зерна и время формирования слоя относительно мало;

— массоперенос в слое повышенной концентрации происходит только по закону диффузии, т. е. влияние конвекции жидкого металла не учитывается, так как толщина этого слоя значительно меньше толщины пограничного слоя;

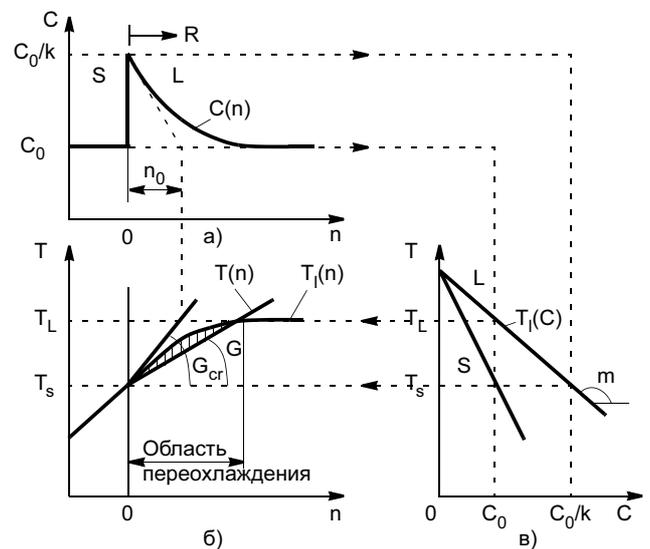
— массоперенос в твердом металле отсутствует.

При принятых допущениях диффузионная задача является одномерной и имеет следующее решение [2, 3]:

$$C(n) = C_0 \left[1 + \frac{1-k}{k} \exp\left(-\frac{R}{D}n\right)\right],$$

где  $n$  — нормаль к фронту затвердевания (см. рис. 1);  $C_0$  — средняя концентрация ликвирующего элемента в сплаве;  $k$  — коэффициент ликвации (см. рис. 2, а, в);  $R$  — скорость затвердевания;  $D$  — коэффициент диффузии элемента в жидком металле.

Размер слоя повышенной концентрации можно приблизительно характеризовать толщиной  $n_0 = D/R$ . Для обычных дуговых и лучевых способов сварки  $n_0 < 2$  мкм [3], так как коэффициент диффузии на несколько порядков меньше температуропроводности. Приведенная модель соответствует принятой классификации [3].



**Рис. 2. Концентрационное переохлаждение при затвердевании сплава:** а — повышенная концентрация растворенного элемента  $C$  перед фронтом затвердевания; б — концентрационное переохлаждение жидкого металла; в — фазовая диаграмма ( $T_L$  — температура ликвидуса сплава при концентрации  $C_0$ )

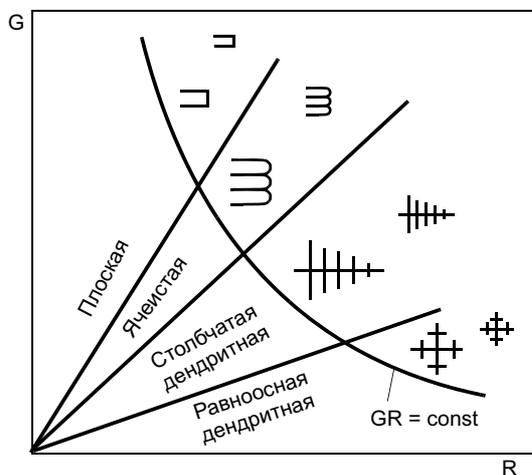


Рис. 3. Схематическое представление областей образования микроструктуры при затвердевании сплава

По распределению  $C(n)$  с учетом фазовой диаграммы (см. рис. 2, в) можно получить распределение температуры ликвидус  $T_L(n)$  и его градиент на границе раздела фаз (рис. 2, б) [2, 3]:

$$G_{cr} = \left. \frac{dT_L(n)}{dn} \right|_{n=0} = \frac{m(k-1)C_0}{kD} R,$$

где  $m$  — наклон прямой ликвидус на фазовой диаграмме, равный  $dT_L(C)/dC$  (см. рис. 2, в).

Если градиент  $G$  действительной температуры  $T(n)$  больше  $G_{cr}$ , тогда морфология твердожидкой границы (типа роста субзерен) плоская. Если  $G < G_{cr}$ , то существует зона переохлаждения жидкости (на рис. 2, б заштрихована). В последнем случае в зависимости от отношения  $G/R$  (степени переохлаждения и размера зоны) морфология границы может быть ячеистой, столбчатой дендритной или равноосной дендритной (рис. 3). Известные теории не позволяют количественно прогнозировать переход от ячеистого к столбчатому дендритному или от столбчатого дендритного к равноосному дендритному типу затвердевания в зависимости от типа образующейся структуры. Однако известно, чем больше степень переохлаждения (чем меньше  $G/R$ ), тем вероятнее для данного сплава переход от плоского к ячеистому и даже к дендритному типу затвердевания [3, 4].

Шкала структуры при затвердевании следует другому закону: чем выше скорость охлаждения  $GR$ , тем мельче ячеистая, столбчатая дендритная и равноосная структуры (см. рис. 3) [4].

Отметим, что градиент температуры  $G$  в твердожидкой области слабо зависит от теплоты затвердевания [8]. Скорость затвердевания определяется простой формулой:  $R = v \cos \alpha$  ( $v$  — скорость сварки,  $\alpha$  — угол между нормалью  $n$  и осью  $X$ ). Предполагается, что направление роста кристаллов совпадает с нормалью  $n$  (см. рис. 1). Если учитывать направление роста зерна согласно его металлографической ориентации, то решение задачи усложняется [3, 9]. Так как обычно ванна выпуклая, то по мере роста кристалла угол  $\alpha$  и, следовательно, скорость затвердевания  $R$  увеличиваются монотонно. При прерывистом затвердевании мгновенная скорость может значительно превышать скорость  $R$ , усредненную за цикл затвердевания [10]. Достаточно разработанная модель прерывистого затвердевания при сварке отсутствует, поэтому практически применяют усредненную скорость  $R$  (см. рис. 3).

**Пример.** Аргонодуговую сварку неплавящимся электродом чистой меди (99,999 % Cu с добавкой лития) толщиной  $h = 3$  мм выполняли на режиме: ток 320 А, напряжение дуги 12,5 В, скорость сварки  $v = 16,67$  мм/с, начальная температура  $T_\infty = 293$  К. Принимали следующие свойства:  $a = 87,08$  мм/с<sup>2</sup>,  $\lambda = 0,352$  Вт/(мм · К),  $T_L = 1356$  К [11]. В качестве ис-

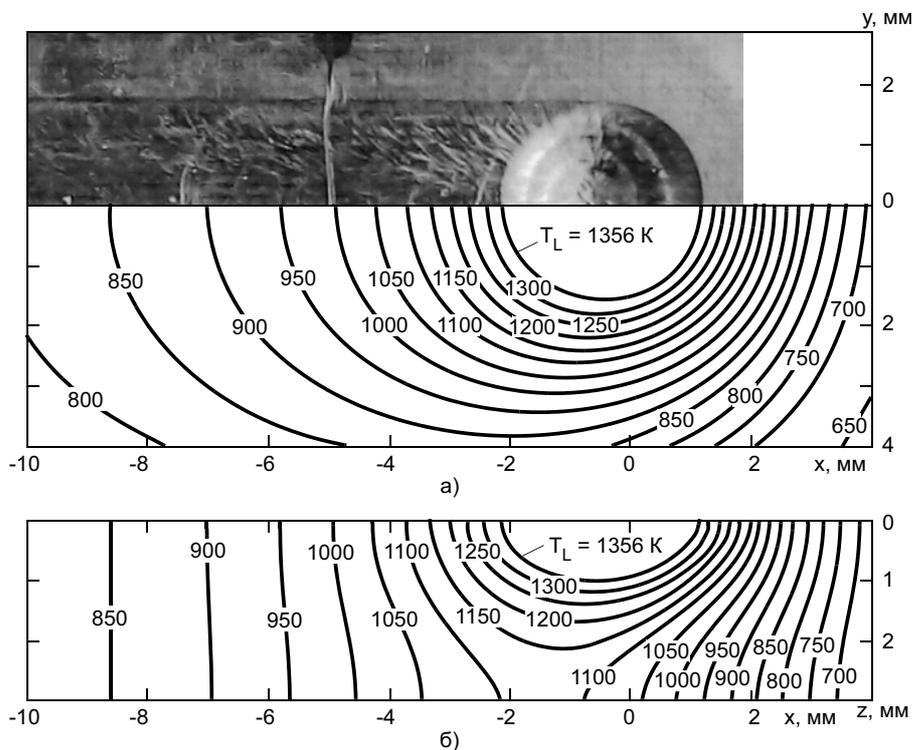


Рис. 4. Температурное поле на поверхности пластины (а) и в продольном сечении шва (б)

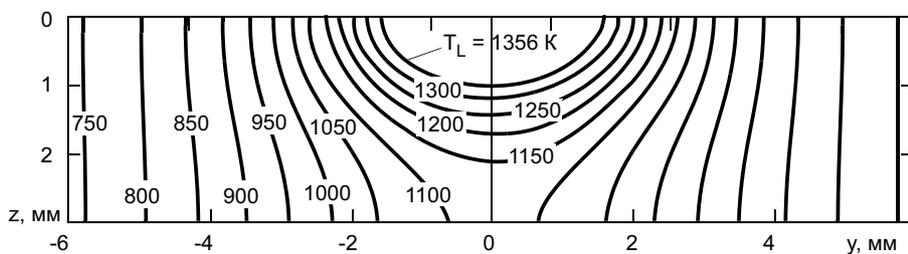


Рис. 5. Поле максимальных температур в поперечном сечении пластины

ходных данных принимали  $w = 3,2$  мм и  $h_p = 1,0$  мм. В двух точках поперечного сечения тела задавали максимальную температуру ( $T_{max} = T_L$ ). Допускали, что источник поверхностный, нормально круговой. Так как скорость сварки относительно теплопроводности меди мала, то теплоту плавления и затвердевания не учитывали [12]. Решение обратной задачи: эффективный КПД дуги 75,0 %, эффективный радиус  $r_e = 1,79$  мм.

Расчетные и экспериментальные размеры сварочной ванны и шва удовлетворительно совпадают (рис. 4, а). По форме граница ванны близка к окруж-

ности на поверхности и полуэллипсу в продольном сечении. Расчет показывает и эксперимент подтверждает, что после выключения дуги ванна сужается, ее границы на поверхности остаются почти концентрическими окружностями и последний жидкий металл затвердевает в центре окружностей (кратера), а не на оси дуги.

Центр источника ( $x = y = 0$ ) заметно смещен к передней границе ванны. Пластина подвергается высокому сквозному нагреву несмотря на то, что глубина проплавления составляет только треть толщины (рис. 4, б и 5).

На рис. 6 приведены распределения основных показателей температурного поля в двух характерных сечениях: по ширине на поверхности ( $z = 0$ ) и глубине в плоскости симметрии ( $y = 0$ ). По мере роста зерен от границы шва до его центра скорость затвердевания  $R$  растет от 0 до скорости сварки, а отношение  $G/R$  значительно растет только около границы шва.

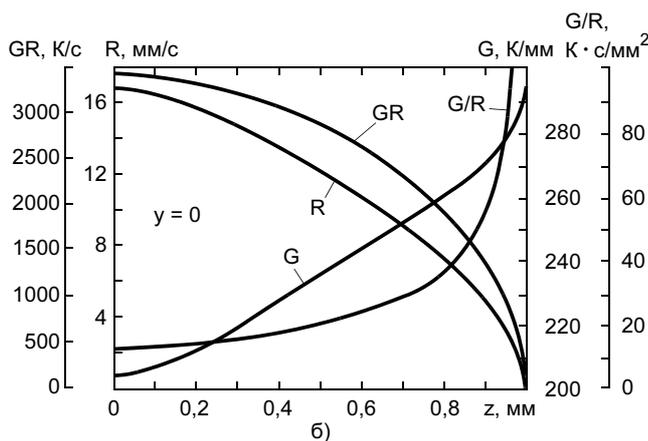
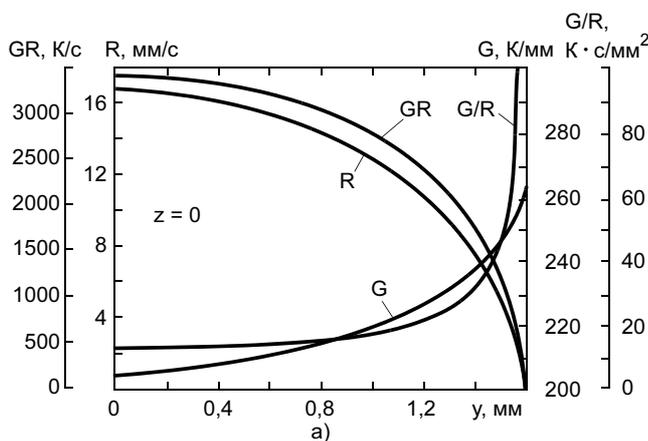


Рис. 6. Распределение градиента температуры  $G$ , скорости затвердевания  $R$  и параметров  $G/R$  и  $GR$  на границе хвостовой части ванны на поверхности пластины (а) и в продольном сечении шва (б)

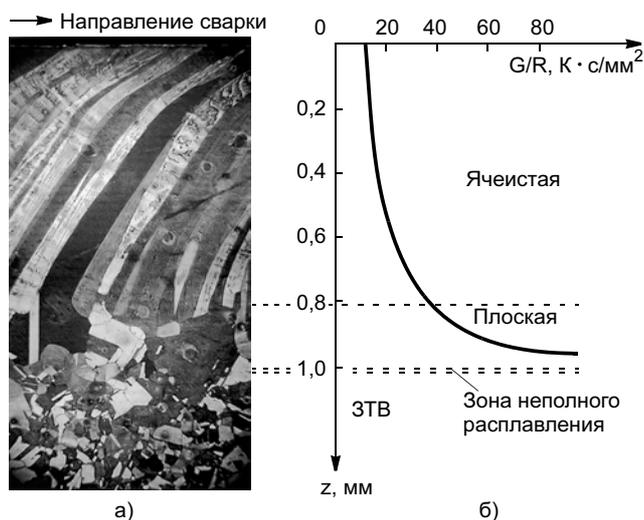


Рис. 7. Структура металла в продольном сечении шва (а) и распределение отношения  $G/R$  по глубине шва (б)

Как видно на рис. 7, продольное сечение состоит из широкой ЗТВ (так как обратная сторона пластины нагревается до высокой температуры), узкой зоны неполного плавления и металла шва, имеющего плоскую и ячеистую морфологию. Переход от плоской морфологии к ячеистой происходит при отношении  $G/R = 35$   $K \cdot c/mm^2$ . Вблизи поверхности шва заметно искривление оси зерен. Как показывают эксперименты, при сварке чистой меди столбчатая и равноосная структуры не образуются даже при скорости сварки 500 мм/с.

## ВЫВОДЫ

1. Предложенная расчетная методика позволяет полностью воссоздать температурное поле по геометрическим размерам сварного шва.

2. С помощью предложенной методики можно оценить тип затвердевания металла шва при сварке плавлением.

3. При аргонодуговой сварке чистой меди тип затвердевания только плоский и ячеистый.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Easterling K.* Introduction to the physical metallurgy of welding. Second edition. Butterworth — Heinemann Ltd, 1992. 270 p.
2. *Kurz W., Fisher D. J.* Fundamentals of solidification. Trans Tech Publications Ltd, 1998. 305 p.
3. *Messler R. W.* Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy. John Wiley & Sons, 1999. 662 p.
4. *Kou S.* Welding metallurgy. Second edition. John Wiley & Sons, 2003. 461 p.

5. *Rappaz M., Bellet M., Deville M.* Numerical modeling in materials science and engineering. Springer, 2003. 540 p.

6. *Кархин В. А.* Тепловые основы сварки. Л.: ЛГТУ, 1990. 100 с.

7. *Расчетно-экспериментальная методика определения температурного поля при лазерной сварке / В. А. Кархин, П. Н. Хомич, Р. Оссенбринк, В. Г. Михайлов // Сварочное производство. 2006. № 12. С. 13—17.*

8. *Влияние теплоты плавления и кристаллизации на термический кпд процесса проплавления / В. А. Кархин, А. С. Ильин, В. В. Плошихин, А. А. Приходовский // Сварочное производство. 2004. № 10. С. 3—8.*

9. *Кархин В. А., Плошихин В. В., Бергманн Х. В.* Моделирование тепловых и кристаллизационных процессов при лазерной сварке алюминиевых пластин // Автоматическая сварка. 2002. № 8. С. 11—15.

10. *Махненко В. К., Сапрыкина Г. Ю.* К вопросу прерывистости кристаллизации металла сварного шва // Автоматическая сварка. 2005. № 11. С. 7—10.

11. *Физические величины: Справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.*

12. *Кархин В. А., Ильин А. С., Плошихин В. В.* Решение обратной задачи теплопроводности с учетом теплоты плавления и кристаллизации // Сварочное производство. 2003. № 7. С. 3—6.

УДК 621.791:669.295

**А. Н. ГУЩИН, канд. техн. наук, Г. В. ПАЧУРИН, д-р техн. наук**  
**Нижегородский государственный технический университет**

## Механические характеристики сварных соединений из титана при циклическом нагружении

Снижение усталостных характеристик сварных соединений из титана, как правило, обусловлено влиянием напряжений, которое оценивают в связи с изменением формы (геометрии) шва и внутренних дефектов (пор, включений и т. д.), остаточных напряжений, а также образованием в процессе сварки крупнозернистой ОШЗ [1, 2].

Анализ данных научно-технических работ [3—6] показывает, что качественное проведение сварки с использованием защитной газовой атмосферы, правильное оформление шва (наличие галтельных переходов) сводят к минимуму отрицательную роль концентраторов напряжений, вносимых сваркой, в снижении сопротивления усталостному разрушению сварных соединений. Влияние же остаточных напряжений на механические свойства металлических конст-

рукций со сварным швом в этом случае во многом будет определяться механической неоднородностью (неравномерностью распределения механических свойств по длине сварного соединения), а также структурным состоянием участка ЗТВ, по которому, как правило, идет локализация пластической деформации и разрушение [7].

В данной работе на основании исследования микроструктуры и распределения микротвердости по длине сварных соединений проведен анализ поведения образцов из технически чистого титана при статическом и циклическом нагружении<sup>1</sup>.

Исследования проводили на

<sup>1</sup>Результаты проведенных исследований использованы при изготовлении каркасов сварных искусственных клапанов сердца на основе титанового сплава ВТ1-0С.

Т-образных сварных образцах из титана ВТ1-0С. Цилиндрический стержень образца диаметром  $d_0 = 2$  мм приваривали к квадратной пластинке электронно-лучевой сваркой (ЭЛС) в вакууме. Стержень изготавливали из проволоки, предварительно подвергнутой холодному волочению до степени деформации 55 %. Радиус галтельного перехода от пластинки к стержню после механической обработки составлял 1,5 мм. В таблице приведены значения прочностных ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ) и пластических ( $\delta$ ,  $\psi$ ) характеристик, предела усталости  $\sigma_{-1}$  на базе испытаний  $N = 10^7$  циклов и тангенсов углов наклона левой  $\beta_1$  и правой  $\beta_2$  ветвей диаграмм усталости исходного металла и сварных образцов.

Из таблицы следует, что прочностные характеристики сварных образцов и их способность сопротивляться действию циклических

Вид образца	Механические характеристики						
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\beta_1$	$\beta_2$
Проволока ( $\xi = 55\%$ )	705	663	8,5	58	320	0,107	0,0382
Сварной	405	420	9,5	67	170	0,218	0,0522

нагрузок ниже, чем исходного металла. Это снижение обусловлено изменениями структуры и свойств материала в процессе сварки.

Установлено, что сварное соединение состоит из четырех характерных участков: собственно шва, околошовной крупнозернистой зоны (средний условный диаметр зерна  $\bar{d} \approx 820$  мкм), участка рекристаллизации ( $\bar{d} \approx 10 \div 17$  мкм) и основного металла. При этом микротвердость участка рекристаллизации (разупрочнения) составляет около 1500 МПа, что меньше микротвердости ОШЗ и основного металла соответственно в 1,8 и 1,9 раза (рис. 1, а). Данная структурно-механическая неоднородность по длине сварного соединения обуславливает локализацию пластической деформации и разрушения при статическом нагружении по участку разупрочнения.

Условие равнопрочности сварного соединения для подобных случаев [8] имеет вид

$$\varepsilon_{\phi} \leq \varepsilon_B = \frac{1}{3} \left( K_1 - \frac{\pi}{4} \right),$$

где  $\varepsilon_{\phi} = \frac{h}{d_0}$  (длина участка разупрочнения  $h \approx 1,5$  мм);  $K_1$  — коэффициент механической неоднородности, равный  $\frac{H_{OM}}{H_{ЗТВ}^{\min}}$  ( $H_{OM}$  —

микротвердость основного металла и минимальная микротвердость ЗТВ соответственно). В данном случае условие равнопрочности не выполняется, так как  $\varepsilon_{\phi} = 0,75$ , т. е. более  $\varepsilon_B$ .

С целью варьирования структурного состояния сварных образцов холоднодеформированную титановую проволоку до сварки

подвергали отжигу в интервале температур 450—700 °С (выдержка в течение 30 мин). После сварки образцы также отжигали при 400—900 °С (выдержка в течение 2 ч).

Результаты исследований показали, что по структурному состоянию и характеру изменения микротвердости сварные соединения образцов можно разделить на две группы:

— состоящие из шва, участка рекристаллизации (разупрочнения) и основного металла. Величина зерна участка разупрочнения около 10—17 мкм,  $K_1 = 1,08 \div 1,90$ ,  $\varepsilon_{\phi} = 0,75 = \text{const}$ . Разрушение при статическом растяжении и знакопеременном циклическом изгибе происходит по участку рекристаллизации;

— соединения, в которых отсутствует участок рекристаллизации, обусловленный сваркой. Разрушение при статическом растяжении и знакопеременном циклическом изгибе происходит по основному металлу, величина зерна которого в зависимости от режимов термической обработки  $\bar{d} = 11,5 \div 103$  мкм. При этом смещение усталостного разрушения на некоторое расстояние от ОШЗ можно объяснить тем, что вследствие механической неоднородности (рис. 1, б), характеризуемой коэффициентом  $K_2 = \frac{H_{O3}}{H_{OM}} = 1,12 \div 1,45$  ( $H_{O3}$  — наибольшее значение микротвердости ОШЗ), напряженное состояние основного металла, прилегающего к более прочной ОШЗ, приобретает объемный характер и сдерживает развитие пластических деформаций при циклическом нагружении [5].

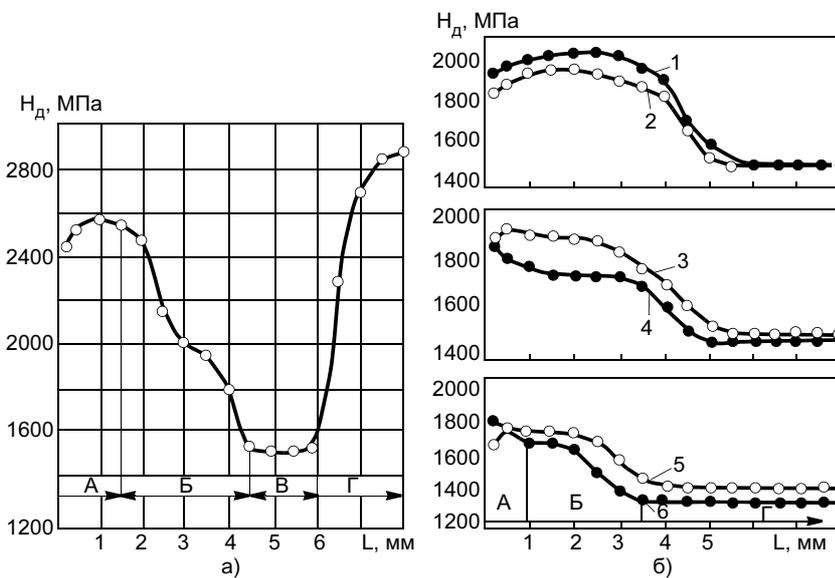


Рис. 1. Распределение микротвердости по длине сварных образцов (А — шов, Б — околошовная зона, В — участок рекристаллизации, Г — основной металл): а — исходный металл до сварки деформирован ( $K_1 = 1,9$ ); б — исходный металл до сварки отожжен при 600 °С; 1 — без послесварочного отжига ( $K_2 = 1,34$ ); 2—6 — послесварочный отжиг при 400, 500, 600, 700, 800 °С соответственно ( $K_2$  равен 1,3; 1,23; 1,12; 1,22; 1,27 соответственно)

Механические характеристики образцов первой группы в значительной мере определяются механической неоднородностью  $K_1$  (рис. 2). С увеличением  $K_1$  происходит увеличение предела прочности и снижение характеристик пластичности  $\psi$  и  $\psi_p$  (равномерного сужения образца), что можно объяснить повышением "жесткости" объемного напряженного состояния участка рекристаллизации, т. е. отношения нормальных напряжений к касательным [6]. При этом, когда  $K_1$  превышает некоторое критическое значение  $K_1^{кр} \approx 1,5$ , интенсивность изменения механических характеристик существенно уменьшается.

Следует отметить, что зависимости  $\sigma_B(K_1)$ ,  $\psi(K_1)$  аналогичны изменению  $\sigma_B$  и  $\psi$  в функции остроты надреза при испытании на растяжение образцов с выточками [8]. В последнем случае рост  $\sigma_B$  и снижение  $\psi$ ,  $\psi_p$  обусловлены увеличением "жесткости" напряженного состояния и концентрации напряжений в надрезе. Последняя определяет локализацию деформации и разрушение в малом объеме, снижая  $\psi_p$  и удельную работу предельной деформации  $A_p$ . Увеличение "жесткости" напряженного состояния затрудняет пластическую деформацию, повышая  $\sigma_B$  и снижая  $\psi$  и  $\psi_p$ .

В исследованных сварных образцах с уменьшением  $K_1$  в области  $K_1 < K_1^{кр}$  увеличение  $\psi$ ,  $\psi_p$  и  $A_p$ , а также снижение отношения

$\frac{\sigma_B^{ом}}{\sigma_B^{сс}}$  ( $\sigma_B^{ом}$ ,  $\sigma_B^{сс}$  — соответственно

предел прочности основного металла и сварного соединения) может быть связано с повышением возможности вовлечения в пластическую деформацию основного металла при статическом растяжении сварных соединений. Последнее подтверждается зависимостью изменения  $\varepsilon_B$  в функ-

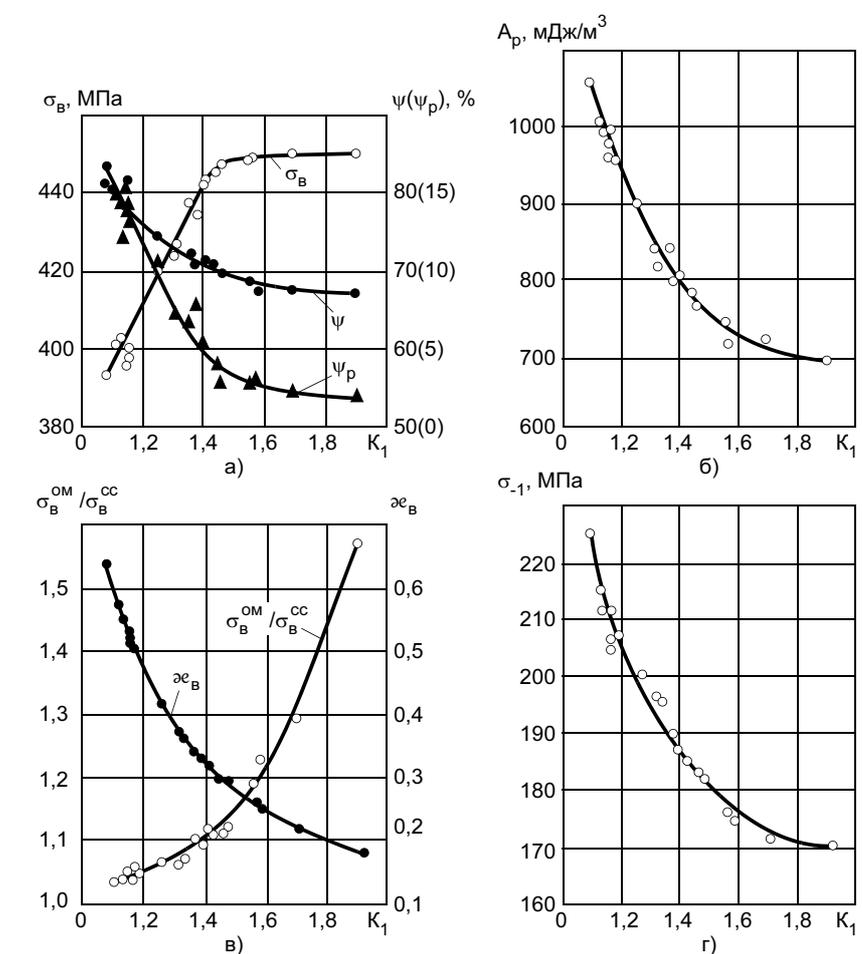


Рис. 2. Зависимость прочностных и пластических характеристик (а), работы предельной деформации (б), показателя равнопрочности и отношения предела прочности основного металла к пределу прочности сварного соединения (в), предела усталости (г) от механической неоднородности  $K_1$

ции  $K_1$  (рис. 2, в). При этом между работой предельной деформации  $A_p$  и пределом усталости  $\sigma_{-1}$  выполняется прямая корреляция: чем больше  $A_p$ , тем больше  $\sigma_{-1}$ .

Показатель механической неоднородности  $K_1$  является параметром, определяющим при постоянном значении  $\varepsilon_{ф}$  степень реализации условия равнопрочности  $\varepsilon_{ф} \leq \varepsilon_B$ . По мере выполнения этого условия (снижения  $K_1$ ) деформационная способность сварных соединений, характеризуемая  $\psi_p$  и  $A_p$ , возрастает, что может свидетельствовать о создании благоприятных условий для вовлечения в пластическую деформацию большего объема металла при циклическом нагружении [9].

Экспериментальные зависимости характеристик усталости сварных соединений от  $\varepsilon_B$  (рис. 3, а, б) показывают, что с увеличением  $\varepsilon_B$ , т. е. по мере реализации условия равнопрочности, предел усталости возрастает по линейному закону

$$\sigma_{-1} = 149 + 115\varepsilon_B,$$

а значения показателей  $\beta_1$  и  $\beta_2$  монотонно снижаются и в функции  $\varepsilon_B$  аппроксимируются уравнениями

$$\beta_1 = 0,2421 \exp(-0,1334\varepsilon_B);$$

$$\beta_2 = 0,0619 \exp(-1,3054\varepsilon_B).$$

Усталостные характеристики образцов второй группы определяются как механической неоднородностью  $K_2$ , так и величиной зерна основного металла: умень-

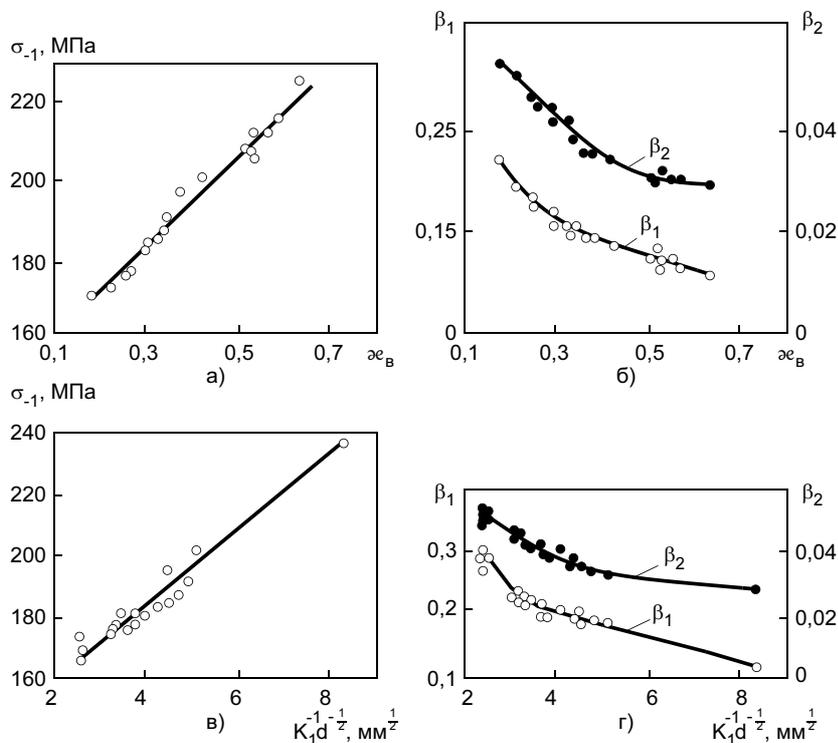


Рис. 3. Зависимости  $\sigma_{-1}$  (а) и показателей  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (б) от  $\varepsilon_{\varepsilon_B}$  и  $\sigma_{-1}$  (в) и показателей  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (г) от  $K_1^{-1} d^{-\frac{1}{2}}$

шение показателя  $K_2$  и величины зерна приводит к росту предела усталости  $\sigma_{-1}$  и снижению показателей  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Эти зависимости, приведенные на рис. 3, в, г в координатах  $\sigma_{-1}$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2 - K_2^{-1} d^{-\frac{1}{2}}$ , аппроксимируются уравнениями

$$\sigma_{-1} = 140 + 11 \left( -K_2^{-1} d^{-\frac{1}{2}} \right);$$

$$\beta_1 = 0,3919 \exp \left[ -0,1545 \times \left( -K_2^{-1} d^{-\frac{1}{2}} \right) \right];$$

$$\beta_2 = 0,0728 \exp \left[ -0,0913 \times \left( -K_2^{-1} d^{-\frac{1}{2}} \right) \right].$$

При испытаниях на статическое растяжение влияние показателя

показателя  $K_2$  на механические характеристики не проявлялось.

Таким образом, в случае механической неоднородности, характеризующей коэффициентом  $K_1$ , необходимо проверить возможность реализации условия равнопрочности по соотношению  $\varepsilon_{\varepsilon_{\Phi}} \leq \varepsilon_{\varepsilon_B}$ . Если данное соотношение не выполняется и при изменении исходного состояния металла до сварки  $\varepsilon_{\varepsilon_{\Phi}} = \text{const}$ , а структурное состояние участка разупрочнения меняется слабо, то при проведении послесварочной обработки необходимо стремиться к снижению механической неоднородности.

В случае механической неоднородности, характеризующей коэффициентом  $K_2$ , необходимо при назначении предварительной обработки металла (до и после сварки) оценить возможность получения минимальной величины зерна разупрочненного металла при минимальном значении  $K_2$ ,

т. е. оценить возможность получения наибольшего соотношения

$$K_2^{-1} d^{-\frac{1}{2}}.$$

## ВЫВОДЫ

1. Усталостные характеристики чувствительны к изменению механической неоднородности и величине зерна разупрочненного металла сварных соединений, что позволяет проводить предварительную оценку усталостных характеристик по виду механической неоднородности сварных соединений.

2. Установлены закономерности, связывающие механические характеристики при статическом и циклическом нагружении с механической неоднородностью и величиной зерна разупрочненного металла сварных образцов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов В. В. Повышение качества сварных соединений из цветных соединений и цветных металлов // Прочность сварных конструкций и требования контроля. М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1980. Вып. 337. С. 102—109.
2. Шоршоров М. Х., Мещеряков В. Н. Фазовые превращения и изменение свойств титана при сварке. М.: Наука, 1973. 158 с.
3. Грабин В. Ф. Основы металловедения и термической обработки сварных соединений из титана и его сплавов. Киев: Наукова думка, 1975. 261 с.
4. Труфяков В. И., Гуца О. И. Влияние степени концентрации напряжений на формирование остаточных напряжений при многоцикловом нагружении // Автоматическая сварка. 1981. № 3. С. 22—25.
5. Клыков Н. А. Расчет характеристик сопротивления усталости сварных соединений. М.: Машиностроение, 1984. 160 с.
6. Бакиш О. А. Влияние механической неоднородности на работоспособность сварных соединений при разных видах деформации и разном характере нагружения // Свариваемость термически упрочненных сталей. М.: МИНХ и ГП, 1967. № 70. С. 12—18.
7. Пачурин Г. В. Повышение долговечности сварных соединений // Заготовительные производства в машиностроении. 2004. № 11. С. 12—18.
8. Скуднов В. А. Вопросы влияния напряженного состояния на пластичность и разрушение металлов // Тр. Горьковского политехнического института. Горький, 1974. Т. 30. С. 13—21.
9. Школьник Л. М. Методика усталостных испытаний. М.: Металлургия, 1978. 304 с.

Ю. Н. ОВЧАРЕНКО, канд. техн. наук  
Тульский государственный университет

## Методика оценки малоциклового усталости сварных соединений на основе энергетического критерия J-интеграл

В настоящее время для оценки малоциклового усталости сварных соединений применяют расчетно-экспериментальные методики [1], основанные на характеристиках деформирования и разрушения материала отдельных участков, полученных по результатам испытаний гладких образцов. Влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов в данных методиках учтено в аналитических зависимостях общих закономерностей деформирования и разрушения соединений. На этих принципах построены действующие в России и за рубежом нормативные документы по оценке долговечности сварных металлоконструкций, работающих в условиях малоциклового нагружения. Для зоны концентрации напряжений в сварных соединениях справедливо (допущение 1) соотношение

$$\varepsilon_a N^m = C, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_a$  — амплитуда деформаций в зоне концентрации напряжений;  $N$  — долговечность;  $m$ ,  $C$  — постоянные материала, определяемые по результатам испытаний гладких образцов (допущение 2). Здесь и далее речь идет о пульсирующей внешней нагрузке.

Амплитуда определяется через параметры номинального напряженно-деформированного состояния (НДС):

$$\varepsilon_a = K_\varepsilon \varepsilon_{an}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{an}$  — амплитуда номинальных деформаций, определяемая из отношения  $\sigma_{an}/E$  ( $\sigma_{an}$  — амплитуда номинальных напряжений,  $E$  — модуль упругости);  $K_\varepsilon$  — коэффициент концентрации упругопластических деформаций.

Тогда из уравнений (1) и (2) следует

$$\sigma_{an} N^m = C \frac{E}{K_\varepsilon}. \quad (3)$$

Коэффициент  $K_\varepsilon$  входит в упрощенную формулу Г. Нейбера, связывающую коэффициенты концентрации упругих  $\alpha_\sigma$  и упругопластических напряжений  $K_\sigma$  и деформаций  $K_\varepsilon$ ,

$$K_\varepsilon K_\sigma = \alpha_\sigma^2. \quad (4)$$

В диапазоне номинальных напряжений ниже предела упругости материала деформации в зонах концентрации напряжений, определяемые на основе уравнения (4), обычно несколько превышают их фактические значения. В связи с этим оценка долговечности с использованием данного соотношения считается консервативной, но допустимой (допущение 3) для инженерных расчетов. С учетом уравнения (4) выражение (2) принимает вид

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{an} \frac{\alpha_\sigma^2}{K_\sigma}, \quad (5)$$

где  $K_\sigma = \sigma_a/\sigma_{an}$  ( $\sigma_a$  — амплитуда напряжений в зоне концентрации напряжений).

Для материалов с незначительным упрочнением в упругопластической области при малоцикловом нагружении принимается  $\sigma_a = 2\sigma_T$  (допущение 4). Из уравнения (1) с учетом формулы (5) имеем

$$\sigma_a N^{m/2} = \frac{1}{\alpha_\sigma} (2\sigma_T CE)^{1/2}. \quad (6)$$

Учет асимметрии цикла (при необходимости) осуществляется на основе соотношения

$$\sigma_a N^{m/2} = \frac{1}{\alpha_\sigma} (2\sigma_T CE)(1 + \psi_\sigma R_\sigma),$$

где  $\psi_\sigma$  — коэффициент чувствительности к асимметрии нагружения;  $R_\sigma$  — коэффициент асимметрии цикла.

Уравнение (6) связывает характеристики статической и малоциклового прочностности сварных соединений, получаемые по результатам испытаний гладких образцов.

Приведенный подход к оценке малоциклового усталости имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Положительные — это простота проведения испытаний на малоцикловую усталость гладких образцов по сравнению с натурными испытаниями сварных соединений. Отрицательные — чрезмерные объемы и общая длительность малоцикловых испытаний гладких образцов из различных зон и участков металла сварных соединений, а также наличие большого количества упрощающих допущений при пересчете результатов испытаний гладких образцов на натурные сварные

соединения, что значительно влияет на точность расчета. Ошибка в несколько тысяч циклов может соответствовать нескольким неучтенным месяцам малоциклового цикла работы сварных соединений.

В данной работе предлагается новая экспериментально-расчетная методика оценки малоциклового усталости сварных соединений. Методика опробована на сварных соединениях обвязки магистральных газопроводов, расположенных в пределах компрессорных станций (СНиП 2.05.06—85). Для данных соединений предельным состоянием является появление макротрещины в местах концентрации напряжений и деформаций. Объектами исследования выбраны места перехода от наплавленного металла к основному в сварных соединениях со стыковыми и угловыми швами. Для сосудов давления довольно типична пульсирующая нагрузка, нередко вызывающая малоцикловую усталость в местах концентрации напряжений и деформаций. При этом характерен мягкий режим нагружения, так как работа металла ограничена предельными номинальными напряжениями. В то же время места перехода являются концентраторами напряжений и деформаций и, следовательно, накопление пластических деформаций в них сдерживается окружающим упругим объемом металла. Это значит, что налицо имеются признаки также и жесткого режима нагружения. Поэтому квазистатический участок кривой малоциклового усталости при мягком режиме нагружения должен быть весьма малым по сравнению с усталостным участком по времени (точнее по числу циклов нагружения).

Предлагаемая экспериментально-расчетная методика оценки малоциклового усталости основана на достижениях нелинейной механики разрушения и лишена указанных недостатков методики с гладкими образцами. Предлагается оценивать несущую способность и долговечность по предельному состоянию появления макротрещины в натуральных сварных соединениях на основе энергетического критерия J-интеграл. Такой подход является новым, поскольку энергетические критерии прочности применительно к малоциклового усталости разработаны и изучены недостаточно [2], тем более с позиции механики разрушения. Испытание натуральных сварных соединений должно давать значительно меньший разброс значений результатов, чем при испытании гладких образцов из отдельных зон и участков. Поэтому их потребуется существенно меньше, что намного сократит объем и длительность малоцикловых испытаний. Малоцикловую усталость предлагается оценивать двухпараметрическим критерием J-интеграл — долговечность  $N$ . Малоцикловая прочность определяется максимальным значением J-интеграла для каждого конкретного значения  $N$ . И, наоборот,  $N$  единственным

образом определяется для каждого конкретного значения J-интеграла, характеризующего состояние концентратора напряжений.

По определению [3] J-интеграл представляет собой уменьшение потенциальной энергии  $\partial\Pi$  нелинейно-упругого (практически упругопластического) тела при бесконечно малом развитии или росте трещины  $\partial l$  в условиях монотонно возрастающего нагружения:

$$J = -\frac{\partial\Pi}{\partial l} = \int_S \left( W dy - \bar{T} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} ds \right), \quad (7)$$

где  $S$  — контур интегрирования;  $W$  — плотность энергии деформации;  $\bar{T}$  — поверхностный вектор силы;  $\bar{u}$  — вектор перемещения.

Интерес к J-интегралу применительно к изучению разрушения в упругопластической области основывается на трех основных свойствах этого контурного интеграла: он не зависит от пути интегрирования (что важно для расчетной стабильности критериальной оценки), связан с изменением потенциальной энергии тела с трещиной и НДС концентратора. Свойство независимости контура интегрирования выполняется, как известно, только для случая простого, монотонно возрастающего нагружения. Поэтому в предлагаемой методике J-интеграл подсчитывают для нулевого полуцикла малоциклового нагружения и, следовательно, почти для исходного состояния металла в зоне концентратора. Теоретически J-интеграл определяется для бесконечно малой виртуальной (предполагаемой) трещины в зоне концентратора. Расчет проводят на основании метода конечных элементов по компьютерной программе SHIRATORI [4, 5]. Практически длину виртуальной трещины выбирают наименее возможной для конкретной схемы разбивки сварного соединения на конечные элементы. При численном решении учитывают точную внешнюю геометрию образца со сварным швом, начальные механические свойства основного металла в зоне концентратора напряжений, максимальное нагружение в нулевом полуцикле. Решают математическую задачу "плоской деформации". Что касается введения в расчет виртуальной трещины, то известно [6], что в сварных соединениях наибольшую опасность представляют возможные участки концентраторов с малым радиусом кривизны (менее 0,2 мм). Такие участки считаются равноценными трещине, и именно в этих местах в первую очередь зарождаются усталостные трещины.

Первый этап предлагаемой методики заключается в правильном выборе формы сварного образца для малоциклового испытания. Это должны быть образцы натуральной толщины, максимально приближенные к реальным сварным соединениям.

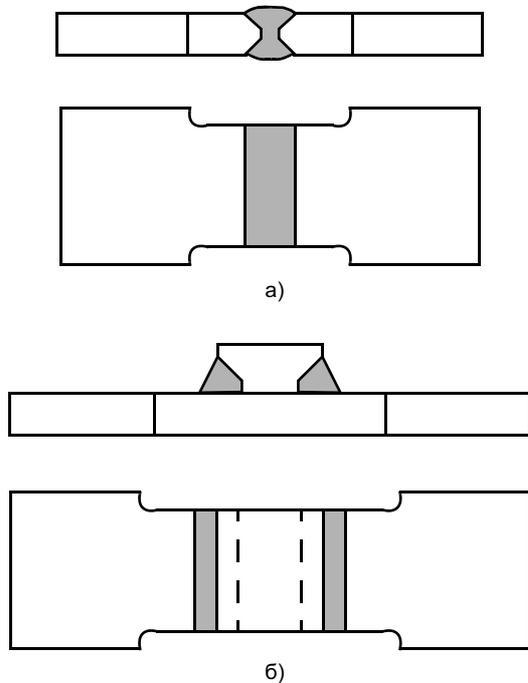


Рис. 1. Сварные образцы со стыковым (а) и угловыми (б) швами из листового проката стали

Например, для сварных соединений элементов трубопроводной обвязки компрессорных станций магистральных газопроводов предложены формы образцов, приведенные на рис. 1.

Образцы изготовляли из листовой стали 10ХСНД-6 ( $\sigma_T = 450 \div 460$  МПа,  $\sigma_B = 570 \div 580$  МПа), по ГОСТ 19281—89 толщиной 28 мм и из стали 10Г2ФБЮ ( $\sigma_T = 460$  МПа,  $\sigma_B = 550 \div 560$  МПа) по ТУ-05464417-014—94 толщиной 22 мм. Натуральные толщины (22 и 28 мм) образцов оставались неизменными, а остальные размеры выполняли пропорционально этим толщинам в соответствии с формой на рис. 1. Максимальные габаритные размеры в плоскости составили  $90 \times 356$  мм (для толщины 28 мм), минимальные —  $65 \times 250$  мм (для 22 мм).

С учетом формы и размеров образцов проводили испытания на малоцикловую усталость путем поперечного изгиба по схеме равных деформаций<sup>1</sup>. Испытания на изгиб соответствуют реальной работе сварных соединений в исследуемых сосудах давления; не требуется мощного испытательного оборудования для создания изгибающих напряжений в зоне сварки; испытания позволяют сосредоточить основное внимание на сопротивлении разрушению поверхностных слоев образцов в зоне перехода от наплавленного металла к основному.

Из прокатного листа вырезали так называемые карты, которые сваривали ручной дуговой сваркой с многослойным наложением швов электродами

<sup>1</sup>А. с. 667850 (СССР).

УОНИ-13/55. Сварные швы располагали вдоль направления проката, что позволяло испытывать места перехода в наиболее неблагоприятном для проката положении. Из каждой сваренной карты вырезали по пять сварных образцов (см. рис. 1). Образцы подвергали высокому отпуску в соответствии с заводской технологией ОАО "Газстройдеталь" (Тула). Проведение термической обработки и сам факт малоцикловых испытаний практически исключали из дальнейшего рассмотрения вопрос о влиянии на малоцикловую прочность и долговечность остаточных сварочных напряжений.

Следующий этап методики заключался в выборе способа и оснастки малоцикловых испытаний. Конкретная цель испытаний сварных образцов — создание макротрещины в местах перехода от наплавленного металла к основному, т. е. на поверхности соединения. Этого добивались за счет пульсирующего поперечного изгиба и создания тем самым в указанных местах переменных растягивающих напряжений. Малоцикловые испытания проводили на машине для многоцикловых испытаний МУП-50 Армавирского завода испытательных машин на минимальной частоте 315 циклов в минуту. От предварительных попыток применения специализированной машины УМЭ-10ТМ, обеспечивающей максимум два-три цикла в минуту, пришлось отказаться, так как испытания в этом случае затягивались на долгие месяцы, что неприемлемо для инженерной методики. Испытание одного сварного образца на машине МУП-50 при частоте 315 циклов в минуту не превышало 2 ч. Нагрев образцов не зафиксирован. Схема испытаний сварных образцов на малоцикловую усталость при пульсирующей нагрузке приведена на рис. 2. Изгибающую переменную нагрузку прикладывали сверху по середине образца. В исходное положение об-

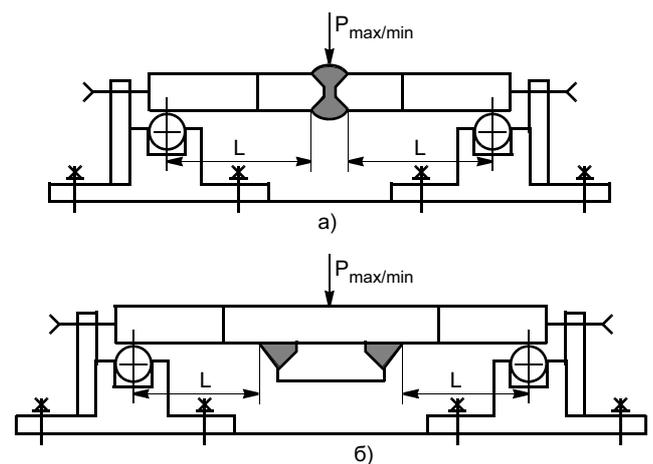


Рис. 2. Схема испытаний сварных образцов со стыковым (а) и угловыми (б) швами на малоцикловую усталость при пульсирующем цикле



Рис. 3. Оснастка для испытаний на малоцикловую усталость

Таблица 1

Сталь	Характеристика соединения	Число образцов, шт.
10ХСНД-6	Стыковой шов после термической обработки (ТО)	3
	Стыковой шов после ТО для трехступенчатого испытания	1
	Стыковой шов без ТО	1
	Угловой шов после ТО	4
10Г2ФБЮ	Стыковой шов после ТО	4
	Угловой шов после ТО	4
	Угловой шов без ТО	1

разец при иницируемых прогибах возвращался за счет общей упругости.

На рис. 2 видно, что образец опирается на два круглых валика. Для предотвращения увода образца в продольном направлении во время испытаний имеются упругие стопорные ограничители. Опоры с валиками закрепляли на нижней траверсе машины МУП-50 на определенном расстоянии друг от друга, которое зависело от длины испытываемых образцов (от 250 до 356 мм).

На рис. 3 показана оснастка, соответствующая принятой схеме испытаний.

Материал, характеристика соединения и число подготовленных сварных образцов для малоцикловых испытаний приведены в табл. 1.

Образцы сварных соединений (за исключением двух) подвергали обязательной термической обработке — высокому отпуску.

Результаты малоцикловых испытаний и некоторые расчеты приведены в табл. 2—5, поскольку экспериментальные точки для стыковых соединений и соединений с угловыми швами образуют самостоятельные полосы разброса как для стали 10ХСНД-6, так и для стали 10Г2ФБЮ.

В логарифмической системе координат приведенные уравнения представляют линейные зависимости. Подсчет дает высокие значения коэффициентов корреляции — не ниже 0,99. Это говорит о

Таблица 2

Образец	ТО	$P_{max}$ , кН	$P_{min}$ , кН	$\sigma_{ном}$ , МПа	$J_I$ , кДж/м <sup>2</sup>	$N_{пред}$ , цикл	Аппроксимация результата
Стыковое соединение из стали 10ХСНД-6	Высокий отпуск	80	20	489	3,90	10 657	$J_I N_{пред}^{0,827} = 8247$
	"-"	50	20	299	1,56	32 539	
	"-"	50	20	295	1,36	38 719	
	Без ТО	50	20	315	1,58	28 591	

Таблица 3

Образец	$P_{max}$ , кН	$P_{min}$ , кН	$\sigma_{ном}$ , МПа	$J_I$ , кДж/м <sup>2</sup>	$N_{пред}$ , цикл	Аппроксимация результата
Соединение с угловыми швами из стали 10ХСНД-6	80	20	452	5,60	11 340	$J_I N_{пред}^{0,763} = 6431$
	80	20	459	5,60	9450	
	50	20	278	2,10	36 855	
	80	20	435	5,31	10 634	

Примечание. Все образцы подвергали высокому отпуску.

Таблица 4

Образец	$P_{max}$ , кН	$P_{min}$ , кН	$\sigma_{ном}$ , МПа	$J_I$ , кДж/м <sup>2</sup>	$N_{пред}$ , цикл	Аппроксимация результата
Стыковое соединение из стали 10Г2ФБЮ	46	18	455	3,76	7502	$J_I N_{пред}^{0,653} = 1280$
	28	18	290	1,35	35 941	
	35	18	354	2,12	18 380	
	35	18	346	2,13	17 882	

Примечание. Все образцы подвергали высокому отпуску.

Образец	ТО	$P_{\max}$ , кН	$P_{\min}$ , кН	$\sigma_{\text{ном}}$ , МПа	$J_I$ , кДж/м <sup>2</sup>	$N_{\text{пред}}$ , цикл	Аппроксимация результата
Соединение с угловыми швами из стали 10Г2ФБЮ	Высокий отпуск	46	18	449	5,20	7019	$J_I N_{\text{пред}}^{0,659} = 1782$
	"-"	28	18	270	1,88	31 342	
	"-"	35	18	347	2,95	17 104	
	"-"	33	18	319	3,00	16 107	
	Без ТО	28	18	272	1,89	34 093	

весьма точном аналитическом описании результатов экспериментов. Минусовые отклонения экспериментальных точек от расчетных значений находились в пределах 10 %. Это высокая точность. Более того, в некоторых точках коэффициенты вариации  $k_B$  не превышали 0,15. Коэффициент вариации характеризует изменчивость "измерений": чем ниже  $k_B$ , тем меньше изменяются "измерения" относительно средних значений. Результат "0,15" говорит о стабильности результатов экспериментов проведенных малоцикловых испытаний. Надежные и точные результаты исследования обусловлены использованием натуральных сварных соединений и энергетического критерия механики разрушения J-интеграла.

При подсчете J-интеграла моделировали малую трещину глубиной 1 мм в месте перехода от шва к основному металлу в направлении, перпендикулярном поверхности модели образца. Численным методом конечного элемента определяли влияние на J-интеграл концентрации полей напряжений и упругопластических деформаций в стыковых соединениях и соединениях с угловыми швами. В области концентратора напряжений конечные элементы представляли собой равносторонние треугольники со стороной 0,5 мм. Как показали результаты расчетов, более мелкое разбиение на конечные элементы не требуется, поскольку J-интеграл подсчитывается по контуру вдали от трещины. В данном случае контур интегрирования проходил через 17 узлов и охватывал область из 30 треугольных конечных элементов. Известно [1], что сопротивление малоцикловому деформированию и разрушению сварных соединений во многом определяется их статическими свойствами в стартовом исходном состоянии. Поэтому каждому значению J-интеграла, характеризующего конкретное максимальное НДС в концентраторе напряжений при исходном состоянии металла, соответствует момент достижения предельного состояния (появления макротрещины) при малоцикловом деформировании.

Величины  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  в таблицах — экстремальные усилия, развиваемые испытательной машиной МУП-50. Значение  $\sigma_{\text{ном}}$  является расчетным номинальным напряжением в поперечном сечении образца (сечение в месте перехода от шва к

основному металлу), полученном при нагрузке  $P_{\max}$ . Это напряжение в соответствии с требованием к эксперименту не превышало предела упругости основного металла. Коэффициент асимметрии цикла  $R_\sigma$  зависит от  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  и при испытаниях составлял 0,50—0,64. Испытываемые образцы имитировали работу сварных соединений сосудов давления, где  $R_\sigma$  не является строго постоянной величиной, так как зависит от разных перепадов внутреннего давления. Наиболее постоянной величиной во всех испытаниях являлась нагрузка  $P_{\min}$ .

Представим графически результаты некоторых расчетов. На рис. 4 приведены расчетные зависимости  $J_I = f(M_{\max})$ , где  $M_{\max}$  — момент прикладываемой силы  $P_{\max}/2$  к модели сварного образца на плече  $L$  (см. рис. 2). Пунктиром показана упругая работа металла в месте перехода от наплавленного металла к основному (в зоне концентратора напряжений).

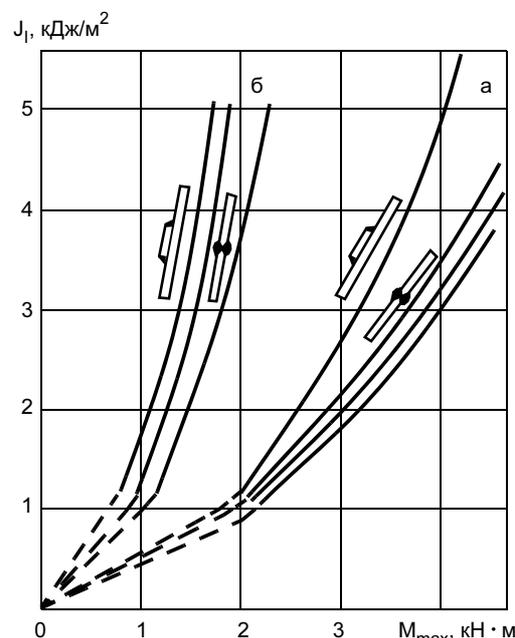


Рис. 4. Расчетные графические зависимости функций  $J_I = f(M_{\max})$  для сварных соединений из сталей 10ХСНД (а) и 10Г2ФБЮ (б)

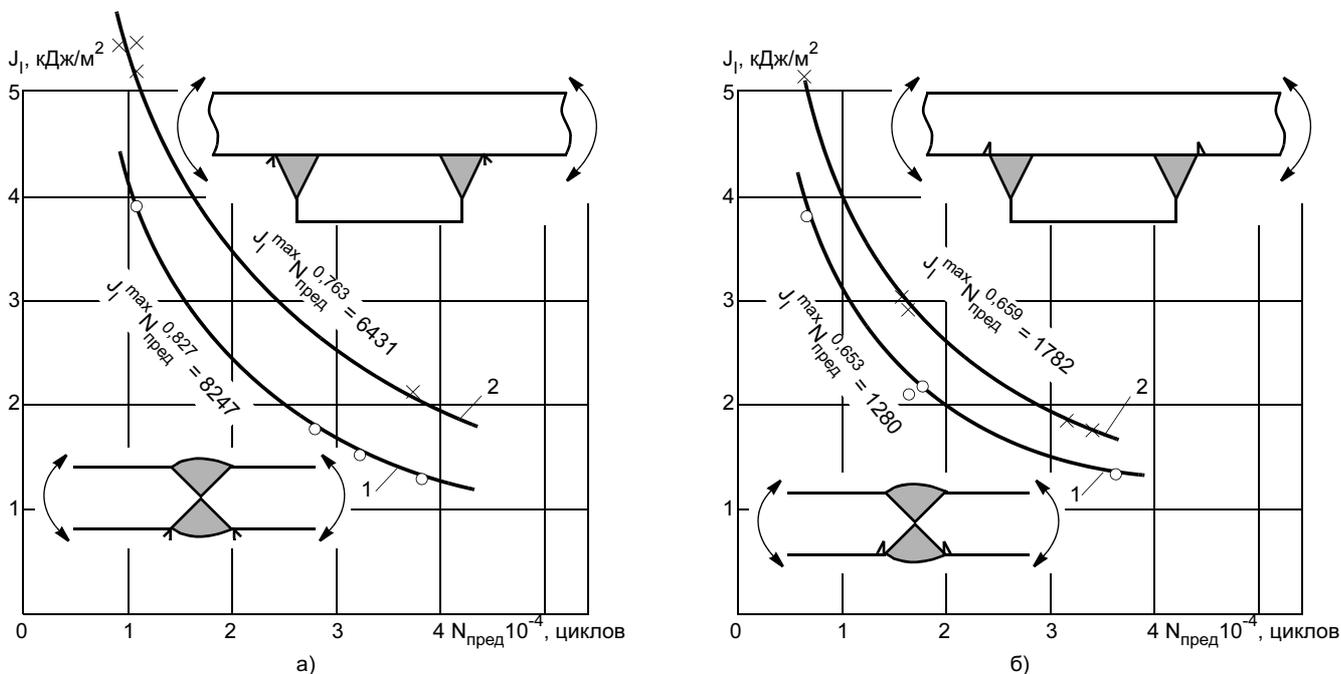


Рис. 5. Экспериментальные точки малоцикловых испытаний и графики аппроксимирующих расчетных зависимостей для сварных соединений из сталей 10XСНД-6 (а) и 10Г2ФБЮ (б): 1, 2 — соединения со стыковым и угловыми швами соответственно

На рис. 5 в соответствии с данными табл. 2—5 приведены экспериментальные точки малоцикловых испытаний и графики расчетных зависимостей, аппроксимирующих эти точки.

Из зависимостей на рис. 5 можно сделать вывод, что сварные соединения из стали 10XСНД-6 лучше сопротивляются малоцикловым нагрузкам, чем соединения из стали 10Г2ФБЮ. Разница по предельным циклам зависит от величины переменной нагрузки и может достигать нескольких тысяч.

Экспериментальные данные довольно точно описываются показательными уравнениями типа  $J_I N_{пред}^\alpha = C_J$  во всем рассматриваемом диапазоне малоцикловых долговечностей (усталостный участок). Поэтому достаточно двух экспериментальных точек на графике, чтобы определить коэффициенты  $C_J$  и  $\alpha$  и составить аппроксимирующее уравнение.

Довольно точное описание экспериментальных точек аппроксимирующими уравнениями подтверждает чрезвычайную важность стартовых значений J-интеграла как характеристики малоциклового усталости.

Проанализируем полученные экспериментальные и теоретические результаты. В экспериментах со стыковыми соединениями и соединениями с угловыми швами логичным было ожидать совпадения графиков для стали 10XСНД-6 (см. рис. 5, а) и 10Г2ФБЮ (см. рис. 5, б). Это означало бы, что при одинаковых стартовых значениях J-интеграла ма-

лоцикловые долговечности как стыковых соединений, так и соединений с угловыми швами из стали 10XСНД-6 (то же для стали 10Г2ФБЮ) должны были быть одинаковыми. Тем более имеет место довольно много совпадающих моментов для указанных соединений: заготовки образцов вырезали из одного и того же листа проката; один и тот же сварщик выполнял работу на одних и тех же режимах одними и теми же электродами; высокий отпуск проводили одновременно для всех образцов в одной термической печи. Однако желаемого совпадения не получилось. При равенстве J-интеграла стыковые соединения давали первую трещину стабильно раньше (на 30—35 % по числу циклов), чем соединения с угловыми швами. На первый взгляд, это как бы нелогично. Равенство J-интегралов, как отмечалось, указывает на идентичные НДС непосредственно в местах перехода от шва к основному металлу. Но, очевидно, при малоциклового усталости сварных соединений не все зависит только от НДС концентратора напряжений.

Долговечность конструктивного элемента зависит не только от максимальных напряжений и деформаций в области концентратора, но и от градиента их изменения [2, 7]. Таким образом, соединения с угловыми швами обладают более высоким градиентом изменения указанных напряжений и деформаций, чем стыковые. С физической точки зрения полученные экспериментальные данные находятся в полном соответствии с основными положениями градиентной теории прочности [8]. Гра-

Степень нагружения	$P_{\max}$ , кН	$P_{\min}$ , кН	$\sigma_{\text{ном}}$ , МПа	$J_I$ , кДж/м <sup>2</sup>	Число циклов нагружения $N_i$	Предельное число циклов $N_{\text{пред}, i}$
1	35	18	346	1,90	6930	21 500
2	28	18	290	1,38	12 915	35 000
3	46	18	455	3,35	3653	9000

диентная теория объясняет экспериментальные данные по увеличению сопротивления усталости металлов увеличением градиента напряжений и деформаций.

Если графики для данных испытаний построить в логарифмических координатах  $\lg \sigma_{\text{ном}} - \lg N_{\text{пред}}$  (рис. 6), то получится прямо противоположная картина. При одинаковых номинальных напряжениях  $\sigma_{\text{ном}}$  на поверхности концентратора напряжений малоцикловая долговечность стыковых соединений больше, чем соединений с угловыми швами, поскольку в отличие от  $J_I$  напряжения  $\sigma_{\text{ном}}$  не несут никакой информации о НДС в концентраторе.

В новой методике предлагается использовать хорошо известную и опробованную для малоциклового усталости [8] гипотезу линейного накопления повреждений

$$\sum_i \frac{N_i}{N_{\text{пред}, i}} = a, \quad (8)$$

где  $i$  — степень нагружения.

Если  $a = 1$ , то наступает предельное состояние, т. е. появляется макротрещина в месте перехода от шва к основному металлу. Подтвердим эту гипотезу соответствующим экспериментом. Оценим по формуле (8) степень поврежденности стыкового соединения (см. рис. 1) из стали 10Г2ФБЮ, проработавшего под воздействием трех ступеней пульсирующей малоциклового нагрузки (табл. 6).

$N_{\text{пред}, i}$  определяли для соответствующих значений  $J_I$  по формуле из табл. 4.

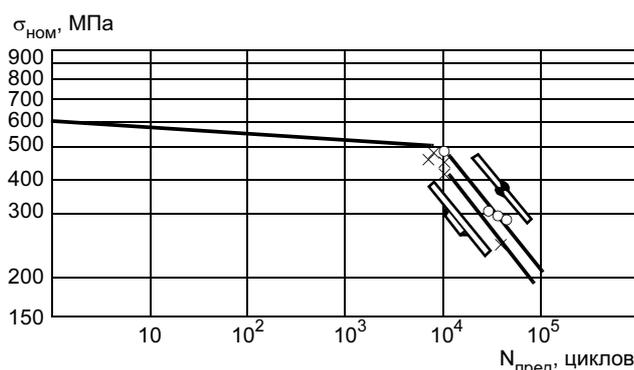


Рис. 6. Экспериментальные точки малоциклового испытания и аппроксимирующие графики для сварных соединений из стали 10ХСНД-6 в логарифмических координатах (○, × — соединения со стыковым и угловыми швами соответственно)

На третьей ступени данного режима нагружения в сварном образце, в месте перехода от шва к основному металлу появилась макротрещина, т. е. наступило предельное состояние и  $a = 1$ .

Тогда, используя формулу (8), получим

$$a = \frac{6930}{21\,500} + \frac{12\,915}{35\,000} + \frac{3653}{9000} = 1,091.$$

Расхождение расчетного значения  $a$  по сравнению с  $a = 1$  составляет 9 %, что приемлемо для расчетов подобного рода. Предельный общий ресурс в данном примере составил 23 498 циклов (сумма цифр в числителе).

Для сварных образцов, не подвергнутых высокому отпуску (см. табл. 1), можно отметить следующее. Известно, что влияние остаточных сварочных напряжений на малоцикловую усталость в наибольшей степени проявляется при низких уровнях переменных напряжений, сопоставимых по величине с пределами выносливости. Исходя из общих представлений [1] о релаксации остаточных сварочных напряжений в области малоциклового нагружения их роль можно считать несущественной. Результаты испытаний двух, не подвергнутых термической обработке сварных образцов, подтверждают это. В данной работе эти результаты вполне вписались в общий разброс результатов эксперимента.

## ВЫВОДЫ

1. Предлагается оценивать несущую способность и долговечность сварных конструкций при малоциклового усталости по предельному состоянию появления макротрещины в натуральных сварных соединениях на основе двухпараметрического критерия  $J$ -интеграл—долговечность.

2. Каждому расчетному значению  $J$ -интеграла, характеризующему конкретное максимальное напряженно-деформированное состояние в концентраторе напряжений при исходном (стартовом) состоянии металла, соответствует момент достижения предельного состояния при малоциклового деформировании.

3. Довольно точное соответствие экспериментальных точек аппроксимирующим уравнениям подтверждает важность стартовых значений энергетического параметра  $J$ -интеграла как характеристики малоциклового усталости сварных соединений.

4. Для оценки повреждаемости сварных соединений при малоциклового усталости предлагается использовать гипотезу линейного накопления повреждений.

5. Полученные в соответствии с методикой экспериментальные и расчетные данные показали, что сварные соединения магистральных газопроводов из стали 10ХСНД-6 лучше сопротивляются малоцикловым нагрузкам, чем соединения из стали 10Г2ФБЮ. Разница по предельным циклам зависит от переменной нагрузки и может достигать нескольких тысяч.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прочность сварных соединений при переменных нагрузках* / Под ред. В. И. Труфякова. Киев: Наукова думка, 1990. 256 с.

2. *Добровольский С. В., Абрамов И. В., Добровольский В. И.* Несущая способность конструктивных элементов при энергетической трактовке малоциклового усталости // Проблемы прочности. 1991. № 1. С. 21—26.

3. *Плювинаж Г.* Механика упругопластического разрушения: Пер. с франц. М.: Мир, 1993. 450 с.

4. *Сиратори М., Миеси Т., Маусуита Х.* Вычислительная механика разрушения: Пер. с японск. М.: Мир, 1986. 334 с.

5. *Овчаренко Ю. Н.* Теория и практика V-образных вырезов в механике разрушения / Под ред. Г. И. Макарова. Тула: ТулГУ, 2003. 168 с.

6. *Винокуров В. А., Куркин С. А., Николаев Г. А.* Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.

7. *Махутов Н. А.* Кинетика деформаций и разрушение при циклическом разупрочнении // Сопротивление деформированию и разрушению при малом числе циклов нагружения. М.: Наука, 1967. С. 104—118.

8. *Хейвуд Р. Б.* Проектирование с учетом усталости. М.: Машиностроение, 1969. 504 с.

УДК 621.791.3

**Е. Ю. ЛАТЫШОВА, инж.**

**(Белорусский национальный технический университет),**

**Ю. А. ЦУМАРЕВ, канд. техн. наук**

**(Белорусско-Российский университет, Могилев)**

## Анализ критериев оценки смачивающей способности материалов при испытаниях на паяемость

В настоящее время пайку широко применяют во многих отраслях промышленности, особенно при получении неразъемных соединений цветных металлов, разнородных материалов. Постоянно растет объем выпуска паяных изделий и технологических материалов для пайки. Это обусловлено тем, что специалистами разработаны технологические процессы, припой, флюсы для пайки самых разнообразных материалов, которые позволяют получать паяные соединения с высокими характеристиками работоспособности. При исследованиях и совершенствовании процессов пайки проводят испытания на паяемость по ГОСТ 23904—79. Данный стандарт предусматривает применение краевого угла смачивания и площади растекания при-

поя на поверхности образца в качестве критериев смачивания. При этом допускается определение краевого угла смачивания в охлажденном состоянии образца, а также применение норм точности, согласно которым погрешность измерения краевого угла не должна превышать 5°, а погрешность измерения площади растекания — до 5 % измеряемой величины.

Однако некоторые исследователи, работающие в области пайки, ставят под сомнение эффективность предусмотренных ГОСТ 23904—79 критериев оценки смачивающей способности. Так, в работе [1] автор считает, что краевой угол смачивания не отражает физической сути процесса смачивания. Кроме того, автор утверждает, что недопусти-

мо связывать наличие или отсутствие смачивания между двумя фазами с поверхностным натяжением отдельных фаз, а формула коэффициента смачивания, выраженного через поверхностное натяжение фаз, не имеет физического, а также математического смысла.

Ввиду того, что данные вопросы имеют огромное значение для теории и практики пайки, проведем анализ аргументов работы [1] для обоснования своих выводов.

Первая группа аргументов основана на анализе формулы для расчета коэффициента смачивания, которая записана в работе [1] следующим образом:

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{23}}{\sigma_{12}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$  — поверхностное натяжение жидкого припоя и твердого тела соответственно;  $\sigma_{23}$  — межфазное натяжение жидкого припоя на границе с твердым паяемым металлом.

В результате сопоставления значений поверхностного натяжения для алюминия, висмута, железа, кадмия, меди, олова, свинца, сурьмы и цинка с экспериментальными данными по смачиванию автор работы [1] приходит к выводу, что смачивание паяемых металлов припоями не зависит от поверхностного натяжения паяемых металлов и припоев. При этом допускается серьезная ошибка методологического характера, которая заключается в том, что анализ соотношения (1) произведен с учетом значений только двух поверхностных натяжений —  $\sigma_{12}$  и  $\sigma_{13}$ . Относительно межфазного натяжения  $\sigma_{23}$  в работе [1] сказано следующее: "Практически эта формула не имеет смысла, поскольку в технической литературе нет данных по межфазному натяжению  $\sigma_{23}$  расплавленных припоев с паяемыми металлами". Таким образом, данных нет и вывод о непригодности формулы сделан.

Далее в работе [1] говорится: "Олово смачивает алюминий, а свинец и кадмий, обладающие соответственно меньшим и большим поверхностным натяжением, чем олово, не смачивают его". Такой подход автора к анализу смачивания или несмачивания каких-либо пар металлов по величине только поверхностного натяжения жидкости является ошибочным. Ведь при переходе от пары олово—алюминий к паре свинец—алюминий (или кадмий—алюминий) изменится не только  $\sigma_{12}$ , но и межфазное натяжение  $\sigma_{23}$ , которое в значительно большей мере определяет конечный результат (будет или не будет жидкий металл смачивать твердую поверхность).

Отсутствие смачивания или очень плохое смачивание имеют место только при условии  $\cos\Theta \leq 0$ , что соответствует  $\Theta \geq 90^\circ$ . Какие бы не подставляли значения  $\sigma_{12}$  в формулу (1) знак у  $\cos\Theta$  не изменится, а значит, не изменится и характер смачивания. Даже значение  $\cos\Theta = 0$  нельзя получить путем изменения поверхностного натяжения  $\sigma_{12}$  в знаменателе. Таким образом, формула (1) четко показывает, что конечный результат при взаимодействии жидкой фазы с твердой поверхностью определяется соотношением поверхностных натяжений  $\sigma_{13}$  и  $\sigma_{23}$  в числителе. Если  $\sigma_{23} = \sigma_{13}$ , то  $\cos\Theta = 0$ , а краевой угол смачивания  $\Theta = 90^\circ$ . Только при  $\sigma_{23} > \sigma_{13}$  получим  $\Theta > 90^\circ$ . В этом и состоит физический и практический смысл формулы (1), не понятый автором работы [1].

Прокомментируем еще одно ошибочное утверждение, содержащееся в работе [1]: "Она не имеет и математического смысла потому, что пайку можно выполнять при температуре, близкой температуре кипения припоя или интенсивного испарения компонентов (цинка, марганца). Тогда  $\sigma_{12}$  приближается к нулю, а  $\cos\Theta$ , согласно формуле, стремится к бесконечности, что невозможно, так как косинус любого угла не может быть больше единицы". В данном случае неверным является утверждение, что при  $\sigma_{12} \rightarrow 0$   $\cos\Theta$  стремится к бесконечности. Очевидно, что  $\sigma_{13} - \sigma_{23}$  также стремится к нулю (иначе нарушится равновесие капли). Тогда мы получим ситуацию, известную из теории пределов как неопределенность вида  $\frac{0}{0}$ , для раскрытия которой используют специальные приемы, например правило Лопиталья. Таким образом, вывод об отсутствии математического смысла в формуле коэффициента

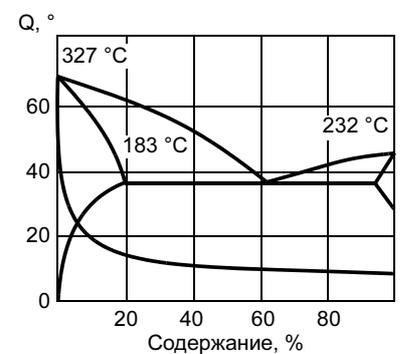


Рис. 1. Краевой угол смачивания стали припоями системы Pb—Sn в зависимости от их состава [1]

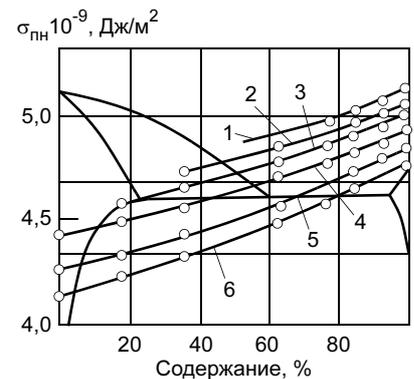


Рис. 2. Поверхностное натяжение припоев системы Pb—Sn: 1—6 —  $T$  равна 250, 300, 350, 400, 600 и 800 °C соответственно [1]

смачивания, сделанный в работе [1], также недостаточно обоснован.

Точно также, не отвергая результата формулы (1), можно объяснить кажущееся несоответствие характера изменения краевого угла смачивания характеру изменения поверхностного натяжения, которое возникает при сравнении рис. 1 и 2 (в работе [1] — рис. 4 и 5).

Сравнивая данные, приведенные на рис. 1 и 2, можно объяснить уменьшение краевого угла на рис. 1 тем, что кроме увеличения поверхностного натяжения сплавов системы Pb—Sn одновременно при возрастании содержания олова, по-видимому, уменьшается и межфазное натяжение  $\sigma_{23}$ .

Особенно много вопросов вызывает проведенное в работе [1] сопоставление данных на рис. 1 и 3

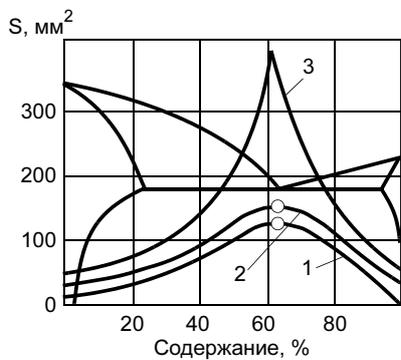


Рис. 3. Растекаемость припоев системы Pb—Sn по стали при нагреве выше температуры ликвидуса на 20 (1), 60 (2) и 150 (3) °С [1]

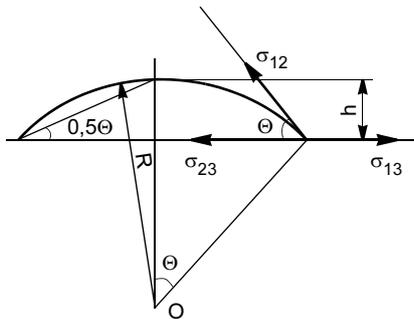


Рис. 4. Схема для расчета геометрических размеров капли припоя, находящейся в равновесии

(в работе [1] — рис. 6). Согласно работе [1], "смачивание и растекаемость имеют различную природу, так, на рис. 4 и 6 видно, что краевой угол смачивания сплавами одной и той же системы свинец — олово поверхности стали (см. рис. 4) имеет совсем другой характер, чем растекаемость этих же сплавов по стали (см. рис. 6)". Из этой фразы следует, что, сравнивая краевой угол смачивания  $\Theta$  (см. рис. 1) и площадь  $S$ , занятую каплями припоя (см. рис. 3), автор рассматривает эти параметры как независимые друг от друга величины. Верна ли такая точка зрения? Рассмотрим расчетную схему капли, имеющей форму шарового сегмента [2] и находящейся в равновесии на горизонтальной поверхности твердого тела (рис. 4).

Объем шарового сегмента

$$V = \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h), \quad (2)$$

где  $R$  — радиус шара;  $h$  — высота шарового сегмента.

Используя расчетную схему, приведенную на рис. 4, получим следующее соотношение:

$$R^2 = (R - h)^2 + r^2, \quad (3)$$

где  $r$  — радиус капли.

Из соотношения (3) определим радиус шаровой поверхности

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

Подставляя найденное значение радиуса шаровой поверхности в формулу (2), получим

$$V = \frac{1}{3} \pi h^2 \left( \frac{3h^2 + 3r^2}{2h} - h \right), \quad (5)$$

тогда радиус капли

$$r^2 = \frac{2V}{\pi h} - \frac{h^2}{3}. \quad (6)$$

Умножая обе части формулы (6) на  $\pi$ , выразим площадь, смоченную припоем, через высоту капли

$$\begin{aligned} S &= \pi r^2 = \frac{2V}{h} - \frac{\pi}{3} h^2 = \\ &= \frac{2V}{h} - 1,0467 h^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Подставляя значение  $r^2$  из формулы (6) в выражение (4), определим радиус сферической поверхности  $R$  и угол  $\Theta$ :

$$R = \frac{h}{3} + \frac{V}{\pi h^2}; \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} = \frac{h}{r}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Theta &= 2 \operatorname{arctg} \frac{h}{r} = \\ &= 2 \operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{\left( \frac{2V}{\pi h} - \frac{h^2}{3} \right)}}. \end{aligned} \quad (10)$$

При сопоставлении каких-либо экспериментальных данных не-

обходимо обеспечить идентичность условий проведения сравниваемых экспериментов (температуры, объема припоя, состава припоя, паяемого металла и флюса и т. д.). Следуя такому принципу при построении зависимостей на рис. 1 и 3, используем для определения параметров  $\Theta$  и  $S$  абсолютно одинаковые капли (т. е. фактически одну и ту же каплю). Значит, и высота капли при сравнении величин  $\Theta$  и  $S$  должна быть одинаковой. Выражения (7) и (10) показывают, что в таком случае сравниваемые в работе [1] величины  $\Theta$  и  $S$  всегда будут соответствовать друг другу. Таким образом, отсутствие соответствия между зависимостями на рис. 1 и 3 свидетельствует о том, что они получены при разных условиях проведения экспериментов (температурных, с разным составом используемых флюсов или защитных сред, а возможно, и при различных объемах припоев) и эти результаты просто нельзя сравнивать. Поясним это более подробно. При увеличении содержания олова от 61 до 100 % краевой угол на рис. 1 уменьшается незначительно (от 10 до 9°), а площадь, занимаемая каплей, при этом не только не увеличилась, но даже уменьшилась более чем в 6,5 раз (см. рис. 3). При неизменном объеме соответствующим образом должна увеличиться и высота капли, т. е. у двух капель — низкой и широкой, с одной стороны, а также высокой и узкой, с другой стороны, должен быть один и тот же краевой угол 9—10°.

Поясним создавшуюся ситуацию. Известно, что при малых углах (до 15°)  $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ . Значит, в данном случае формулу (9) можно записать следующим образом:

$$\frac{\Theta}{2} = \frac{h}{r}. \quad (11)$$

Из этого следует, что при хорошем смачивании краевой угол

прямо пропорционально зависит от соотношения размеров  $\beta = \frac{h}{r}$  и не может иметь значений, приведенных на рис. 1; если площадь растекания уменьшилась с 385 до 59 мм<sup>2</sup>, то радиус капли также уменьшится с 11 до 4,33 мм. Еще более абсурдной будет ситуация, если для сравнения взять вместо кривой 3 на рис. 3 кривую 1. При 100 %-ном содержании олова  $S = 0$ , т. е. капля превратилась в шар, касающийся твердой поверхности одной точкой. Как же она может иметь краевой угол  $\Theta = 9^\circ$ ? Все это подтверждает некорректность противопоставления результатов на рис. 1 и 3, а значит, и некорректность полученного таким образом вывода об отсутствии связи между процессами растекания и смачивания.

В работе [1] также утверждается, что растекание капли может иметь место и при отсутствии смачивания: "Например, вода не смачивает твердую поверхность стекла, металла, но достаточно хорошо растекается по ним тонким слоем". Причину автор видит в действии силы тяжести, высокой жидкотекучести и малом поверхностном натяжении воды. В связи с этим следует заметить, что та же вода, с теми же жидкотекучестью, силой тяжести и малым поверхностным натяжением не растекается тонким слоем по поверхности парафина, а собирается в капли. Заявление об отсутствии смачивания стекла водой прямо противоречит данным работы [3], где приводится подробное описание ряда экспериментов, основанных именно на смачивании стекла водой.

Утверждение, что растекание капли может иметь место и при отсутствии смачивания, автором, хотя и сомнительными доводами, но обосновано. Однако наличие смачивания имеет гораздо большее значение для практики пайки. Именно к этому и стремятся

при проведении паяльных работ. Однозначно при наличии смачивания капля обязательно растечется по смачиваемой поверхности. И произойдет это даже при отсутствии силы тяжести и даже при "отрицательной" силе тяжести (на потолке). Значит, между растеканием и смачиванием все-таки существует причинно-следственная связь.

Подводя итоги, можно заметить несостоятельность многих аргументов, приведенных в работе [1], и сделать вывод, что краевой угол смачивания без всяких ограничений и оговорок можно применять в качестве критерия при оценке смачивающей способности материалов.

Из формул (7) и (10) следует, что параметры  $S$  и  $\Theta$ , используемые ГОСТ 23904—79 в качестве критериев смачивающей способности, напрямую зависят от объема исследуемого припоя. Значит, точность определения этих величин зависит от точности дозирования припоя при проведении исследований на смачивание. Рекомендации ГОСТ 23904—79 предусматривают использование дозированной порции припоя, объем которой должен составлять 64 мм<sup>3</sup>. В то же время стандарт ничего не говорит о требуемой точности такой дозировки. Отклонения от требуемой величины объема могут быть весьма значительными. Например, при подготовке образцов кубической формы сторона должна иметь размер  $a = 4$  мм, а их объем  $V = a^3$ . Дифференцируя и переходя от дифференциалов к погрешностям [4, 5], получим следующую формулу для оценки погрешности объема:

$$\Delta V = 3a^2 \Delta a, \quad (12)$$

где  $\Delta a$  — погрешность измерения стороны куба.

При измерении штангенциркулем предельная погрешность измерения составит 0,08 мм [6].

Тогда  $\Delta V = 3 \cdot 4^2 \cdot 0,08 = 3,84$  мм<sup>3</sup> и в одном и том же эксперименте могут быть использованы кубики объемом  $64 + 3,84 = 67,84$  мм<sup>3</sup>, а также  $64 - 3,84 = 60,16$  мм<sup>3</sup>. Различие в объемах составит 12 %.

Еще более заметным (примерно 16 %) будет различие, обусловленное недостаточной точностью измерений, при испытании припоев, содержащих драгоценные металлы, для которых стандартом установлен дозированный объем 16 мм<sup>3</sup>.

В таких условиях образцы с одинаковой площадью растекания будут иметь различные значения краевых углов смачивания. Поэтому сравнение результатов только по площади, занимаемой каплей припоя, является некорректным.

Другой причиной возможной некорректности при сопоставлении результатов испытания на паяемость являются рекомендации ГОСТ 23904—79, содержащиеся в приложении 1. Здесь рекомендуется использовать одинаковые массы припоев, которые значительно отличаются друг от друга по плотности. Например, при испытании припоев плотностью от 2 до 4 г/см<sup>3</sup> предлагается использовать дозу массой 0,2 г. Тогда объем первого из испытываемых припоев будет вдвое превышать объем второго, а сравнение по площади растекания может привести к ошибочному выводу о лучших технологических свойствах припоя, имеющего больший объем.

Характерным примером, который подтверждает важность и необходимость оценки точности результатов при испытании конструкционных и технологических материалов на паяемость, является работа [7], в которой установлено уменьшение краевого угла смачивания с 7,31 до 7,13° при изменении способа подготовки поверхности. На основании разницы в 0,18° сделан вывод, что

кислотное травление паяемой поверхности алюминия обеспечивает лучшее качество пайки, чем щелочное. По мнению авторов, в этом случае для корректного вывода кроме расчета погрешности необходима статистическая обработка результатов параллельных опытов и определение доверительных интервалов по каждому из вариантов подготовки поверхности к пайке.

Приведенные выше результаты показывают, что точность обработки и измерения заготовок припоя, соответствующая точности штангенциркуля, оказывается недостаточной. Точность механической обработки должна быть более высокой, соответственно, возрастут затраты на обработку и ее трудоемкость. Тогда окажется, что точное дозирование объема — трудоемкий и дорогой процесс. Поэтому при определении краевого угла лучше воспользоваться формулой (9), так как результат в данном случае не зависит от объема используемого припоя. Кроме того, эта формула позволяет учесть значительный опыт, накопленный в технике измерения линейных размеров; в данном случае размеры  $r$  и  $h$ . Чтобы оценить практическую возможность определения краевого угла  $\Theta$  по формуле (9), оценим точность косвенного измерения  $\Theta$  с использованием этой формулы. Чтобы упростить вычисления, вначале получим выражение для оценки погрешности безразмерного параметра  $\beta$ :

$$\Delta\beta = \frac{h\Delta r + r\Delta h}{r^2}, \quad (13)$$

где  $\Delta r$ ,  $\Delta h$  — погрешности измерения радиуса капли и ее высоты соответственно.

При определении радиуса капли производят измерение ее диаметра и делят его пополам. Соответственно погрешность из-

мерения радиуса капли будет составлять половину от погрешности измерения ее высоты. Если использовать измерительный микроскоп (как это рекомендует ГОСТ 23904—79), то по данным работы [6], можно принять  $\Delta r =$

$$= \frac{\Delta h}{2} = 0,0015 \text{ мм.}$$

Тогда в области изменения параметра  $\beta$ , соответствующей плохому смачиванию, получим  $\Delta\beta = 0,0015$ . В области хорошего смачивания  $r$  резко возрастает и, согласно формуле (13), погрешность определения параметра  $\beta$  будет значительно меньше. Поэтому полученное значение можно рассматривать как максимальное, т. е.  $\Delta\beta_{\max} = 0,0015$ .

Дифференцируя обе части формулы (9) и переходя к погрешностям, получим формулу для погрешности косвенного измерения краевого угла смачивания:

$$\Delta\Theta = \frac{2\Delta\beta}{1 + \beta^2}. \quad (14)$$

Из формулы (14) следует, что при увеличении площади растекания и соответствующем уменьшении параметра  $\beta$  от 1 до 0 происходит уменьшение  $\Delta\Theta$  примерно в 3 раза. Тогда максимальное значение абсолютной погрешности краевого угла будет иметь место при  $\beta = 1$  и примерно равно  $\Delta\beta_{\max}$ , т. е.  $\Delta\Theta_{\max} = 0,0015 \text{ рад} = 0,086^\circ$ .

Этот результат свидетельствует о высокой точности определения краевого угла при использовании измерительного микроскопа. Если столь высокая точность не нужна, можно отказаться от использования измерительного микроскопа при определении высоты капли и ее радиуса. Тогда отпадет необходимость в разрезании капли и по данным работы [6] величину  $\Delta r$  можно принять равной 0,005 мм (измерение гладким микрометром). В этом случае по-

грешность косвенного измерения  $\beta$  возрастет до 0,003, а точность определения угла  $\Theta$  останется высокой и составит 0,2—0,3°.

## ВЫВОДЫ

1. Точность дозирования объема припоя при проведении испытаний на паяемость существенно влияет на достоверность получаемых результатов.

2. Для более корректного сопоставления результатов, а также в тех случаях, когда точное дозирование объема припоя затруднительно, краевой угол смачивания необходимо рассчитывать по безразмерному параметру, который определяется как отношение высоты капли к ее радиусу.

3. Установлено, что при расчете краевого угла смачивания через отношение высоты капли к ее радиусу обеспечивается достаточно высокая точность, соответствующая требованиям ГОСТ 23904—79.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитинский А. М. К вопросу о смачивании и поверхностном натяжении // Сварочное производство. 1999. № 1. С. 7—11.
2. Лисицкий Б. С., Картышов Н. Г., Шахатов В. И. Исследование активированных спирто-канифольных флюсов // Сварочное производство. 1979. № 11. С. 31—32.
3. Элементарный учебник физики / Под ред. Г. С. Ландсберга. М.: Наука, 1972. Т. 1. 655 с.
4. Кортнев А. В., Рублев Ю. В., Куценко А. Н. Практикум по физике. М.: Высшая школа, 1963. 516 с.
5. Каленков С. Г., Соломахо Г. И. Практикум по физике. М.: Высшая школа, 1990. 110 с.
6. Романов А. Б. Допуски изделий и средства измерений. С.-Петербург: Политехника, 2003. 291 с.
7. Влияние способа подготовки поверхности на свойства паяных соединений алюминия / А. М. Никитинский, В. Б. Челышев, В. М. Шилин, М. А. Никитинская // Сварочное производство. 1979. № 6. С. 27—28.

**В. М. БАРДИН, канд. техн. наук, Д. А. БОРИСОВ, студент**  
**Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева**

## Оптимизация режима работы высокочастотных сварочных аппаратов по критерию минимума потерь

В соответствии с прогрессивным развитием техники одно поколение технических устройств сменяется другим, более совершенным. Не является исключением и область сварочной техники. Громоздким и не очень экономичным сварочным аппаратам переменного тока частоты 50 Гц и выполненным на их базе аппаратам для сварки постоянным током приходит на смену оборудование другого поколения с инверторными преобразователями высокой частоты. Переход с частоты 50 Гц на частоты в десятки килогерц позволяет резко снизить массогабаритные показатели аппаратов, а применение электронных устройств управления — улучшить качественные и количественные характеристики. Типовая структура таких сварочных аппаратов приведена на рис. 1.

Бестрансформаторный входной выпрямитель, работающий от бытовой или промышленной сети (50 Гц, 220 В), обеспечивает заряд емкостного накопителя энергии до напряжения порядка 300 В. Чтобы в момент включения аппарата в сеть исключить пиковую перегрузку сети по току, заряд накопителя осуществляется через программный ограничитель тока. Полупроводниковый инверторный блок с высокочастотным трансформатором преобразует энергию постоянного тока накопителя в энергию переменного тока высокой частоты. Величину выходного переменного напряжения высокой частоты выбирают исходя из условий устойчивого зажигания и горения сварочной дуги. Сварку можно проводить переменным током, а при наличии выходного выпрямителя и постоянным.

Высокочастотные инверторные блоки мощностью в несколько киловатт выполняют на основе транзисторных ключей и высокочастотного транс-

форматора на ферритовом магнитопроводе. Схемотехнических решений таких преобразователей существует достаточно много, но наиболее распространенной является полумостовая или мостовая схема. При проектировании подобных аппаратов возникает ряд серьезных инженерных задач. Одна из них — выбор оптимальной рабочей частоты инвертора и режима работы коммутирующих ключей. Вторая задача — обеспечение требований по электромагнитной совместимости (ЭМС) аппарата. При выборе рабочей частоты критерием оптимальности инверторного блока может служить минимум электрических потерь в инверторе. Для этого требуется оценить потери в трансформаторе и полупроводниковых ключах в зависимости от рабочей частоты и параметров импульсов тока через ключи и обмотки трансформатора [1].

Известно, что наименьшие потери в полупроводниковых коммутирующих элементах достигаются при их работе в ключевом режиме, т. е. в режиме импульсов, близких к прямоугольным. Однако при этом необходимо учитывать частотные свойства ключей, поскольку они влияют на величину потерь на этапах коммутации (отпирания и запираания) ключей. Потери в трансформаторе складываются из потерь в сердечнике трансформатора и его обмотках. Поскольку трансформаторы работают на частотах в десятки килогерц, то магнитопровод должен быть выполнен из ферритовых материалов, а обмотки — из провода типа лицендрат.

Что касается задачи обеспечения требований ЭМС, то здесь следует обратить внимание на следующее. Коммутация силовых ключей в инверторном блоке приводит к появлению в первичной и вторичной цепях высокочастотных составляющих

тока. Эти гармоники могут проникать в питающую цепь и служить источниками помех для других потребителей. Поэтому на входе сварочного аппарата должен быть установлен соответствующий помехоподавляющий фильтр. Поскольку входные токи обычно невелики, то размеры входного фильтра незначительны. Более серьезную проблему представляют импульсные помехи в выходной цепи, где сварочный ток может составлять 100 А и более. Реше-



Рис. 1. Структурная схема сварочного аппарата с высокочастотным инвертором

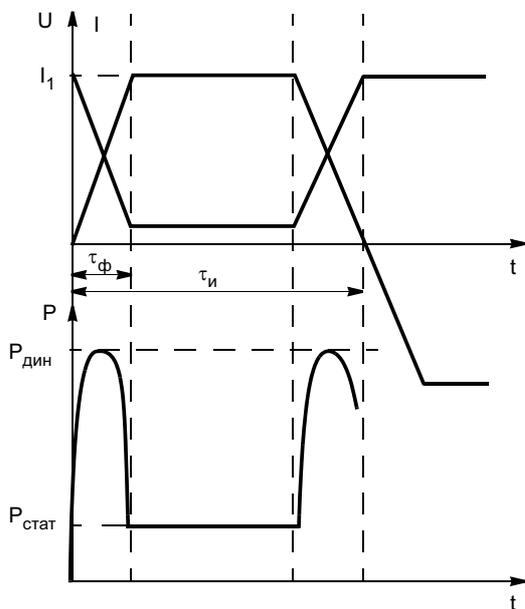


Рис. 2. Кривые напряжения, тока и мощности при работе транзистора

ние этой задачи упрощается, если на выходе аппарата стоит выпрямитель. Однако это приводит к возрастанию массогабаритных показателей, необходимости обеспечения охлаждения выпрямительных диодов. Но и в этом случае проблема радиопомех по выходной цепи не снимается. Поэтому в любом случае в выходной цепи аппарата должен быть установлен помехоподавляющий фильтр или его функции должен выполнять специальный сварочный кабель (фидер).

Для оценки зоны оптимальных рабочих частот с учетом параметров токовых импульсов и потерь в полупроводниковых ключах выполняли соответствующие расчеты. Для учета влияния фронтов форму импульсов тока задавали трапецеидальной (рис. 2), при которой потери в ключах содержат две составляющие  $P_{дин}$  и  $P_{стат}$  [2].

Динамические и статические потери в одном ключевом элементе оценивали по формулам [1]

$$P_{дин} = f 10^{-3} \left( \frac{U_{1max}}{2} \frac{I_{1eff}}{2\sqrt{\gamma_{max}}} \frac{2}{3} t_{\phi} + U_{2max} \frac{I_{1eff}}{2\sqrt{\gamma_{max}}} \frac{2}{3} t_{\phi} \right);$$

$$P_{стат} = (U_{кэн} I_{к} + U_{бэн} I_{к}) \gamma_{max},$$

где  $f$  — частота коммутации, Гц;  $U_{1max}$ ,  $U_{2max}$  — максимальное напряжение на первичной и вторичной обмотках;  $I_{1eff}$ ,  $I_{2eff}$  — эффективное значение тока в первичной и вторичной обмотках;  $t_{\phi}$  — вре-

мя нарастания фронта импульса;  $\gamma_{max}$  — максимальный коэффициент заполнения импульсов.

В зависимости от выбранной схемы инверторного блока (полумостовая, мостовая) в нем могут быть два или четыре коммутирующих элемента. Для оценки потерь в ключах выбрали полумостовую схему (два ключа) и следующие параметры:  $I_{к} = 12$  А;  $I_{6} = 1,2$  А;  $U_{1max} = 340$  В;  $U_{2max} = 21,6$  В;  $I_{1eff} = 6,1$  А;  $I_{2eff} = 97,5$  А;  $\gamma_{max} = 0,95$ ;  $U_{кэн} = 0,4$  В;  $U_{бэн} = 1,1$  В;  $f = 45$  кГц;  $t_{\phi} = 0,1$  мкс.

С учетом этих данных потери в одном ключе составляют:  $P_{дин} = 1,4$  Вт;  $P_{стат} = 5,8$  Вт. Соответственно потери в ключах полумостового инвертора составляют 14,4 Вт, мостового — 28,8 Вт. Причем динамические и статические потери увеличиваются пропорционально частоте.

При выборе оптимальной частоты коммутации ключей по критерию минимума потерь в трансформаторе следует учитывать потери в сердечнике и обмотках. На низких частотах потери будут нарастать из-за увеличения числа витков в обмотках, на высоких они растут за счет увеличения потерь как в сердечнике, так и обмотках, в том числе и за счет высших гармоник тока. Очевидно, должна существовать некоторая зона рабочих частот и параметров импульсов, где суммарные потери будут минимальными. Для нахождения этих потерь с помощью программы Mathcad по методике работы [3] выполнены соответствующие расчеты. В качестве сердечника трансформатора выбран кольцевой феррит M200НМ-А размером  $100 \times 60 \times 15$  мм. Количество проводников в первичной обмотке — 10, во вторичной обмотке — 15, плотность тока в обмотках  $4,5$  А/мм<sup>2</sup>. Частота коммутации и параметры импульсов заданы ранее при расчете цепей коммутации. Расчеты по первой гармонике дали следующие результаты: потери в обмотках 29,2 Вт, потери в сердечнике 16,4 Вт. Соответственно суммарные потери в трансформаторе 45,6 Вт. Следует, однако, заметить, что использование методики работы [3] при несинусоидальном токе не совсем

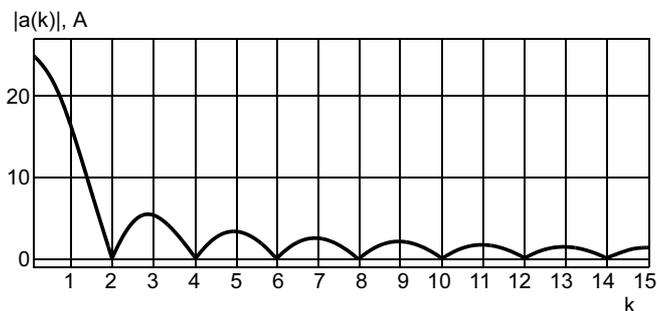


Рис. 3. Спектральная характеристика импульса тока на первичной обмотке трансформатора

правомерно, так как не учитываются дополнительные потери от высших гармоник. Для того чтобы их учесть, необходимо разложить последовательность импульсов в ряд Фурье. Длительность переднего и заднего фронтов принята равной и составляющей определенную часть от длительности всего импульса  $2\tau_{\text{ф}} = \rho\tau_{\text{и}}$ . Для расчета задан диапазон изменения коэффициента трапецеидальности  $\rho$  в пределах 0,03—0,3, а возможный диапазон рабочих частот — от 10 до 90 кГц. На рис. 3 приведена спектральная характеристика тока в первичной обмотке трансформатора. Амплитуды гармоник тока определяли по следующей формуле:

$$a(k) = \frac{2}{T} \left[ \int_0^{\rho} \frac{\text{Im}}{\rho} t \sin\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) dt + \int_{\rho}^{\tau-\rho} \text{Im} \sin\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) dt + \int_{\rho}^{\tau-\rho} \left(-\frac{\text{Im}}{\rho} + \frac{\text{Im}\tau}{\rho}\right) \sin\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) dt \right]$$

Учет высших гармоник показывает, что суммарные потери в трансформаторе по сравнению с потерями от первой гармоники увеличиваются примерно на 18 %.

Поскольку крутизна фронтов импульсов тока в общем случае может изменяться независимо от частоты коммутации, построили зависимость потерь в трансформаторе как функцию двух переменных (рис. 4): частоты коммутации  $f$  и крутизны фронтов (коэффициент  $\rho$ ). Эта зависимость имеет некоторую зону минимальных потерь в диапазоне 35—45 кГц и  $2\tau_{\text{ф}} = (0,15 \div 0,17)\tau_{\text{и}}$ .

Таким образом, суммарные потери в инверторном блоке рассматриваемого сварочного аппара-

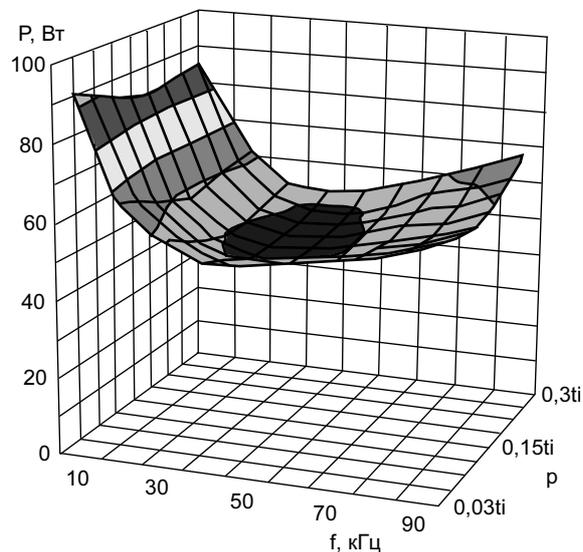


Рис. 4. Зависимость потерь в трансформаторе от частоты и коэффициента трапецеидальности

та, работающего на частоте около 40 кГц, составляют (при полумостовой схеме) 65—70 Вт. Если полная мощность сварочного аппарата с питанием от бытовой сети составляет 3,5 кВт, то КПД аппарата со звеном высокочастотного преобразователя будет находиться на уровне 95—98 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы электротехники. Т. 2. Нелинейные цепи и основы теории электромагнитного поля / Под ред. П. А. Ионкина. М.: Высшая школа, 1976.
2. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного питания / А. Н. Горский, Ю. Н. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеев. М.: Радио и связь, 1988.
3. Эраносян С. А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. Л.: Энергоатомиздат, 1991.

### Реклама Вашей продукции в нашем журнале — один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал "Сварочное производство" читают руководители и специалисты всех предприятий машиностроительного комплекса, он распространяется более чем в 30 странах мира.

**Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:**

- ❖ найти партнеров, заинтересованных в совместных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области сварочного производства;
- ❖ установить контакты с организациями и фирмами в стране и за рубежом;
- ❖ наладить обмен информацией.

*Наш журнал не имеет аналогов в России и распространяется только по подписке. Это надежная гарантия того, что Ваше рекламное объявление будет прочитано именно специалистом или заинтересованным лицом, т. е. попадет точно в цель.*

Наш адрес: 129626, Москва, проспект Мира, 106. Для корреспонденции: 129626, Москва, а/я 78, ОАО «Издательство "Машиностроение"», (для журнала "Сварочное производство"). Тел.: (495) 682 3856, тел./факс: (495) 687 6316.

**В. В. ЗЕНИН, д-р техн. наук, Д. И. БОКАРЕВ, канд. техн. наук,  
(Воронежский ГТУ)**

**О. Г. КОЗИНЦЕВ, инж.  
(ООО "Теплоком-сервис", Воронеж)**

## Дистанционный метод контроля трещин в материалах и сварных швах

Задачи повышения качества и надежности отдельных конструкций и объектов в целом требуют систематической работы над совершенствованием методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики. Методы контроля, основанные на визуальном осмотре поверхности изделий, просты, не требуют высокой квалификации контролеров и применения специальной аппаратуры. Для сложных и ответственных конструкций применяют дистанционные методы контроля, особенно узлов и деталей, находящихся в эксплуатируемых объектах и расположенных в труднодоступных для визуального осмотра местах.

При хранении и эксплуатации в изделиях на отдельных участках могут появляться усталостные трещины, трещины термической усталости, ползучести и др. Разработка способов контроля трещин в материалах — актуальная задача металловедения. Существуют различные способы регистрации и измерения длины трещины, в частности известный способ измерения смещения<sup>1</sup> непосредственно контактным путем с помощью датчиков различных

видов либо между точками, расположенными у конца надреза на разных его сторонах (если имеется одна боковая трещина), либо на оси образца по разные стороны от центрального надреза (если трещина центральная).

При применении способа, основанного на измерении разности потенциала и смещения (способ измерения электрического напряжения), электрическое напряжение слабо реагирует на пластическую деформацию у конца трещины, если последняя не изменяет ее форму. Поэтому по отклонению от линейности судят о росте трещины.

Акустический способ основан на регистрации звуковых явлений, сопровождающих рост трещины. Данный способ не позволяет увязать генерацию звука с соответствующим приростом длины трещины, кроме того, трудно устранить источники посторонних шумов.

Недостатками приведенных способов регистрации и измерения длины трещины является то, что они не обеспечивают необходимую точность определения длины трещины, применимы только для лабораторных испытаний образцов, требуют наличия сложной регистрирующей аппаратуры и измерение трещины производится непосредственно контактным путем, что на практике не всегда возможно при регистра-

ции трещин в труднодоступных участках в атомной энергетике, авиационной и космической технике.

Известен способ определения развития усталостной трещины в материале<sup>2</sup> в условиях воздействия высокотемпературной агрессивной среды. Образец погружают в высокотемпературную агрессивную среду. Длину трещины определяют следующим образом: у вершины трещины на расстоянии, постоянном в процессе испытания, устанавливают источник рабочей среды, измеряют ее расход, при изменении которого перемещают источник в направлении развития трещины, а о длине трещины судят по перемещению источника в процессе испытания.

Однако этот разрушающий способ контроля применим для определения развития трещины только при лабораторных испытаниях опытных образцов, длина и распространение трещины зависят от концентратора (формы иницирующего надреза), требует применения сложного оборудования и специальной регистрирующей аппаратуры, не обеспечивает высокую точность определения длины трещины.

Широко используют способ определения развития трещины в

<sup>1</sup> Браун У., Сроули Дж. Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоскостной деформации. М.: Мир, 1972. 220 с.

<sup>2</sup> А. с. 630565 (СССР).

материале, при котором на определенном расстоянии по направлению роста трещины наклеивают датчики, разрушающиеся при ее росте, и по числу разрушений судят о длине трещины. Недостатками данного способа является невозможность использования для диагностики материалов в условиях длительной эксплуатации изделий, для дистанционного контроля развития трещин, особенно в труднодоступных участках эксплуатируемых конструкций; сложность контроля разветвленных трещин и трещин сложной формы.

Используется способ регистрации динамики трещинообразования образца<sup>3</sup>, при котором на торец образца наносят, по крайней мере, одну токопроводящую дорожку, к концам которой подключают регистратор электропроводности. Появление трещины определяется визуально на самопишущем приборе. При этом можно зафиксировать только факт появления трещины, но не место, где она расположена, и не направление ее перемещения. Кроме того, при регистрации электропроводности с помощью регистратора данный параметр фиксируется с большой погрешностью. Поскольку изменение электропроводности в токопроводящем слое может быть вызвано не только появлением трещины, но также и изменением физико-механических свойств самого токопроводящего слоя за счет остаточных напряжений, адгезионных, диффузионных и других процессов при термовлажной обработке, этот способ контроля трещин в материалах низкоэффективен.

Для повышения точности контроля трещин в материалах и сварных швах, особенно в условиях длительной эксплуатации изделий, в труднодоступных участках эксплуатируемых конструкций, а также разветвленных трещин и

трещин сложной формы авторами разработан способ дистанционного контроля.

Способ контроля трещин в материалах и сварных швах реализуется по схеме, приведенной на рис. 1. Токопроводящий слой 3 изолирован от поверхности материала 1 диэлектрической пленкой 2 и нанесен напылением, гальваническим или другим известным способом в виде сетки из двух изолированных друг от друга групп токопроводящих дорожек. Размеры между ячейками сетки в горизонтальном и вертикальном направлениях определяют минимальную длину трещины, а количество изолированных друг от друга групп токопроводящих дорожек  $x_1 \dots x_n$  и  $y_1 \dots y_n$  — площадь контролируемого участка. Для контроля герметичности конструкций расстояния между  $x$  и  $y$  должны быть соизмеримы с толщиной стенки изделия.

К концам токопроводящих дорожек подсоединяют с помощью

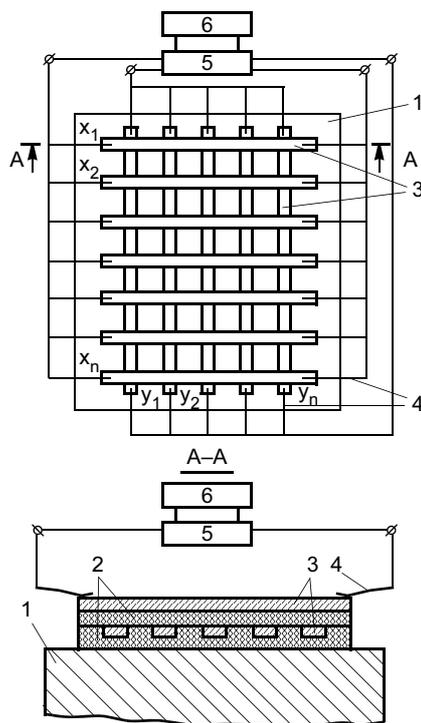


Рис. 1. Размещение токопроводящих дорожек на контролируемой поверхности

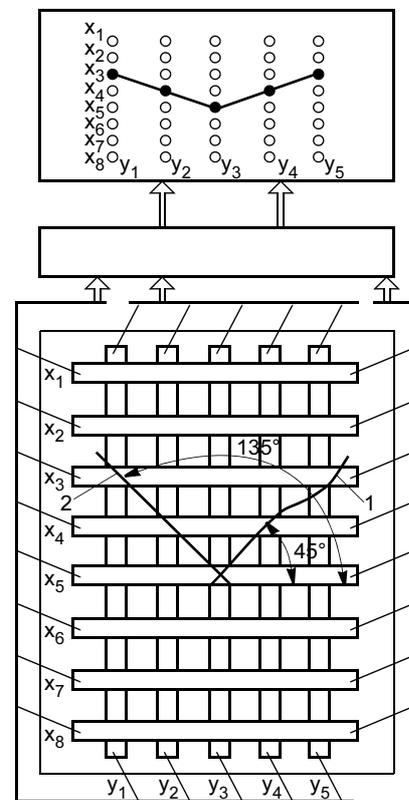


Рис. 2. Пример реализации предлагаемого способа контроля

проволочных проводников 4 регистрирующее устройство 5, фиксирующее на индикаторе 6 разрывы дорожек с появлением трещин.

В качестве примера приведена схема контроля (рис. 2) двух трещин, расположенных под углами 45° и 135°. При появлении на контролируемом участке трещины 1 под углом 45° происходит разрыв токопроводящих дорожек  $x_5, x_4, x_3$  и  $y_3, y_4, y_5$ , т. е. на индикаторе фиксируются точки  $x_5y_3, x_4y_4$  и  $x_3y_5$ .

Трещина 2 под углом 135° разрывает токопроводящие дорожки  $y_3, y_2, y_1$  и  $x_5, x_4, x_3$ , в этом случае на индикаторе фиксируются точки  $x_5y_3, x_4y_2$  и  $x_3y_1$ . Точность контроля определяется расстояниями между ячейками сетки токопроводящих дорожек в горизонтальном  $x$  и вертикальном  $y$  направлениях, а количество  $x_1 \dots x_n$  и  $y_1 \dots y_n$  — это площадь контролируемого участка.

<sup>3</sup> А. с. 365641 (СССР).

**Ю. И. КУДРЯВЦЕВ, д-р техн. наук**  
**ЗАО "НПВФ "Сварка" (Чебоксары)**

## Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях "АЛИКС"

Строительная индустрия Москвы насчитывает десятки предприятий по производству изделий из бетона и железобетона. На их долю приходится производство продукции, составляющей около 60 % общей стоимости строительства типовых домов.

Весьма энергоемким в производстве сборного железобетона, к сожалению, остается изготовление арматурных сеток и каркасов. Большинство предприятий для этих целей применяют технологии 30—40-летней давности. Основными причинами этого до недавнего времени являлись отсутствие новых разработок в области сварочного машиностроения в стройиндустрии, а в настоящее время — отсутствие стимулов для персонала предприятий в анализе существующей технологии и ознакомлении с разработанным в последние годы и внедренным в производство новейшим оборудованием для производства арматурных сеток.

На примере одного завода проведем анализ производства арматурных сеток. В арматурных цехах завода на машинах для многоточечной контактной сварки ежемесячно производятся сетки и каркасы в объеме 187 т. В состав оборудования для изготовления указанных сеток входят:

- две машины многоточечной контактной сварки АТМС-14 × 75 для изготовления широких сеток;
- две машины многоточечной контактной сварки МТМК для изготовления узких сеток;

- восемь правильно-отрезных станков;
- три перематывающих установки для разделения бухт;
- два тельфера;
- устройство загрузки поперечных стержней из мерных выпрямленных заготовок.

Для производства указанного объема арматурных сеток все приведенное оборудование работает в течение двух рабочих смен.

Основные операции по изготовлению сеток на оборудовании завода и число работающего персонала приведены на рис. 1.

Использование такого множества оборудования обуславливают изготовлением 75 видов сеток ежедневно. Действительно, такое количество типоразмеров сеток необходимо для железобетонных изделий согласно программе комплектации строящихся объектов. Технологические возможности каждой из машин многоточечной контактной сварки ограничены, и это исходит из конструктивных решений, примененных в них. Если в некоторых случаях и возможна переналадка на разные типы сеток, то это требует нескольких часов работы, что невозможно в условиях интенсивного производства.

Следовательно, необходимо разработать оборудование специально для производства сеток множества видов. При этом основную работу по переналадке должны обеспечивать системы управления с заранее записанной программой или легко вводимой по заданному виду сетки.

Технологи завода ознакомились с автоматическими линиями изготовления арматурных сеток ЗАО "НПВФ "Сварка". Фирма, будучи научно-техническим центром по сварочному оборудованию департамента строительства и ЖКХ Министерства промышленности и энергетики РФ, является разработчиком и изготовителем автоматических линий контактной сварки "АЛИКС". По прось-



Рис. 1. Основные операции технологии изготовления сеток на имеющемся оборудовании

бе заводов она изучает существующие технологии, предлагает варианты унификации сеток и на этой основе разрабатывает предложения по созданию необходимой линии.

На основании работы, проведенной на данном заводе, разработана автоматическая линия "АЛИКС", заменяющая все вышеприведенное оборудование и обеспечивающая изготовление необходимых видов сеток. Следует отметить, что линия способна изготавливать сетки и в значительно большем объеме. В ней также заложена возможность расширения номенклатуры изделий и изготовления новых изделий.

На рис. 2 приведена одна из линий "АЛИКС", основные принципы построения которой будут использованы при создании линии для полной замены устаревшей энергоемкой технологии.

При производстве сеток на линии "АЛИКС" нет необходимости использовать дополнительное оборудование, в частности для перемотки бухт с разделением на меньшие диаметры и объемы, станки для подготовки мерных заготовок и устройства их транспортировки до сварочной машины.

Бухты проволоки, поступающие с металлопрокатных предприятий, устанавливаются непосредственно на линию. Процессы размотки, выпрямления проволоки и подачи ее на расчетную длину полностью автоматизированы, изменение шага подачи система управления осуществляет по заданной программе. Подача проволоки и перемещение сетки выполняются управляемыми приводами на основе электродвигателей. Работающий персонал, начиная с установки бухт на линию до получения готовой сетки, только наблюдает за процессом изготовления изделия. Управление и контроль за прохождением технологических операций осуществляет система автоматического управления.

Переход от изготовления одного вида сетки к другому осуществляется запуском программы,

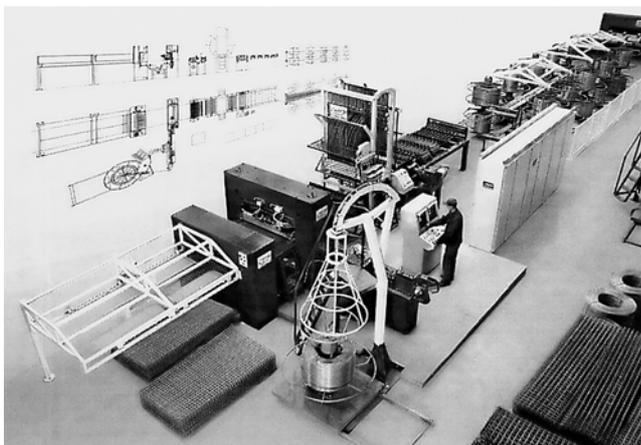


Рис. 2. Автоматическая линия "АЛИКС" для изготовления сеток

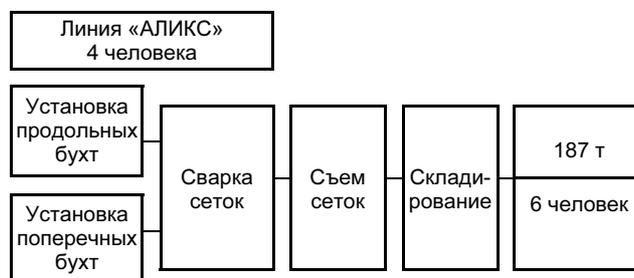


Рис. 3. Основные операции технологии изготовления сеток на линии "АЛИКС"

хранящейся в памяти системы управления. При появлении нового типоразмера сетки составление и ввод программы занимают не более 5 мин. Введенная программа сохраняется в памяти и может быть использована многократно.

Основные операции по изготовлению сеток на линии "АЛИКС" и число работающего персонала приведены на рис. 3.

Внедрение новой автоматической линии "АЛИКС" дает ряд преимуществ, в частности:

- снижение объема оборудования для изготовления сеток, каркасов при условии сохранения объемов производства и даже его увеличении;
- значительное снижение производственной площади для производства сетки и каркасов, что уменьшит затраты на содержание площадей под арматурное производство;
- изготовление арматурных изделий с требуемым качеством, что не достигается на устаревшем оборудовании;
- возможность изготовления различных модификаций арматурных изделий различных типоразмеров;
- повышение культуры производства, как арматурного, так и формовочного;
- сокращение трудозатрат в несколько раз;
- многократное снижение энергозатрат, что важно в условиях энергосистем Москвы.

На последнем из приведенных преимуществ остановимся подробнее, учитывая его актуальность в настоящее время.

В терминологии энергоснабжения есть понятие установленной мощности оборудования, потребляемой при его включении в работу, когда при работе всего оборудования предприятия счетчики учета передающейся по сети энергии фиксируют максимальные значения. Если эти значения превышают установленные мощности, выделенные предприятию, то предприятие либо вынуждено ограничить потребление, либо энергосистема будет вынуждена выключиться из общей энергосети для предотвращения аварийных ситуаций.

Все заводы по производству железобетона вынуждены ограничивать величину потребляемой

энергии в часы установленного максимума по требованию энергоснабжающих организаций. Ограничение достигается отключением энергоемкого технологического оборудования, каковым и является устаревшее сварочное оборудование.

Внедрение линии "АЛИКС" позволит избежать остановов в работе сварочного производства.

Расчеты потребления электроэнергии для изготовления 187 т сеток в месяц при устаревшей и предлагаемой новой технологиям приведены в табл. 1.

Производство сеток на ДСК организовано в две 8-часовые смены, тельферы работают по 6 ч в день, при этом за 22 рабочих дня в месяц имеющееся оборудование позволяет изготавливать только 187 т сеток.

Возможности линии "АЛИКС" гораздо шире. При производительности 60 прутков в 1 мин объем производства сетки из проволоки 4 Вр1 с максимальной возможной шириной 2600 мм при непрерывной работе линии в течение 16 ч составляет 646 т в месяц. Однако при работе линии неизбежны перерывы, вызванные необходимостью смены бухт проволоки и складирования пачек сетки. Они занимают 20 % общего времени работы линии. Номенклатура сварных сеток ДСК многообразна, поэтому имеют место постоянные переходы с одного вида сетки на другой, это занимает еще 20 % рабочего вре-

мени. При соответствующей подготовке персонала для работы на линии "АЛИКС", которую проводят специалисты фирмы "Сварка", время на переналадку линии сокращается, что позволяет увеличивать объем производства.

В течение одной рабочей смены необходимо изготовить от 30 до 50 типоразмеров сеток. На начальном этапе обучения операторов переходы на изготовление от одного вида сетки на другой занимают до 20 % рабочего времени, а после 2 мес. работы эти затраты времени сокращаются до 10 %, также снижается время на замену бухт до 12 %.

С учетом временных потерь при работе линии "АЛИКС" в течение 16 ч производится 388 т сеток в месяц. Таким образом, для производства 187 т достаточно односменной работы.

Расчеты показывают огромную разницу в потреблении электроэнергии. Установленная мощность оборудования при имеющейся технологии на ДСК составляет 2967 кВт, что в 13 раз больше по сравнению с установленной мощностью линии "АЛИКС", которая составляет всего 228 кВт. Если для изготовления 187 т сетки в месяц линия "АЛИКС" потребляет 15 521 кВт · ч, то на имеющемся оборудовании ДСК расход энергии составляет 617 734 кВт · ч, что почти в 40 раз больше.

Таблица 1

Показатель	Количество рабочих часов в месяц	Оборудование Домостроительного комбината (ДСК)		Линия "АЛИКС"	
		Установленная мощность	Потребленная энергия	Установленная мощность	Потребленная энергия
Затраты электроэнергии при работе оборудования, кВт:					
2 машины для производства широких сеток (по 12 трансформаторов мощностью по 75 кВт)	352	1 800	316 800		
2 машины для производства узких сеток (по 3 трансформатора мощностью по 100 кВт)	352	600	105 600		
8 правильно-отрезных станков (мощность 16,6 кВт)	352	133	46 746		
3 перематывающие установки (мощность 5 кВт)	352	15	5 280		
2 тельфера (мощность 9,5 кВт)	132	19	2 508		
1 устройство загрузки линия "АЛИКС" (5 трансформаторов мощностью 40 кВт, электродвигатели общей мощностью 28 кВт)	170			228	
Затраты электроэнергии на выработку сжатого воздуха, кВт (2 компрессора мощностью по 200 кВт)	352	400	140 800		
ИТОГО, установленная мощность, кВт		2 967	—	228	
ИТОГО, потребленная электроэнергия в месяц, кВт · ч		—	617 734	—	15 521
Плата за мощность при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 193,163 руб./кВт)		573 115	44 041		
Плата за энергию при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 45,54 коп/кВт · ч)		281 316	7 068		
ИТОГО, затраты электроэнергии в месяц, руб.		854 431	51 109		
ИТОГО, затраты электроэнергии в год, руб.		10 253 166	613 313		

Наименование	Количество рабочих часов в месяц	Оборудование ДСК		Линия "АЛИКС"	
		Установленная мощность	Потребленная энергия	Установленная мощность	Потребленная энергия
Затраты электроэнергии при работе оборудования, кВт:					
2 машины для производства широких сеток (по 9 трансформаторов мощностью по 75 кВт)	352	1 350	237 600		
4 правильно-отрезных станка (мощность 16,6 кВт)	352	66	23 373		
грузоподъемные механизмы (мощность 10 кВт)	132	10	1 320		
линия "АЛИКС" (9 трансформаторов мощностью 40 кВт, электродвигатели общей мощностью 31 кВт)	150			391	
Затраты электроэнергии на выработку сжатого воздуха, кВт (2 компрессора мощностью по 200 кВт)	352	400	140 800		
ИТОГО, установленная мощность, кВт		1 826	—	391	
ИТОГО, потребленная электроэнергия в месяц, кВт · ч		—	403 093	—	19 530
Плата за мощность при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 193,163 руб/кВт)		352 716	75 527		
Плата за энергию при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 45,54 коп/кВт · ч)		183 568	8 894		
ИТОГО, затраты электроэнергии в месяц, руб.		536 284	84 421		
ИТОГО, затраты электроэнергии в год, руб.		6 435 408	1 013 052		

Таким образом, годовая экономия электроэнергии при использовании для производства арматурных сеток и каркасов линии "АЛИКС" составляет более 9,5 млн руб. в год, помимо этого у завода имеется возможность увеличения товарооборота сеток и каркасов за счет использования дополнительных ресурсов линии.

Данная разница в объемах энергопотребления обусловлена применением новейших схем токоподвода к свариваемой конструкции, оптимальных источников сварочного тока и систем управления сварочным режимом, разработанных фирмой "Сварка". В линии "АЛИКС" использованы современные экономичные управляемые электроприводы для размотки бухт, выпрямления проволоки и перемещения сетки на заданный шаг в отличие от пневмоприводов устаревших многоточечных машин. Особенностью данных пневмоприводов являются многократные потери энергии через его преобразование в сжатый воздух и транспортировкой от компрессоров до потребителя.

Если на приведенном для примера заводе только планируется создание линии, то на другом заводе ДСК в 2004 г. установлена линия "АЛИКС" для производства арматурных сеток плит перекрытий. При разработке основных решений по конструкции линии активное участие принимали специалисты завода, благодаря чему на одной линии "АЛИКС" стало возможным изготовление сеток всех типо-

размеров. Хотя до этого сетки изготовляли на нескольких машинах для многоточечной контактной сварки, на которых продольные прутки подавались с бухт, а поперечные стержни готовились на правильно-отрезных станках. Проектанты сеток также принимали участие в создании линии, совместная работа с ними позволила предусмотреть в оборудовании изготовление сеток будущих строительных объектов. На начальном этапе производительность линии планировалась на изготовление 300 т сеток в месяц, в ходе проектирования линии объем возможного производства был значительно увеличен. Но на этом не остановились, возможные совершенствования в схемах систем управления и применение новейших разработок фирмы "Сварка" обеспечат увеличение производительности и в дальнейшем. Так же, как и в предыдущем примере, внедрение линии обеспечило снижение установленной мощности и потребляемой энергии. Сравнение затрат электроэнергии при использовании различного оборудования для изготовления 310 т сеток в месяц приведено в табл. 2.

При производительности линии "АЛИКС" 60 прутков в 1 мин за 352 ч непрерывной работы можно изготовить 1210 т сеток шириной 3500 мм из проволоки 5 Вр1. С учетом затрат времени на смену бухт проволоки и переходов на разные виды сетки, которое занимает около 30 %, для изготовления 310 т сеток на линии "АЛИКС" достаточно одно-

сменной работы. И эти показатели достигнуты на предприятии.

Установленная мощность линии составляет всего 391 кВт, что в 4,7 раз меньше по сравнению с установленной мощностью старого оборудования завода. Для изготовления 310 т сеток в месяц линия "АЛИКС" потребляет 19 530 кВт · ч, на старом оборудовании ДСК расход энергии составлял

458 060 кВт · ч, что почти в 23 раза больше. Поэтому заводу удается в часы установленного максимума в системе энергосбережения не терять темпы производства, а ежегодная экономия при оплате энергоресурсов составляет более 5 млн руб.

Общее сокращение затрат на оплату электроэнергии только по двум заводам домостроительного комбината ежегодно составит 14,5 млн руб.

УДК 621.791.92

**П. В. ГЛАДКИЙ, канд. техн. наук, Е. Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ, канд. техн. наук,  
И. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук  
ИЭС им. Е. О. Патона**

## Плазменная наплавка (обзор)

В промышленных масштабах плазменную наплавку начали применять в СССР и США в 60-х гг. прошлого века [1—3]. За прошедшие десятилетия разработаны многочисленные способы плазменной наплавки, при которых наплавляемое изделие включается в электрическую цепь (наплавка плазменной дугой) или является нейтральным (наплавка плазменной струей), а в качестве присадочных материалов используются порошки, проволоки, пасты, литые прутки, пластины и др. [4].

По виду применяемого присадочного материала известные способы плазменной наплавки можно разделить на три основные группы:

— наплавка проволокой или прутками;

— наплавка по неподвижной присадке, уложенной или каким-либо образом закрепленной на наплавляемой поверхности;

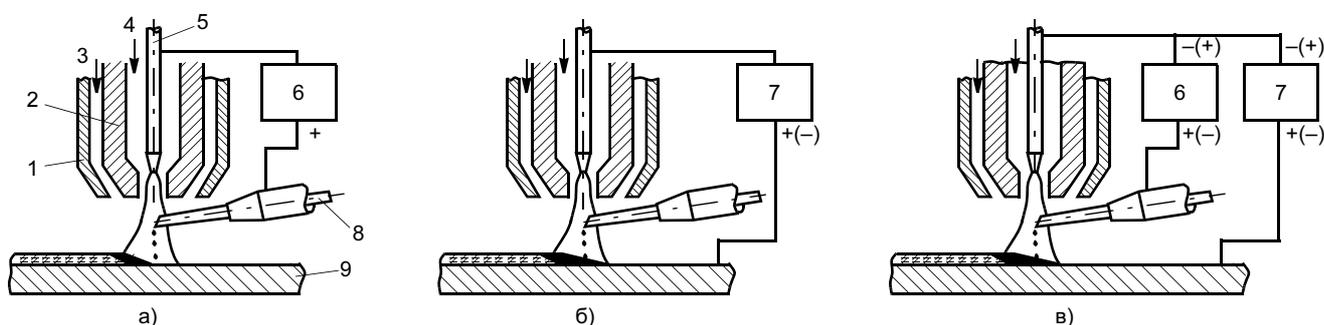
— наплавка порошком.

### Плазменная наплавка проволокой (прутками)

Наплавку плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой (рис. 1, а) выполняют постоянным током прямой полярности [5]. Дуга горит между вольфрамовым катодом и присадочной проволокой, подаваемой сбоку под прямым углом к оси плазмотрона. Между катодом и соплом плазмотрона постоянно горит также слаботочная (15—25 А) дежурная дуга (на схеме не показана), которая обеспечивает надежное возбуж-

дение и устойчивое горение рабочей дуги.

Основной металл нагревается за счет теплового воздействия струи плазмы и теплоты, переносимой каплями присадочного металла. Эффективная тепловая мощность такого источника нагрева зависит от тока дуги и расстояния  $h$  между проволокой и основным металлом (рис. 2). Сохраняя ток и, следовательно, скорость плавления присадочной проволоки неизменными, варьируя  $h$ , можно в довольно широких пределах изменять мощность, расходуемую на нагрев основного металла. Благодаря этому при наплавке плазменной струей можно регулировать тепловые и диффузионные процессы на границе сплавления, определяющие глубину



**Рис. 1. Схемы плазменной наплавки с присадкой одной проволокой:** а — плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой; б — плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой; в — комбинированной (двойной) дугой; 1 — защитное сопло; 2 — формирующее сопло; 3 — защитный газ; 4 — плазмообразующий газ; 5 — электрод; 6, 7 — источники питания косвенной дуги и дуги прямого действия соответственно; 8 — проволока; 9 — изделие

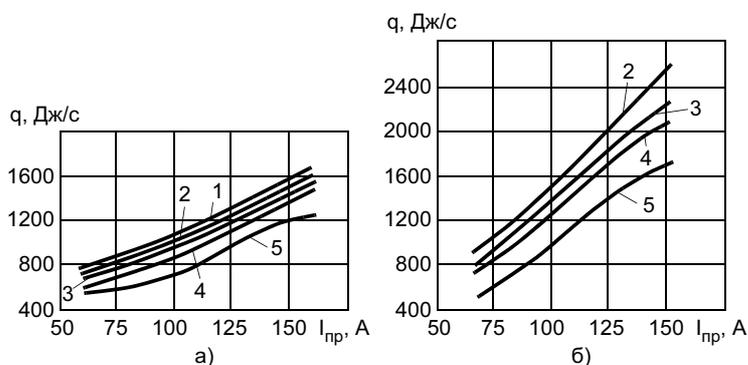


Рис. 2. Зависимость эффективной тепловой мощности  $q$  плазменной струи (а) и плазменной струи с расплавленным присадочным металлом (б) от тока  $I_{пр}$  (присадочная проволока 0X18H9T диаметром 1,6 мм): 1—5 — расстояние от проволоки до изделия соответственно 5, 10, 15, 20 и 30 мм

проплавления основного металла и его содержание в наплавленном слое, протяженность, состав и свойства зоны сплавления.

Наплавку рекомендуется производить с поперечными колебаниями плазмотрона и присадочной проволоки. Размах колебаний обычно не превышает 50—60 мм. Частота колебаний находится в пределах 20—50 мм<sup>-1</sup>.

По производительности (4—10 кг/ч) наплавка плазменной струей с токоведущей проволокой сопоставима с наплавкой под флюсом проволочным электродом. Коэффициент наплавки составляет 25—30 г/(А · ч).

Наплавку плазменной струей применяют в судовом машиностроении для нанесения коррозионно-стойких и антифрикционных сплавов. Наплавку различных валов, штоков арматуры и других деталей выполняют медными сплавами с применением присадочных проволок сплошного сечения или порошковых Бр КМц 3-1, Бр АМц 9-2, Бр АЖНМц 8,5-4-5-1,5, МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, Бр ОН8-3 и др. [6—9]. Плазмообразующий и защитный газ — аргон. Перед наплавкой алюминиевых бронз на поверхность изделия наносят тонкий слой флюса 34-А [9]. Детали запорной арматуры судовых трубопроводов наплавляют проволоками Св-02Х19Н9, Св-06Х19Н10Т и др. [6, 7].

Используя вместо проволоки сварно-литые прутки или трубча-

тые электроды, этим способом можно наплавлять также износостойкие сплавы — стеллит, сормайт, релит и др. [10]. Однако это менее надежно и удобно, чем наплавка с присадкой проволоки.

Наплавка плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой (см. рис. 1, б) впервые была описана в работе [11]. Наплавку с применением нейтральной присадки можно выполнять механизированным способом и вручную. То, что присадочная проволока электрически нейтральна, снижает интенсивность ее плавления, но в ряде случаев дает определенные технологические и металлургические выгоды: меньше разбрызгивание при наплавке порошковой проволокой, меньше угар легкоиспаряющихся легирующих элементов, предупреждается чрезмерное растворение карбидных зерен при наплавке композиционных сплавов и др.

При токе 300—500 А производительность наплавки достигает 6—9 кг/ч. На практике производительность наплавки по этой схеме значительно ниже, так как с ростом тока недопустимо увеличивается проплавление основного металла. Например, наплавку стеллита дугой прямой полярности с присадкой порошковой проволоки диаметром 2,4 и 3,2 мм рекомендуется вести на токе 80—150 и 120—170 А соответственно. При этом производительность наплавки составляет 1,4—

2,5 кг/ч, доля основного металла в первом слое  $\gamma_0 \approx 15\%$ . Производительность наплавки стеллита плазменной дугой обратной полярности примерно такая же — около 1,8 кг/ч при токе 200—220 А, но проплавление основного металла значительно меньше ( $\gamma_0 < 5\%$ ).

Наплавка плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой нашла значительное и разнообразное применение в промышленности. Этим способом наплавляют медь и ее сплавы, инструментальные стали, жаропрочные и коррозионно-стойкие сплавы на основе никеля, кобальта и титана, композиционные и другие материалы.

В качестве присадочного материала используют проволоку сплошного сечения, порошковую проволоку или литые прутки [12—14]. Для прецизионной наплавки применяют присадочную проволоку диаметром 0,4—0,6 мм [15]. Плазмообразующим газом служит аргон или аргоногелиевая смесь, защитным — аргон, азот, смесь аргона, содержащая 5—8 % водорода, и другие газы и смеси в зависимости от наплавляемого металла. При наплавке на обратной полярности рекомендуется добавлять в защитный газ небольшое количество кислорода (0,1—0,2 %) или  $\text{CO}_2$ , что уменьшает диаметр пятна нагрева плазменной дуги, повышает ее стабильность и улучшает формирование наплавленных валиков.

Характерные наплавляемые детали — клапаны и седла клапанов двигателей внутреннего сгорания, детали трубопроводной арматуры для воды, пара и газа, ножи для резки металла, прокатные валки, штампы, шнеки, замки и муфты бурильных труб, лабиринтные уплотнения авиационных турбин и др. [12—15].

Во ВНИИЭСО разработаны универсальные установки УПН-601 и УПН-602, позволяющие вести наплавку плазменной дугой прямой и обратной полярности с токоведущей или нейтральной при-

садочной проволокой [16]. В ИЭС им. Е. О. Патона разработана специализированная установка Об-1795 для плазменной наплавки замков и муфт бурильных труб с присадкой "ленточно-горелита" [14].

За рубежом для наплавки плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой применяют как универсальные, так и специализированные установки. Последние, как правило, автоматизированы и снабжены программным управлением [13].

Для ремонта мелких прецизионных вырубных штампов, широко применяемых в приборостроении, радио- и электротехнической промышленности, эффективной оказалась ручная микроплазменная наплавка [12]. Для наплавки используют серийные установки для микроплазменной сварки УПУ-4; присадочный материал — порошковая проволока ПП-АН148 диаметром 1,6—2,0 мм. Благодаря малому термическому воздействию микроплазменной дуги на основной металл восстановленные штампы из закаленной стали Х12 сохраняют твердость, не нуждаются в последующей термической обработке и не требуют больших затрат на механическую обработку.

Другим примером прецизионной наплавки, выполняемой с помощью микроплазменной дуги, но не вручную, а механизированным способом, является восстановление лабиринтных уплотнений авиационных турбин [15]. Наплавку выполняют в импульсном режиме: минимальные значения тока 2—5 А, максимальные — 7—15 А, частота импульсов 10—50 Гц. Основной металл — сплав TiAl6V4, присадочный материал — проволока диаметром 0,4—0,6 мм такого же состава или из сплавов HX20K13M4T3ЮР и H50X20B5M3.

*Наплавку двойной плазменной дугой с токоведущей присадочной проволокой (см. рис. 1, в)*

выполняют двумя дугами прямой или обратной полярности, питаемыми, как правило, от автономных источников [17]. Одна из них горит между электродом плазмостолба и изделием, другая — между электродом и присадочной проволокой. Плавление присадочного материала происходит за счет теплоты, получаемой им путем теплообмена с плазмой столба дуги электрод—изделие, и теплоты, выделяющейся в активном пятне дуги электрод—проволока.

По производительности (10 кг/ч) этот способ значительно превосходит наплавку плазменной дугой с нейтральной присадочной, обеспечивая при этом во многих случаях меньшее проплавление основного металла. По сравнению с наплавкой плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой он более универсален и надежен.

Практическое применение находит наплавка двойной плазменной дугой обратной полярности в аргоне. Применяемые для наплавки материалы — сплавы на основе меди [6, 18], хромоникелевые коррозионно-стойкие стали [6, 19] и др. Наплавляемые изделия — преимущественно детали судового машиностроения, в частности, в серийном производстве наплавляют бронзой Бр АМц 9-2 поршни диаметром 60—160 мм из стали 40Х. Успешно применяют также наплавку деталей диаметром 300—350 мм из стали 35 проволокой Св-04Х19Н11М3. Имеется опыт наплавки стального вала диаметром 200 мм с длиной наплавляемого участка около 3 м бронзой Бр ОН8-3 с подслоем из бронзы Бр КМц3-1 [6].

*Наплавка комбинированной плазменной дугой с присадкой двух проволок (рис. 3) подробно рассматривается в работе [20]. Благодаря применению двух присадочных проволок, подаваемых в столб плазменной дуги прямого действия навстречу друг другу,*

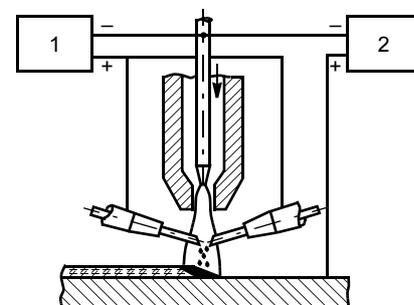


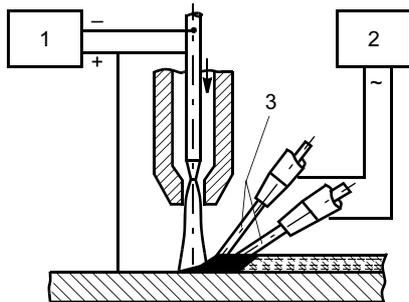
Рис. 3. Схема плазменной наплавки с присадкой двух проволок: 1 — источник питания дуги электрод—проволока; 2 — источник питания дуги электрод—изделие

компенсируется их магнитное дутье и повышается производительность наплавки, достигающая 30 кг/ч и более.

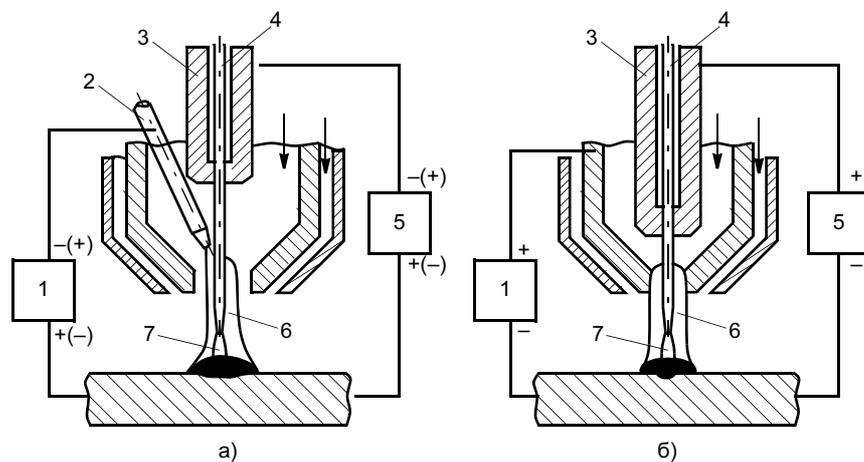
Толщину наплавленного слоя можно регулировать в пределах 3—8 мм независимо от производительности наплавки. Наплавка ведется с поперечными колебаниями наплавочной головки (размах колебаний до 70 мм). Зона наплавки защищается от воздуха с помощью насадки размером 230 × 120 мм. Защитный газ — аргон или смесь аргона с водородом; плазмообразующий газ — аргон или аргоногелиевая смесь.

Практическое применение плазменная наплавка комбинированной дугой с двумя присадочными проволоками нашла в атомном и химическом машиностроении. Например, трубные доски теплообменников диаметром 1000—2000 мм и толщиной 120—380 мм наплавляли проволоками диаметром 1,6 мм из хромоникелевых сталей Х21Н11 и Х20Н10 или никелевых сплавов с производительностью 16 кг/ч. При наплавке стали типа Х20Н10 направляющих регулировочных стержней ВВР, несмотря на малый диаметр деталей (100—200 мм), производительность составляла 12 кг/ч [20, 21].

*Плазменную наплавку "горячими" проволоками* выполняют [22] при подогреве за счет джоулевой теплоты присадочных проволок, подключенных к автономному источнику тока (рис. 4). Две приса-



**Рис. 4. Схема плазменной наплавки горячими проволоками:** 1 — источник постоянного тока для питания плазменной дуги; 2 — источник переменного тока для подогрева проволоки; 3 — присадочные проволоки



**Рис. 5. Схема плазменной наплавки плавящимся электродом:** а — с неплавящимся электродом плазменной дуги; б — с медным соплом в качестве электрода плазменной дуги; 1 — источник питания плазменной дуги; 2 — вольфрамовый или водоохлаждаемый медный электрод; 3 — мундштук; 4 — электродная проволока; 5 — источник питания дуги с плавящимся электродом; 6 — плазменная дуга; 7 — дуга плавящегося электрода

дочные проволоки диаметром 1,6 или 2,4 мм подаются с постоянной скоростью в сварочную ванну, создаваемую мощной плазменной дугой прямого действия. Проволоки расположены V-образно под углом 30° друг к другу и включены последовательно через сварочную ванну в цепь источника переменного тока с жесткой внешней ВАХ. Ток, скорость подачи проволоки и расстояние от токоподводящих мундштуков до поверхности сварочной ванны выбирают такими, чтобы проволоки нагревались проходящим током почти до температуры плавления, в результате чего резко повышается производительность наплавки.

Наплавку выполняют, как правило, с поперечными колебаниями плазмотрона. При этом ширина наплавленного валика достигает 60—65 мм. При наплавке без колебаний валик имеет ширину 18—20 мм. Высота наплавленных валиков 3—6 мм.

Производительность плазменной наплавки горячими проволоками достигает 27 кг/ч. Доля основного металла  $\gamma_0$  в наплавленном слое может быть весьма малой, но на практике она обычно составляет 5—15 %.

Рассматриваемым способом можно наплавлять практически все металлы и сплавы (за исключением алюминиевых), которые поставляются в виде проволоки. Кроме проволоки сплошного сечения можно использовать также порошковые проволоки, но без флюсообразующих компонентов в сердечнике. В промышленности применяют наплавку этим способом хромоникелевых и хромистых сталей, никеля с содержанием 1—4 % Ti, монеля, инконеля, хастеллоя В, меди, алюминиевых и оловянных бронз и других сплавов. Наплавляемые детали — фланцы крупных сосудов высокого давления, трубные доски теплообменников, детали химических аппаратов, элементы корпусов реакторов и оборудования первого контура атомных электростанций [22—24].

Плазменная наплавка плавящимся электродом (рис. 5) представляет комбинацию плазменной и дуговой сварки (наплавки) плавящимся электродом<sup>1</sup>. От обычной дуговой наплавки отличается тем, что конец проволочного электрода и дуга, горящая между проволокой и изделием, окруже-

ны аксиальным потоком плазмы, создаваемым плазменной дугой прямого или косвенного действия. Благодаря этому значительно возрастает скорость плавления проволоки, повышается стабильность дуги, улучшаются перенос электродного металла и формирование наплавленных валиков.

Наплавку по схеме на рис. 5, а можно вести дугой как прямой, так и обратной полярности. При обратной полярности резко возрастает тепловая нагрузка на неплавящийся электрод, что ограничивает ток плазменной дуги. Например, для вольфрамового электрода диаметром 6 мм он не должен превышать 200 А.

Чтобы повысить допустимый ток плазменной дуги, применяют медный водоохлаждаемый электрод или, что более эффективно, используют в качестве неплавящегося электрода сопло (рис. 5, б). Во втором случае упрощается конструкция горелки, уменьшаются ее габаритные размеры.

Производительность наплавки определяется током дуги плавящегося электрода  $I_{пэ}$  и при  $I_{пэ} = 500$  А и вылете 65 мм составляет около 34 кг/ч. При этом коэффициент расплавления равен 67,8 г/(А · ч), если учитывать толь-

<sup>1</sup> Патент 3612807 (США).

ко ток дуги плавящегося электрода, или  $56,4 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$ , если учитывать суммарный ток обеих дуг.

В качестве плазмообразующего газа при наплавке плавящимся электродом в большинстве случаев используют аргон. Для защиты сварочной ванны применяют в зависимости от состава электродной проволоки и основного металла аргон и его смеси с кислородом, углекислым газом, гелием, азотом или водородом, а также углекислый газ.

В промышленных условиях плазменную наплавку плавящимся электродом применяют для нанесения износостойких и антикоррозионных сплавов. Хорошие результаты получены при восстановлении полых роликов установок непрерывной разливки стали [25]. Эффективной оказалась наплавка сплавом инконель 625 шарнирных соединений трубопроводов для слива нефти из танкеров [26]. Из технологических и конструктивных соображений на практике применяют наплавку проволокой диаметром 1,6 мм в два и пять слоев производительностью от 10 до 20 кг/ч в зависимости от ширины наплавляемых валков (30—60 мм).

### Наплавка по неподвижной присадке

Характерная особенность этой группы способов плазменной наплавки состоит в том, что в процессе наплавки присадка неподвижна относительно изделия. Присадочный материал укладывается, насыпается, наклеивается или иным способом наносится заранее на подлежащую наплавке поверхность изделия или же подается на нее в процессе наплавки, перед дугой. В качестве присадки используют кольца или пластины, форма и размеры которых соответствуют разделке под наплавку, пасты, порошки и другие материалы.

*Наплавка с применением компактной присадки (колец и пла-*

*стин)* требует изготовления соответствующей присадки для каждого типоразмера наплавляемых деталей, что является технически и экономически оправданным только в условиях серийного производства.

Примером может служить способ плазменной наплавки выпускных клапанов автомобильных двигателей [1]. Присадочным материалом для наплавки клапанов служат кольца, изготавливаемые из смеси порошков никеля, хрома, графита и других компонентов методами порошковой металлургии. Кроме легирующих элементов в их состав введены также небольшие добавки  $\text{CaF}_2$  (до 0,1 %) и лигатуры  $\text{Al—Ce}$ , улучшающие сварочно-технологические свойства колец.

Схема наплавки клапанов приведена на рис. 6. Клапан с уложенным в разделку присадочным кольцом устанавливают в патроне наплавочного станка вертикально. Присадочное кольцо расплавляется плазмотроном, расположенным под углом  $45^\circ$  к оси клапана; при этом на рабочей фаске клапана образуется слой жаропрочного коррозионно-стойкого сплава. Чтобы предотвратить прожог кромки, снизу к тарелке клапана поджимается медная водоохлаждаемая подкладка.

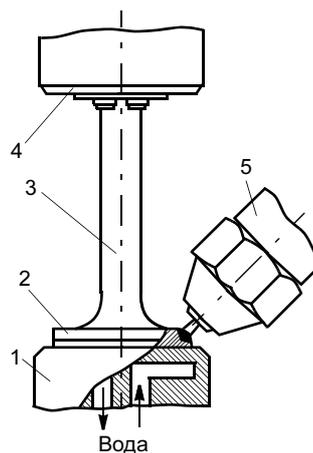


Рис. 6. Схема наплавки клапана плазменной дугой: 1 — медная подкладка; 2 — присадочное кольцо; 3 — клапан; 4 — патрон вращателя; 5 — плазмотрон

В процессе наплавки ток дуги изменяется по определенной программе, благодаря чему исключается образование дефектов в месте возбуждения дуги и обеспечивается безупречное замыкание кольцевого валика. Наплавку клапанов производят на станках У151 и У151-М конструкции ОКБ ИЭС им. Е. О. Патона. Производительность 100—120 наплавленных клапанов в 1 ч.

*Способ наплавки по слою пасты*, как и пасты ЦИС218 и ЦИС770В, разработан в Центральном институте сварочной техники (Галле, Германия) [27]. Основой паст служит смесь порошков металлов, ферросплавов, карбидов и др., при расплавлении которой образуется износостойкий  $\text{Fe—Cr—C}$ - или  $\text{Fe—Cr—V—Ni—C}$ -сплав. Пасту наносят на изношенную поверхность детали и после высыхания оплавляют плазмотроном. С использованием пасты ЦИС218 проводили наплавку пластин размером  $500 \times 200 \times 6$  мм, которыми облицовывали быстроизнашивающиеся поверхности роторных экскаваторов.

*При наплавке по слою гранулированной присадки (крупки)* (рис. 7) присадочный материал в виде гранул неправильной формы размером 0,5—3,0 мм в попе-

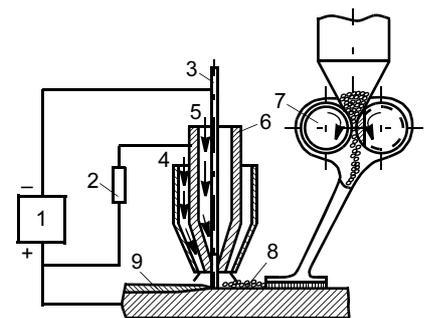


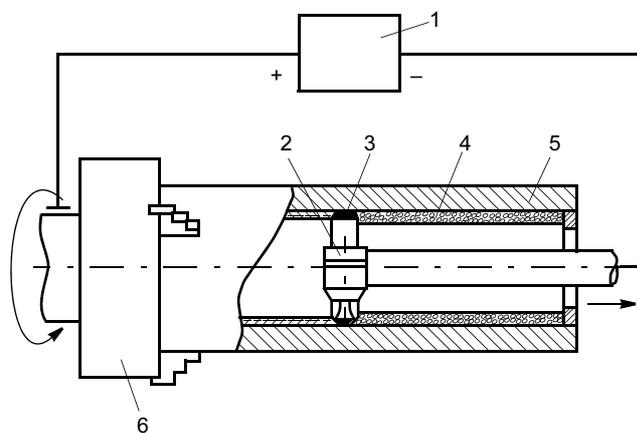
Рис. 7. Схема наплавки по слою крупки: 1 — источник питания; 2 — ограничительное сопротивление; 3 — электрод; 4, 5 — ввод защитного и плазмообразующего газов соответственно; 6 — сопло плазмотрона; 7 — питатель для подачи крупки; 8 — крупка; 9 — наплавленный металл

речнике заранее насыпают равномерным слоем на наплавляемую поверхность изделия или же подают на нее специальным питателем в процессе наплавки. Расплавляется он плазмотроном, перемещающимся вслед за накопником питателя и совершающим поперечные колебания, размах которых равен ширине насыщенного слоя крупки.

Пригодную для наплавки этим способом крупку можно изготавливать практически из любого хрупкого сплава механическим измельчением. Изготовленная по такой технологии крупка из сплавов Co—Cr—W—C, Ni—Cr—Si—B, Fe—Cr—C, Fe—Cr—C—B и др. имеет хорошие сварочно-технологические свойства. Осколочная форма позволяет им хорошо удерживаться на наплавляемой поверхности.

При токе 250—300 А производительность наплавки составляет 6—8 кг/ч и может быть значительно повышена при использовании более мощных плазмотронов.

*Центробежная плазменная наплавка* является разновидностью способа плазменной наплавки по слою порошковой или гранулированной присадки применительно к наплавке внутренних поверхностей втулок, гильз и других деталей цилиндрической формы (рис. 8). Во вращающуюся с большой скоростью цилиндрическую втулку при помощи загрузочного устройства засыпают необходимое для получения наплавленного слоя заданной толщины количество порошка (крупки). Под действием центробежных сил порошок равномерно распределяется по внутренней поверхности втулки. Затем в нее на длинной жесткой штанге, внутри которой проложены коммуникации для тока, воды и газа, вводится плазмотрон и возбуждается дуга прямого действия. После образования кольцевой ванны расплавленного присадочного ме-



**Рис. 8. Схема центробежной плазменной наплавки:** 1 — источник питания плазменной дуги; 2 — плазмотрон; 3 — кольцевая сварочная ванна; 4 — присадочный порошок; 5 — деталь; 6 — патрон

талла включается продольное перемещение плазмотрона.

Наплавку выполняют без флюса, в аргоне или другом защитном газе. Как присадочный материал хорошо зарекомендовали себя распыленные порошки сплавов Ni—Cr—Si—B, Co—Cr—W—C, Fe—Cr—C—B и др. с размером частиц 100—250 мкм.

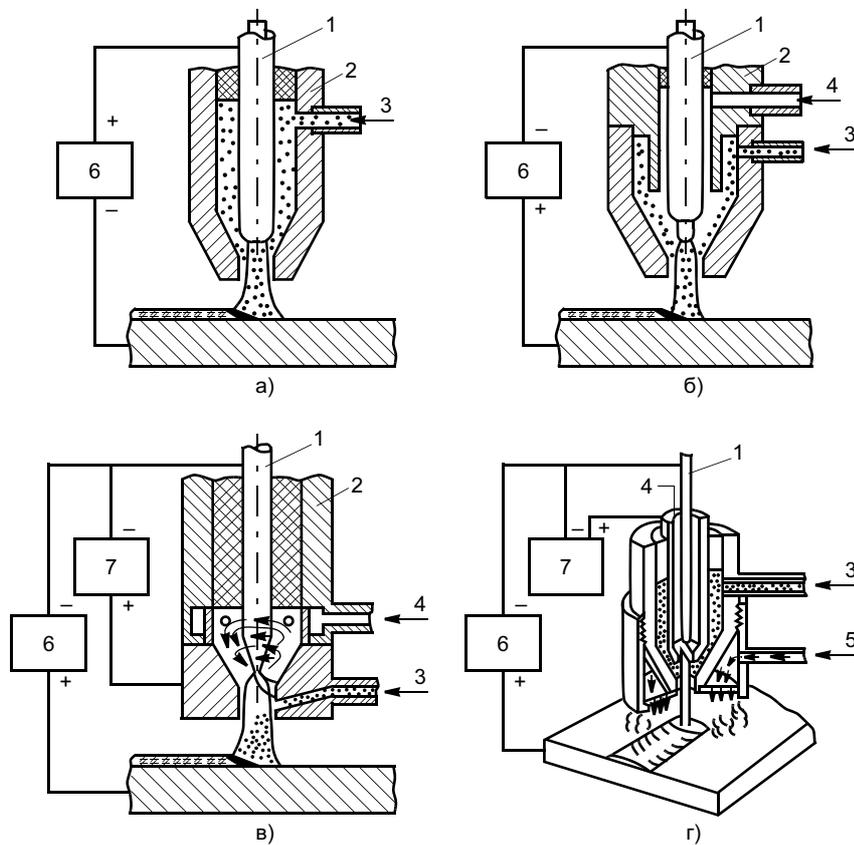
Центробежным способом можно наплавлять слои толщиной от 0,5 до 4 мм с хорошим качеством поверхности и минимальными припусками на обработку. При токе дуги 400—450 А производительность наплавки достигает 12 кг/ч.

Основными параметрами режима центробежной плазменной наплавки являются число оборотов детали, ток дуги, скорость наплавки (скорость продольного перемещения плазмотрона) и толщина наплавляемого слоя. С увеличением числа оборотов детали поверхность наплавленного металла становится более ровной и чистой. При достаточно большой скорости вращения исключается раздувание присадочного порошка дугой, резко уменьшается влияние давления дуги на проплавление основного металла, обеспечивается отличное формирование наплавленного металла.

На разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона установках типа УД251 можно наплавлять этим способом детали типа втулок с

внутренним диаметром от 60 до 300 мм и длиной до 1300 мм. Установки комплектуются тремя плазмотронами с максимальным рабочим током 300 А (один плазмотрон для втулок диаметром 60—90 мм) и 500 А (для втулок диаметром 90—160 мм применяют один плазмотрон, для втулок диаметром 160—300 мм — два).

*Плазменную наплавку порошковой* выполняют плазменной дугой прямого действия или двумя плазменными дугами прямого и косвенного действия с общим электродом. При этом используют различные схемы ввода порошка в дугу, которые можно разделить на две большие группы, отличающиеся тем, что в одном случае порошок вводится в дугу внутри плазмотрона (рис. 9), а в другом — вне его (рис. 10). В плазмотронах с внутренним вводом порошка в дугу создаются, как правило, более благоприятные условия для его нагрева плазмой. При внешней подаче порошка его нагрев менее эффективен, зато надежность работы плазмотрона несколько выше. Плазмотроны с подачей порошка через осевое отверстие в катод пока не нашли практического применения вследствие трудностей изготовления электродов с отверстием и сложностями, связанными с подачей порошка через отверстие относительно малого диаметра.



**Рис. 9. Схема плазменной наплавки с вводом присадочного порошка в дугу внутри плазмотрона:** а — вместе с плазмообразующим газом; б — через электродную камеру; в — через боковое отверстие в канале сопла; г — через воронкообразную щель между соплами; 1 — электрод: медный водоохлаждаемый (а), водоохлаждаемый с вольфрамовой вставкой (б) или вольфрамовый (в, г); 2 — сопло; 3 — ввод присадочного порошка с транспортирующим газом; 4, 5 — ввод плазмообразующего и защитного газов соответственно; 6, 7 — источники питания дуги прямого и косвенного действия соответственно

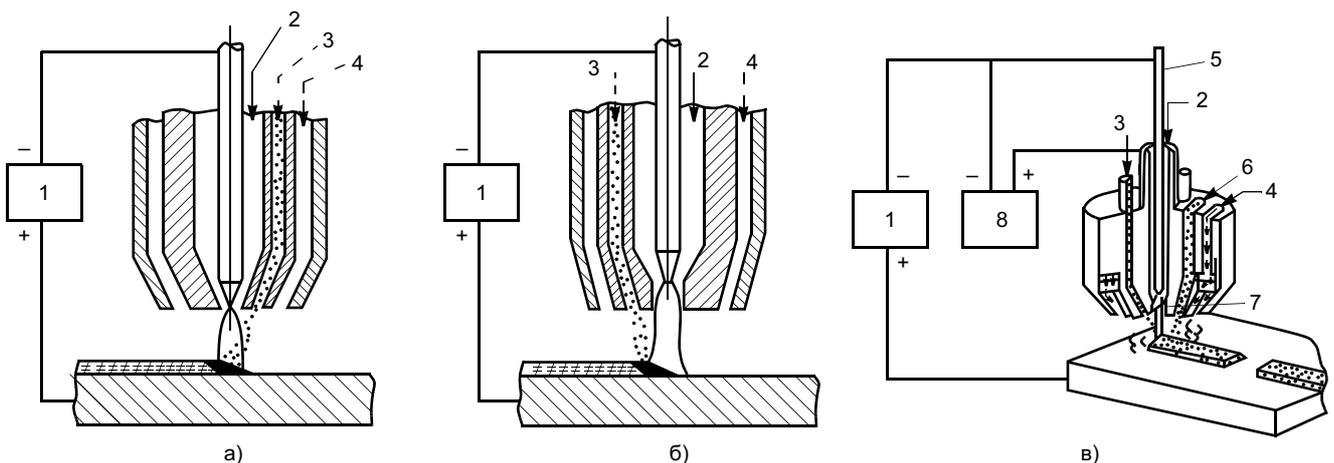
Радиальный ввод порошка через боковое отверстие в канале сопла (см. рис. 9, в) типичен для напыления, но для наплавки ис-

пользуется редко. При такой схеме ввода порошка стабильная работа плазмотрона возможна лишь при сравнительно больших рас-

ходах плазмообразующего газа и малых транспортирующего. Это условие легко выполняется при напылении, но при наплавке большой расход плазмообразующего газа нежелателен, так как ведет к увеличению глубины проплавления основного металла.

Для наплавки эффективной является схема ввода порошка в дугу под углом 25—80° через воронкообразную щель, образуемую сопрягаемыми коническими поверхностями внутреннего и наружного сопла плазмотрона (см. рис. 9, г). В этом случае поток транспортирующего газа и порошка концентричен дуге и поэтому не только не снижает, но повышает ее стабильность. Дуга косвенного действия горит между электродом и внутренним соплом и служит в основном для обеспечения устойчивой работы плазмотрона. Более мощная дуга прямого действия обеспечивает необходимый нагрев поверхности изделия, плавление присадочного металла и образование сварочной ванны.

Схемы плазменной наплавки с внешней подачей присадочного порошка приведены на рис. 10. Порошок подается в зону наплавки через отверстия в торце сопла плазмотрона или по трубке, расположенной сбоку сопла.



**Рис. 10. Схема плазменной наплавки с внешней подачей присадочного порошка:** а — подача порошка через отверстие в торце сопла "углом назад"; б — то же, "углом вперед"; в — подача порошка по каналам в сопле плазмотрона; 1 — источник питания дуги прямого действия; 2, 4 — ввод плазмообразующего и защитного газов соответственно; 3 — ввод присадочного порошка транспортирующим газом; 5 — электрод; 6 — ввод дополнительного присадочного порошка; 7 — плазменная дуга; 8 — источник питания косвенной дуги

При наплавке сплавов на основе никеля, кобальта или железа угол наклона этих отверстий, их сечение, расход транспортирующего газа и другие параметры режима выбирают такими, чтобы порошок вводился в дугу на небольшом расстоянии от поверхности изделия и попадал в сварочную ванну под дугой. При этом порошок может подаваться в дугу спереди (см. рис. 10, а), сзади (см. рис. 10, б) и сбоку одновременно с нескольких сторон (см. рис. 10, в). Направление подачи порошка в данном случае не имеет решающего значения: на практике используют все эти варианты.

При наплавке композиционных сплавов канал для подачи карбидов чаще всего расположен сзади дуги и имеет такой угол наклона, чтобы зерна карбида попадали в ванну, минуя дугу. Это позволяет устранить или хотя бы уменьшить их растворение в расплаве. Сварочная ванна образуется за счет расплавления основного металла, защитного покрытия, нанесенного на зерна карбида вольфрама, или порошка сплава-связки, который подается вместе с карбидом либо отдельно от него по боковым каналам.

Представленные на рис. 10 схемы подачи порошка являются весьма распространенными при плазменной наплавке. Схема на рис. 10, б (как и на рис. 9, з) реализована в первых аппаратах моделей А1105 и А1299 ИЭС им. Е. О. Патона для плазменной наплавки порошками. Она применяется также в специализированной установке Об1795 конструкции ОКБ ИЭС им. Е. О. Патона для наплавки композиционными сплавами замков и муфт бурильных труб [14].

По данным работы [28], в которой исследовали энергетический баланс процесса плазменной наплавки, на нагрев порошка расходуется при внутренней его подаче от 9 до 20 % мощности дуги, при внешней подаче — около 12 %.

В зависимости от конструкции плазмотрона для наплавки применяют присадочные порошки с размером частиц от 45 до 250 мкм, реже — до 500 мкм, получаемые, как правило, путем распыления жидкого металла инертным газом или водой.

Для наплавки композиционных слоев используют механические смеси порошков сплава-связки и карбидов вольфрама, ниобия или ванадия [29]. Содержание карбидов в смеси может достигать 75—80 %. Размер зерна от 20 до 200 мкм. Такие смеси служат преимущественно для наплавки плазмотронами с внутренней подачей порошка. В остальных случаях применяют отдельную подачу порошков карбида и сплава-связки.

Для плазменной наплавки используют также порошки литых карбидов вольфрама и спеченных твердых сплавов, каждая частица которых покрыта сравнительно легкоплавким никелевым или кобальтовым сплавом-связкой [30]. Покрытие может составлять от 5 до 50 % массы порошка. Оно надежно предохраняет частицы карбидов от растворения в сварочной ванне и образует матрицу композиционного сплава.

В качестве плазмообразующего и транспортирующего газов для наплавки порошком применяют аргон, в качестве защитного газа — аргон, смесь аргона и 5—8 % водорода, азот. Аргоноводородная смесь может служить также и для подачи порошка.

Максимальная производительность плазменной наплавки порошком составляет 4—10 кг наплавленного металла в 1 ч. Реальная производительность наплавки зависит от размеров и формы изделия, толщины наплавляемого слоя, типа присадочного порошка и других факторов и находится в пределах 0,8—6 кг/ч. Минимальная толщина наплавленного слоя при внутренней подаче порошка равна

0,25 мм, при внешней — 0,5 мм. Наибольшая высота однослойного валика в обоих случаях составляет 5—6 мм.

При наплавке без колебаний плазмотрона наплавленные валики имеют ширину 3—10 мм, при наплавке с колебаниями она может достигать 40—50 мм.

Как правило, плазменную наплавку порошком применяют при изготовлении новых деталей. Этот способ наплавки обеспечивает значительное (от 30 % до 3—5, в некоторых случаях до 12 раз) повышение производительности труда, снижение расхода наплавочных материалов и улучшение качества наплавленного металла.

Наибольшее применение получила наплавка этим способом кобальтовых и никелевых сплавов. В меньших объемах используют для плазменной наплавки порошки сплавов на основе железа и меди.

Плазменная наплавка порошком особенно эффективна в условиях серийного производства. Ее широко применяют при изготовлении клапанов двигателей внутреннего сгорания (начиная с клапанов двигателей легковых автомобилей с диаметром тарелки 30—35 мм и заканчивая клапанами мощных судовых дизелей с диаметром тарелки около 200 мм); деталей трубопроводной арматуры для атомных электростанций, химических предприятий, нефте- и газопроводов, в том числе крупных задвижек Ду = 800÷1300 мм; червяков экструдеров и шнеков; опор шарошечных долот, замков и муфт бурильных труб, центраторов и других деталей бурового оборудования; ножей для резки металла, прокатных валков, штампов, прошивков; деталей паровых турбин; элементов оборудования атомных электростанций и химических предприятий и др. [31—34].

## ВЫВОДЫ

1. Анализ приведенных способов плазменной наплавки пока-

зывает, что основными их преимуществами являются:

— малая глубина проплавления основного металла, что важно в тех случаях, когда в наплавленном слое допускается лишь малая примесь железа, когда разбавление наплавленного металла основным нельзя компенсировать за счет повышенного содержания легирующих элементов в электродном (присадочном) материале либо многослойной наплавки или когда оно приводит к существенному ухудшению свойств металла в зоне сплавления, например, вследствие образования хрупких кристаллизационных прослоек;

— меньшее по сравнению с дуговой наплавкой тепловложение в основной металл, что представляет интерес при наплавке деталей из термически упрочненных или чувствительных к перегреву сталей;

— отсутствие при наплавке трудностей металлургического характера, связанных с плохой отделимостью шлаковой корки, наличием шлаковых включений и т. п. (важно для ограниченного круга высоколегированных материалов);

— при плазменно-порошковой наплавке применение в качестве присадочного материала порошка, который может быть получен практически из любого сплава независимо от его твердости, прочности, степени легирования и других свойств, значительно расширяет номенклатуру сплавов, наплавляемых механизированными способами.

2. Недостатком оборудования для плазменной наплавки является его сложность, высокая стоимость и необходимость более квалифицированного обслуживания, чем оборудования для дуговой наплавки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каленский В. К., Гладкий П. В., Фрумин И. И. Исследование и разработка спо-

соба автоматической наплавки выпускных клапанов автомобилей // Автоматическая сварка. 1963. № 1. С. 15—23.

2. Zuchowski R. S., Culbertson R. P. Plasma arc weld surfacing // Welding Journal. 1962. Vol. 41. N 6. P. 548—555.

3. Witting E. Grundlagn und Anwendungen der Plasma-Verfahren // Schweissen und Schneiden. 1962. Bd. 14. N 5. S. 193—200.

4. Переpletчиков Е. Ф. Способы плазменной наплавки, применяемые в странах СНГ // Сварщик. 2004. № 3. С. 9—14.

5. Красулин Ю. Л., Кулагин И. Д. Регулирование температуры сварочной ванны при наплавке плазменной дугой // Автоматическая сварка. 1966. № 9. С. 11—15.

6. Плазменная технология: Опыт разработки и внедрения. Л.: Лениздат, 1980. 152 с.

7. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. Л.: Машиностроение, 1969. 192 с.

8. Вайнерман А. Е., Веселков В. Д., Сютеев А. Н. Опыт промышленного применения наплавки плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой медных сплавов. Л.: ЛДНТП, 1973. 20 с.

9. Сютеев А. Н., Вайнерман А. Е. Плазменная наплавка на изделия цилиндрической формы. Л.: ЛДНТП, 1970. 19 с.

10. Лужанский И. Б., Медриш И. Н. Плазменная наплавка стеллита на уплотнительные поверхности энергетической арматуры // Сварочное производство. 1971. № 10. С. 24—25.

11. Дудко Д. А., Лакиза С. П. О новых возможностях сварки высокотемпературной дугой, сжатой газовым потоком // Автоматическая сварка. 1960. № 11. С. 38—46.

12. Антонов В. А., Кондратьев И. А. Восстановительная наплавка мелких прецизионных вырубных штампов // Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. С. 55—57.

13. TIG-plasma system hardfacing volve seats // Welding and Metal Fabrication. 1981. Vol. 49. N 5. P. 264, 266.

14. Белый А. И., Кузьмин Г. Г. Плазменная наплавка резьбовых замков и муфт геологоразведочных бурильных труб // Автоматическая сварка. 1978. № 9. С. 44—46.

15. Wirth A. Auftragschweißen von Dichtsegen bei der Instandsetzung von Flugtriebwerken // Oerlikon Schweißmitt. 1981. Bd. 39. N 96—97. S. 29—33.

16. Данилов А. И. Плазменная наплавка постоянным током обратной полярности. Л.: ЛДНТП, 1981. 20 с.

17. Тавер Е. И., Шоршоров М. Х. Сварка стали двойной плазменной дугой // Сварочное производство. 1971. № 10. С. 26—28.

18. Плазменная наплавка медных сплавов / Э. С. Комарчева, Т. Г. Гиндина, Л. А. Шпанцев, Ю. А. Журавлев // Плазменные методы обработки металлов. Л.: ЛДНТП, 1977. С. 35—40.

19. Наплавка сжатой дугой на обратной полярности хромоникелевой стали на

конструкционные стали / А. Е. Вайнерман, В. Ф. Захаров, В. Н. Прилуков, А. Н. Сютеев // Плазменные методы обработки металлов. Л.: ЛДНТП, 1977. С. 27—34.

20. Smars E., Backstrom. Gas-metal-plasma arc welding, a new method for weld cladding // Exploiting welding in production technology. Abington, 1975. Vol. 1. P. 179—187.

21. Sandberg U. E. Plasma arc overlay welding in nuclear manufacture of heavy nuclear components // Welding and Metal Fabrication Nuclear Industrie Process. London, 1979. P. 197—202.

22. Garrabrant E. S., Zuchowski R. S. Plasma-arc hot-wire surfacing — a new high deposition process // Weldung journal. 1969. Vol. 48. N 5. P. 85—395.

23. Trarbach K. O. Gladding nuclear steels — the application of plasma-arc hot wire surfacing // Metal Construction. 1981. Vol. 13. N 9. P. 508—510.

24. Ruckdeschel W. Anwendung des Lichtbogen-schweißens mit Heißdrahtzusatz // Schweißtechnik. 1973. Bd. 63. N 8. S. 229—241.

25. Eklung B., Skoglund H. Major improvements in hard surfacing steel rolls for continuous casting, using Philips plasma-MIG with new metal cored wire // Steel Times. 1981. Vol. 209. N 9. P. 472—473.

26. Swarf J. D. Plasma-MIG suited to cladding oil delivery system // Welding and Metal Fabrication. 1982. Vol. 50. N 10. P. 477—480.

27. Кречмар Э., Хорн Ф. Разработка сплавов ЦИС 770 и технология плазменной наплавки его под флюсом // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1978. С. 54—61.

28. Imer W. Energieverhältnisse des Plasmaauftragesschweißprozesses // Schweißtechnik. 1972. Bd. 22. N 4. S. 164—167.

29. A study on a new hardfacing process using an extremely hard material / M. Nakajima, A. Notomi, T. Knsano, M. Ueda // Mitsubishi Heavy Ind. Techn. 1982. Vol. 19. N 1. P. 23—30.

30. Наплавка тонких слоев износостойких композиционных сплавов / Ю. А. Юзвенко, М. А. Пащенко, А. И. Белый и др. // Автоматическая сварка. 1974. № 7. С. 71—72.

31. Переpletчиков Е. Ф. Плазменно-порошковая наплавка клапанов двигателей внутреннего сгорания // Автоматическая сварка. 2002. № 1. С. 45—46.

32. Аманов С. Р. Технология плазменно-порошковой наплавки клапанов двигателей автомобиля "ВАЗ" // Сварочное производство. 2005. № 2. С. 33—40, 62, 63.

33. Плазменная наплавка бронзы в судовом машиностроении / Л. А. Чкалов, И. И. Фрумин, П. В. Гладкий и др. // Автоматическая сварка. 1983. № 7. С. 49—51.

34. Чкалов Л. А., Кузнецов В. А., Ежов А. К. Плазменная наплавка порошковыми твердыми сплавами деталей судового машиностроения // Судостроение. 1980. № 6. С. 38—39.

**В. А. БАБКИН, инж., А. И. ЛАВРОВ, инж., П. Б. ЛОВЫРЕВ, инж.,  
С. Н. ЧИЧЕРОВ, инж.**  
(ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры"),  
**А. Н. КАЛГАНОВ, инж., В. П. ЛАЗАРЕВА, инж.**  
(ОАО "Пензхиммаш"),  
**П. М. КОРОЛЬКОВ, инж.**  
(ОАО "ВНИИмонтажспецстрой")

## **Технология местной термической обработки сварных соединений реактора Р-1-201 с использованием комбинированного нагрева**

На Комсомольском нефтеперерабатывающем заводе (Комсомольск-на-Амуре) при монтаже реактора Р-1-201 возникла необходимость проведения местной термической обработки непосредственно в монтажных условиях двух кольцевых сварных соединений корпуса реактора, состоящего из трех частей. Корпус реактора, изготовленный в ОАО "Пензхиммаш", имел следующие размеры: наружный диаметр 3 м, толщина стенки 110 мм. Материал реактора — биметалл с толщиной основного слоя из стали 12ХМ 102 мм, плакирующего слоя из стали 12Х18Н10Б — 8 мм. Сварные соединения, подверженные термической обработке, находились на высоте 12 и 22 м. Согласно РТМ 26-44—82 "Термическая обработка нефтехимической аппаратуры и ее элементов", местную термическую обработку сварных соединений необходимо проводить по режиму высокого отпуска с нагревом до 670—710 °С со скоростью не более 70 °С/ч при выдержке в течение 3 ч с последующим охлаждением со скоростью не более 50 °С/ч. Термическую обработку проводили в ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры" (Волгоград) совместно со специалистами ОАО "Пензхиммаш".

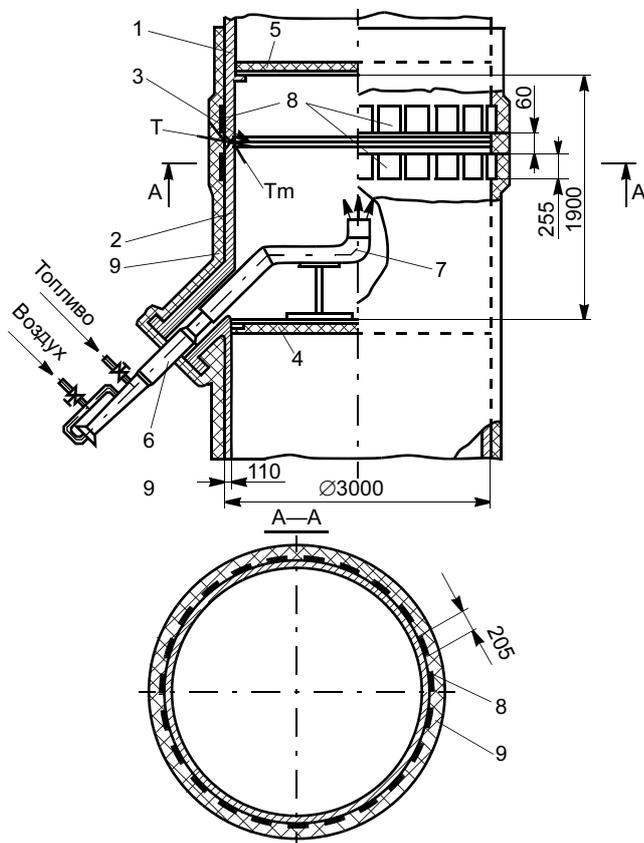
При определении технологии нагрева (односторонний или двухсторонний) учитывали результаты теплотехнических расчетов и практического опыта местной термической обработки сварных соединений больших толщин. При использовании радиационных методов нагрева (электронагревателями сопротивления или газопламенного) перепад температуры не более 30 °С при одностороннем нагреве возможен только для толщины стенки до 30 мм. При использовании внутренней теплоизоляции такой перепад может быть получен для толщин стенок сварного соединения не более 60 мм, а для больших толщин — только при двухстороннем нагреве. Это подтверждает также опыт применения индукционного нагрева токами средней частоты 2500 Гц при местной термической обработке сварного соединения барабана котлоагрегата ТГМЕ-206 из стали 16ГНМА с толщиной стенки 110 мм. Для

получения указанного перепада температуры использовали двухсторонний нагрев: снаружи — индукционными токами средней частоты 2500 Гц и изнутри — электронагревателями типа КЭН, практически являющимися электронагревателями сопротивления [1].

Расчитанная электрическая мощность для двухстороннего нагрева с использованием электронагревателей сопротивления составила 1 МВт (1000 кВт). Установка электронагревателей внутри реактора представляет большие трудности, связанные с необходимостью применения электрических проводов, выдерживающих температуру 700 °С, и значительного количества электрических контактов между проводами и электронагревателями. С учетом вышеизложенного предложена схема двухстороннего комбинированного нагрева: снаружи — электронагревателями сопротивления, а изнутри — продуктами сгорания дизельного топлива, полученного в специальной теплогенераторной установке ТГЖ, разработанной институтом [2].

В соответствии с требованиями РТМ 26-44—82 зона равномерного нагрева должна быть не менее 550 мм (2,5—3,0 толщины стенки реактора в каждую сторону от оси сварного шва по всему кольцу). Кроме того, в нижней части сварного соединения требовалось учесть необходимость установки теплогенератора у заводского штуцера (см. рисунок). Для сварного соединения, находящегося на отметке 12 м, двумя теплоизоляционными перегородками ограничили объем, необходимый для нагрева, равный по высоте 1,9 м, в том числе 0,6 м выше оси сварного шва и 1,3 м — ниже оси сварного шва (см. рисунок). Наружную поверхность с установленными на ней электронагревателями сопротивления теплоизолировали кремнеземным волокном толщиной 50 мм.

Для проведения термической обработки сварных соединений комбинированным способом достаточно использовать 88 электронагревателей сопротивления размером 205 × 255 мм, мощностью 2,7 кВт каждый, нагревательные маты, установленные в два ряда симметрично оси сварного шва на



**Схема комбинированного нагрева монтажного сварного соединения реактора Р-1-201 (Т — термопреобразователи):** 1, 2 — свариваемые обечайки; 3 — сварное соединение; 4, 5 — нижняя и верхняя теплоизолирующие перегородки; 6 — теплогенератор; 7 — устройство ввода теплоносителя; 8 — электронагреватели сопротивления; 9 — теплоизоляция

наружной поверхности, что позволяет использовать две программные установки фирмы "Маннингс" суммарной мощностью 300 кВт, а для нагрева внутренней поверхности — один теплогенератор<sup>1</sup> ТГЖ, диапазон тепловой мощности которого составляет от 200 до 1200 кВт.

Термическую обработку сварных соединений осуществляли следующим образом. Одновременно с включением термообрабатывающих установок "Маннингс", обеспечивающих режим нагрева наружной поверхности по заданной программе, включался теплогенератор, осуществляющий подачу продуктов сгорания жидкого топлива через устройство ввода теплоносителя в нагреваемый отсек. Дизельное топливо подавали из емкости на форсунку теплогенератора за счет энергии сжатого воздуха, получаемого от компрессора. Режим работы теплогенератора регулировали за счет изменения подачи топлива и воздуха в камеру сгорания.

Конструкция применяемого теплогенератора обеспечивала высокую скорость подачи теплоно-

<sup>1</sup> Свидетельство на полезную модель 29130 (РФ).

сителя во внутреннее пространство отсека, что в свою очередь вызывало интенсивную рециркуляцию продуктов сгорания в его внутреннем объеме и способствовало равномерному распределению температуры по всей нагреваемой поверхности. Выхлоп отработанного теплоносителя происходил через специальное отверстие в теплоизоляционной перегородке. Процесс нагрева контролировали с помощью 22 термоэлектрических преобразователей типа ХА (К), установленных по периметру сварного шва. Для управления теплогенератором и процессом внутреннего нагрева использовали термоэлектрический преобразователь Тм, установленный на внутренней поверхности корпуса в зоне сварного соединения. Его рабочий спай, изолированный от возможного влияния потока теплоносителя, контролировал непосредственно температуру внутренней поверхности корпуса реактора. Установка его напротив одного из внешних термопреобразователей позволяла контролировать перепад температуры по толщине стенки корпуса.

Нагрев сварного соединения проводили по режиму высокого отпуска для стали 12ХМ: скорость нагрева 75 °С/ч, температура нагрева 690 °С, время выдержки 3 ч, скорость охлаждения 35 °С/ч. Перепад температур по толщине стенки в начальной стадии нагрева (до 350 °С) не превышал 40 °С, после 350 °С — не более 10 °С, в период выдержки разница температур изменялась от нуля до 10 °С. Общий цикл термической обработки составил 22 ч без подготовительных мероприятий, с учетом последних (установка перегородок, монтаж устройства ввода теплоносителя, теплоизоляционных работ, установки электронагревателей) — 48 ч.

Аналогичным образом проводили термическую обработку второго сварного соединения на отметке 22 м.

Контроль качества (ультразвуковая и цветная дефектоскопия), проверка твердости (190 НВ) отрицательного влияния термической обработки на сварное соединение не выявили.

Проведенные работы подтвердили возможность качественного проведения местной термической обработки непосредственно в монтажных условиях сварных соединений толстостенных сосудов давления с использованием комбинированного двухстороннего нагрева: снаружи — электронагревателями сопротивления и внутри — газообразным теплоносителем от специальных теплогенераторных установок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохов А. Е., Механиков В. М., Корольков П. М. Ремонтная сварка парового котла ТГМЕ-206 с применением местной термической обработки // Сварочное производство. 2000. № 11. С. 34—36.
2. Внепечная объемная термообработка корпусного оборудования нагревом изнутри / А. И. Лавров, П. Б. Ловырев, В. А. Бабкин и др. // Сварочное производство. 2005. № 2. С. 2—5.

УДК 621.791:338.45

**В. Н. БЕРНАДСКИЙ**, канд. техн. наук, **О. К. МАКОВЕЦКАЯ**, канд. экон. наук  
**ИЭС им. Е. О. Патона**

## Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике

Сварочное производство, имеющее межотраслевой характер, представляет в настоящее время одну из науко- и инженероёмких составляющих мировой и национальных экономик. В металлообрабатывающих отраслях промышленного производства и строительстве, где сварка и родственные ей процессы являются базовыми технологиями соединения и обработки конструкционных материалов, сварочное производство — самостоятельный технологический сектор, в той или иной мере интегрированный в общий производственный процесс.

Собственно сварочное производство в широком его представлении включает, с одной стороны, компании, фирмы, научные центры и университеты, создающие инновационный продукт в виде технологических процессов, высокопроизводительного сварочного оборудования и прогрессивных сварочных материалов, а с другой — отраслевые предприятия и фирмы — потребители сварочной техники и технологий, а также смежные структуры, обеспечивающие профессиональную подготовку и аттестацию сварочного персонала, системы нормативного и информационного обеспечения и др.

Наиболее важным фактором, определяющим текущую деятельность и перспективное развитие сварочного производства, является наличие развитых рынков конструкционных материалов и сварочной техники, а также взаимосвязь этих рынков между собой. Основным конструкционным материалом для производства сварных конструкций и сооружений является сталь, физико-технологические свойства и сортамент которой постоянно совершенствуются и обновляются. Мировое производство стали перешагнуло рубеж 1,0 млрд т и в 2006 г. достигло 1 млрд 176 млн т. Прогноз Международного института чугуна и стали (IISI) свидетельствует о продолжающемся росте в мире реальной потребности стали и превышении спроса над рыночными предложениями производителей металлопродукции. Потребление стальной про-

дукции в последние годы устойчиво возрастает на 4—6 % в год. По оценкам экспертов, мировое потребление стали к 2007 г. превзойдет 1,0 млрд т и выйдет на уровень 1,040—1,055 млн т [1].

Результаты аналитических исследований IISI однозначно подтверждают общую тенденцию прямой зависимости между ростом потребления стали и общим экономическим уровнем стран с высоким темпом роста ВВП. Наиболее ярким примером этой тенденции является Китай, который в последние годы имеет самый высокий и устойчивый темп прироста ВВП (8—10 %) и занимает первое место в мире по объему и темпам прироста потребления стали. Доля Китая в мировом потреблении стали в 2005 г. превысила 30 %. В качестве другого примера могут быть приведены страны ЕС, у которых прирост производства стали составляет 1—3 %. В этих странах в 2005 г. было выпущено 188,5 млн т. Сохраняет положительную динамику и потребление стали в странах ЕС, где в 2005 г. объем потребления стали вышел на уровень 168 млн т. Такое умеренное развитие потребительского рынка стали отвечает и умеренному росту ВВП в этих странах, в среднем 2—3 % в год.

Тенденция связи прироста потребления стали и общего роста экономики представляется вполне закономерной также для оценки взаимосвязи развития сварочного производства и рынка сварочной техники от объемов потребления стали и других конструкционных материалов. Мировой опыт производства сварных конструкций и изделий в различных отраслях позволил установить, что примерно 2/3 потребляемого стального проката идет непосредственно на изготовление сварных конструкций. При этом на каждую тонну потребляемого проката расходуется около 4—6 кг сварочных (присадочных) материалов. Существует также высокая положительная корреляция структуры и объемов потребляемой сварочной техники с объемами потребления стальной металлопродукции основны-

ми отраслями машиностроительного производства и строительства. В связи с этим мировые и национальные статистические данные о потреблении стальной металлопродукции могут служить вполне достаточным базовым ориентиром при прогнозных исследованиях и оценке развития сварочного производства и основных секторов рынка сварочной техники. Стабильный рост потребления стали позволяет обоснованно судить о благоприятной перспективе стабильного и устойчивого роста мирового и национальных сварочных производств и, соответственно, о повышении вклада сварки и родственных технологий в экономику ведущих промышленных стран. В последнее время эти вопросы привлекли внимание экономистов ряда стран и уже нашли отражение на страницах мировой сварочной периодики.

Состоявшаяся в 2005 г. в Эссене международная сварочная выставка "Сварка и резка — 2005" дала исключительно полное и наглядное представление о нынешнем уровне мировой сварочной индустрии, инновационном наполнении основных секторов сварочного рынка и роли сварочного производства в современной экономике, которых они достигли на начало XXI века. В выставочной экспозиции были представлены аппаратура для неразъемного соединения (сварки, пайки и др.) и разделительной резки; оборудование для наплавки и газотермического напыления; технологические лазеры и лазерные системы; техника для склеивания и механического соединения; сварочные роботы и другие средства автоматизации, системы управления процессами сварки и родственных технологий; средства и методы неразрушающего контроля; сварочные и присадочные материалы (сварочные электроды и проволоки, порошки, припои и др.); вспомогательные расходные материалы (сварочные газы и газовые смеси, флюсы, клеи и др.); механическое оборудование, оснастка и инструмент; средства защиты сварщика и экологической безопасности рабочей среды. Кроме того, на выставке широко экспонировались учебно-методические материалы, учебные тренажеры и мультимедийные средства обучения, пакеты программного обеспечения для расчета сварных конструкций, моделирования сварочных процессов, а также разнообразная научно-техническая и нормативно-справочная литература [2].

Современную аппаратуру для сварки и родственных технологий, поставляемую на рынок ведущими мировыми разработчиками и производителями, как показала выставка, отличает оригинальность и высокий уровень инновационности. В настоящее время она, как правило, отвечает двум основным требованиям потребителей, а именно: должна эффективно при применении в производственном процессе и максимальное использование послед-

них научно-технологических разработок, гарантирующих высокое и стабильное качество выполняемых соединений. Обширный и разнообразный арсенал традиционных технологических процессов сварки и обработки конструкционных материалов, обеспеченный соответствующим оборудованием и сварочными (присадочными) материалами, создает условия для их конкурентного выбора потребителем. Наряду с непрерывным совершенствованием существующей техники и технологий соединения и обработки на рынок поступает оборудование для принципиально новых, инновационных технологий, в том числе для сварки трением с перемешиванием (STIR), дуговой сварки с активированным флюсом (A-TIG) и ряда комбинированных процессов. Среди последних наиболее активно развиваются комбинированные процессы на основе сочетания электрической дуги или плазмы и лазерного излучения. Эта ранее известная идея получила активное развитие на новом уровне благодаря применению инновационных решений в области электроники, сенсорики, техники управления и др. В последние два-три года так называемые "гибридные" процессы в первую очередь на базе лазерной сварки находят эффективное и расширяющееся применение в автомобильной промышленности, судостроении, транспортном машиностроении и др.

Сегодня потребителю на рынке предоставлена возможность сопоставления и широкого выбора различных технологий и оборудования для сварки и обработки конструкционных материалов одного класса и размера. Это в свою очередь позволяет варьировать уровень затрат на приобретение соответствующей техники в зависимости от показателей ее производительности, степени автоматизации и эксплуатационной надежности, а также критериев гарантированного качества получаемых соединений и соответствия технологии требованиям стандарта ISO 14.000.

Особенности национальной сварочной индустрии и сварочного рынка наиболее полно можно показать на примере Германии. Благодаря усилиям DVS Германия — одна из немногих стран мира, в которой экономико-статистические данные об объемах годового производства, экспорта и импорта полной номенклатуры электротехнического оборудования для сварки, пайки и резки металлических материалов и пластмасс, запасных деталей к ним, а также сварочных и присадочных материалов открыты для широкого круга специалистов. Эта информация базируется на официальных данных Федерального статистического управления (SBA) и соответствует классификации выпускаемой продукции Европейского союза CPA (Statistical Classification of Products by Activity in the European Economic Community). Такая статистика и ее подроб-

Сектор рынка	Объем, млн евро	Сектор рынка	Объем, млн евро
Сварочная техника (без сварочных материалов)	1338,0	Сварочные роботы	122,0
Лазеры и лазерные системы	340,0	Техника разделительной резки	90,0
Техника пайки	185,0	Техника механического соединения	58,0
Техника термического напыления	152,0	Техника склеивания	14,0
		Роботы для склеивания	7,0

ный анализ ежегодно публикуются на страницах журнала "Schweissen und Schneiden", издаваемого DVS [3]. Расширение технологического арсенала техники соединений сопровождается возникновением новых, кроме сварочной техники, секторов сварочного рынка. Структура сварочного рынка Германии, по данным работы [4], приведена в табл. 1.

Учитывая многопрофильную структуру сварочного рынка, немецкие специалисты для основных видов продукции ввели даже новый термин — FTB-продукция, т. е. продукция для соединения (F-Fügen), резки (T-Trennen) и нанесения покрытий (B-Beschichten) [4].

Наличие полной и достоверной экономико-статистической информации об объемах производства и внешней торговли сварочной техникой в сочетании с экспертной оценкой объема других секторов рынка сварочной техники и услуг, включая затраты на обучение и переподготовку кадров и другие виды услуг, позволили экономистам оценить общую емкость немецкого рынка сварочной техники. В 2004 г. общий объем внутреннего сварочного рынка Германии превысил 3,6 млрд евро, при этом объем собственно сварочной техники (оборудования и материалов) составлял всего 1,3 млрд евро. Немецкие специалисты на основе многолетних маркетинговых наблюдений за мировыми и региональными сварочными рынками консервативно оценивают объем европейского рынка, в 3 раза превышающий объем национального рынка, что в 2004 г. соответствовало примерно 11,0 млрд евро. Согласно их же более осторожной оценке, мировой рынок сварочной техники и услуг также в 3 раза превышает стоимостной объем рынка европейского — около 33,0 млрд евро или около 42,0 млрд долл. [4]. Это, в частности, совпадает с нашей ориентировочной оценкой объема мирового рынка сварочной техники и услуг к началу XXI века — около 40 млрд долл. [6].

Структура мирового и национальных сварочных рынков в процессе их развития претерпевает заметные изменения. Как показано выше на примере сварочного рынка Германии, интенсивно растут объемы секторов инновационной техники, которые уже сопоставимы с объемами продаж базового сектора техники для сварки и родственных техно-

логий. К ним относятся два сравнительно молодых сектора "Технологические лазеры и системы" и "Сварочные роботы и робототехнические комплексы", которые в соответствии с международной классификацией продукции CPA относятся к самостоятельным группам продукции, не входящей в группу "Сварочное оборудование".

Среди основных областей применения технологических лазеров соединение и обработка материалов занимают доминирующее положение. Для этих целей рынок потребляет до 50 % общего объема промышленных лазерных систем для обработки материалов. Стоимостной объем технологических лазерных систем для целей сварочного производства в 2006 г. превысил 3 млрд евро, а к 2010 г. ожидается рост этого инновационного сектора рынка до 5 млрд евро [7].

Сварочные роботы и РТК — это наиболее прогрессивное и эффективное средство автоматизации сварочных и родственных процессов, легко встраиваемое в общий производственный процесс. В 2004 г. общемировой парк единичных промышленных роботов насчитывал около 850 тыс. ед., из них 254 тыс. ед. — роботов сварочных [8]. Согласно статистической информации Международной федерации робототехники (IFR), в 2004 г. в мире было произведено 95,4 тыс. ед. промышленных роботов общей стоимостью около 5,0 млрд долл. В общей массе промышленных роботов в том же году на мировой рынок было поставлено 26,7 тыс. ед. сварочных роботов стоимостью около 1,4 млрд долл. [9]. В этом же году на сварочный рынок Германии было поставлено около 3,0 тыс. промышленных роботов для сварки и других технологий (резки, склеивания, напыления) на сумму более 130 млн евро (162 млн долл.). Приведенные данные свидетельствуют о значительном и растущем объеме на сварочных рынках оборудования и аппаратуры для новых технологий и средств автоматизации, а также о безусловной необходимости включать эти группы продукции в сводные экономико-статистические показатели мирового и национальных сварочных рынков.

До последнего времени при прямой или сопоставительной оценке общеэкономического значения национальных сварочных производств специа-

листы в основном оперировали общей стоимостью произведенной в стране сварочной техники или объемом внутреннего сварочного рынка. При таком подходе не учитывался реальный экономический вклад, вносимый произведенной сварочной техникой в формирование добавленной стоимости на всех стадиях изготовления сварных изделий, конструкций и сооружений. Так как сварка и родственные ей технологии являются базовыми, базальтернативными технологиями в промышленном производстве и строительстве, следовало ожидать значительного повышения реального вклада этих технологий в экономику, и в частности в ВВП.

Это подтвердили исследования, недавно проведенные в США и Германии по инициативе AWS и DVS.

Комплексное исследование вклада сварки в экономику США было проведено на базе семи ведущих отраслей производства, включая строительство, которые составляют основу промышленной инфраструктуры, национальной обороны и благосостояния страны [10]. Общий объем производства этих отраслей составляет немногим более трети ВВП США. В данном проекте акцент был сделан на исследование и анализ общих и производственных затрат на сварку (по всем статьям структуры затрат). В результате было установлено, что общие затраты на сварку в семи обследованных отраслях в 2000 г. превысили 34 млрд долл., а собственно производственные затраты на сварку составили 30,7 млрд долл., что в среднем эквивалентно 1,4 % от общих производственных затрат этих отраслей. Расширение полученных данных об уровне экономического вклада сварки в производство на все отрасли машиностроения, горнорудную промышленность, топливно-энергетический комплекс и строительство, где сварка является ключевой технологией, показало, что стоимость конечной продукции этих отраслей, произведенной с применением сварки, превысила 57 % общего объема ВВП США [11]. По данным статистического ведомства США, в данных отраслях численность сварщиков и резчиков, включая наладчиков и операторов сварочных и других установок, составляет около 480 000 человек [12].

Оценка фактического вклада сварки в экономику Германии была проведена Рейнско-Вестфальским институтом экономических исследований в рамках проекта "Общэкономическая и отраслевая добавленная стоимость от производства и применения сварочной техники". В работе изучен и проанализирован вклад, вносимый сварочной техникой в общехозяйственную добавленную стоимость на всех стадиях процесса производства в отраслях интенсивного применения сварочных процессов. При этом учитывалась как прямая, так и

косвенная добавленная стоимость. Кроме того, исследование убедительно показало мультипликативный эффект увеличения добавленной стоимости при производстве сварочной аппаратуры в процессе ее последующего применения по всему производственному циклу в 28 раз (в 2004 г.). Авторы проекта в итоге показали, что при учете всех источников добавленной стоимости в производстве сварочного оборудования и сварочных материалов, а также в производстве сварных конструкций с применением этой сварочной техники и технологий общэкономическая добавленная стоимость в 2004 г. составила 27 млрд евро (33,7 млрд долл.) или 4,8 % добавленной стоимости всего производящего сектора Германии. При этом доля производящего сектора составляла 562,5 млрд евро (703,1 млрд долл.) или 33,75 % ВВП. Собственно техникой и технологией соединения в Германии заняты более 640 000 человек, иными словами, каждое 16-е рабочее место в производящих отраслях связано со сваркой и родственными ей процессами [4, 13].

Европейские производители сварочного оборудования, внимательно отслеживающие появление научных и инновационных разработок в области техники и технологии соединения и конъюнктурный спрос отраслей производства и строительства на основные типы оборудования для сварки и соединения, выработали корпоративную оценку тенденций развития сварочного рынка и его секторов по базовым технологиям [14] на ближайшие 10 лет (табл. 2).

Согласно приведенным данным, в ближайшие 10 лет наибольший рост и расширение объемов

Таблица 2

Технология	Существенное уменьшение	Без изменения	Значительный прирост
Сварка плавящимся электродом			●
Плазменно-дуговая сварка			●
Дуговая сварка неплавящимся электродом			●
Сварка под флюсом	●		
Лазерная сварка			●
Электронно-лучевая сварка		●	
Контактная точечная сварка	●		
Приварка шпилек	●		
Сварка трением		●	
Механические соединения			●
Пайка		●	
Склеивание			●

производственного применения следует ожидать в первую очередь для лазерной сварки, включая гибридные процессы, и для таких, альтернативных сварке, процессов соединения, как склеивание, механическое соединение (клинчевание, чеканка, просечка и др.) и пайка. Темп развития последних несколько ниже, но заметно превышает развитие традиционных технологий дуговой и контактной сварки. В этот же период ожидается увеличение объема некоторых секторов рынка оборудования по таким инновационно-привлекательным процессам, как сварка трением с перемешиванием, ультразвуковая сварка, нанесение покрытий и др. Устойчивый рост сохраняют сектора рынка источников питания для сварки плавлением, систем автоматического управления и слежения, диагностики и неразрушающего контроля качества сварных соединений. Характерно, что точка зрения европейских производителей техники соединений практически совпадает с мнением потребителей этой техники и в целом отвечает тематическим направлениям научных исследований и технологических разработок, проводимых в национальных научных центрах, сварочных институтах и лабораториях вузов.

В заключение можно отметить, что для промышленно развитых стран характерна достаточно устойчивая динамика как сварочного производства, так и сварочного рынка, которая определяется ключевым характером технологий сварки и соединений в производящих отраслях промышленности и строительства, стабильным ростом потребления конструкционных материалов и расширением их сортамента, а также появлением на сварочном рынке новых, прогрессивных технологий и оборудования для сварки, соединения и обработки конструкционных материалов. Стратегии развития национальных сварочных производств на среднесрочную перспективу практически не имеют резких отличий и ориентированы на решение наиболее актуальных задач, среди которых увеличение объемов и расширение областей применения сварки и родственных технологий, в том числе в тех секторах промышленности и строительства, которые ранее сварку не применяли; повышение производительности технологических процессов при одновременном обеспечении высокого качества соединений; снижение энергопотребления и общепроизводственных затрат на сварку и родственные технологии; расширение применения в сварных конструкциях и сооружениях новых прогрессивных металлических, композитных и неметаллических материалов на основе применения для их соединения и обработки новой техники и технологий.

Устойчивое и эффективное развитие сварочного производства в промышленных странах базируется на использовании результатов фундаментальных

и прикладных исследований, высоком научно-инженерном потенциале, квалифицированных трудовых ресурсах и активном трансфере высоких сварочных технологий и других инноваций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Steel Statistical Yearbook—2004* // International Iron and Steel Institute of Economic Studies. Brussels, 2004. 192 p.
2. *16 Internationale Fachmesse "Schweißen und Schneiden"* — Stand und Entwicklungstendenz // Schweißen und Schneiden. 2005. N 12. S. 1—40.
3. *Janßen R., Moos W.* Schweißen und Schneiden 2004. Schweißtechnik knüpft wieder an hohes Expansion tempo vorgangener Jahrean // Schweißen und Schneiden. 2005. N 5. S. 444—455.
4. *Moos W., Jenßen-Timmen R.* Wertschöpfung und Beschäftigung durch Produktion und Anwendung von Fügetechnik // Schweißen und Schneiden. 2005. N 9. S. 438—443.
5. *Weltweit führende Plattform für Branche* // Stahlmarkt. 2005. N 7. S. 56—57.
6. *Бернадский В. Н., Мазур А. А.* Состояние и перспективы мирового сварочного рынка // Автоматическая сварка. 1999. № 11. С. 49—55.
7. *Optech Consulting.* Market Report on Laser materials Processing // <http://www.optech-consulting.com/laserprocessing-summary.html>
8. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Экономико-статистические данные по сварочному производству (СВЭСТА—2005). Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2005. 87 с.
9. *World Robotics 2004.* UN Economic Commission for Europe (UNECE) — International Federation of Robotics // United Nations. New York and Geneva, 2004. 406 p.
10. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Вклад сварки в экономику США // Сварочное производство. 2004. № 5. С. 43—50.
11. *Welding's economic impact established* // Welding Journal. 2002. Vol. 81. N 4. P. 4.
12. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Экономико-статистические данные по сварочному производству (СВЭСТА—2001). Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2001. 85 с.
13. *Moos W.* Wertschöpfung durch Schweißtechnik // Schweißen und Schneiden. 2001. N 9. S. 548—551.
14. *Neueste Trends in der Fügetechnik* // Stahlmarkt. 2005. N 8. S. 58—59.

*Уважаемые читатели!*

Оформить подписку на свой профессиональный журнал **"СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"**

Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

**Подписные индексы:**

**70807** — по каталогу Агентства "Роспечать";

**27860** — по Объединенному каталогу;

**60256** — по каталогу "Почта России".

УДК 621.791-057.4

**А. П. ПЕТРОВ, д-р техн. наук, В. И. ГАЛКИН, д-р техн. наук,  
В. С. СОКОЛОВ, канд. техн. наук**  
"МАТИ" — РГТУ им К. Э. Циолковского

## Практика непрерывной информационно-компьютерной подготовки студентов-технологов

Информационные технологии являются одним из важнейших факторов развития современного общества. В сфере производства информационные технологии реализуются на принципах CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывное развитие и поддержка жизненного цикла изделия). Основным смыслом CALS-технологий заключается в повышении конкурентоспособности продукции за счет эффективного управления информационными ресурсами. Это достигается благодаря преобразованию жизненного цикла изделия в высокоавтоматизированный процесс, интегрированный с точки зрения информационного взаимодействия всех его участников. Острая конкуренция заставляет западные и ведущие отечественные фирмы ускоренными темпами внедрять CALS-технологии. Поэтому для успешного развития отечественной промышленности требуется огромное количество специалистов, которые помимо знаний в своих базовых областях овладели теоретическим и практическим опытом работы с современными информационными технологиями. В связи с этим производство выдвигает дополнительные требования, предъявляемые в области информационно-компьютерной подготовки к выпускникам технических вузов.

Внедрение CALS-стандартов на производстве привело к поиску новых решений в концепции подготовки специалистов в МАТИ: открытию новых специальностей и образованию новых факультетов. Традиционное для МАТИ обучение специалистов в области конструкторско-технологической подготовки было дополнено открытием новых кафедр, охватывающих стадию эксплуатации и сопровождения систем ("Стартовые комплексы", "Технология эксплуатации воздушных судов", "Высшая инженерная экологическая школа"), а также кафедр, осуществляющих подготовку технологов и механи-

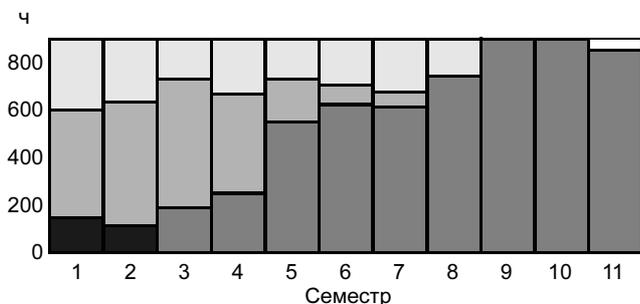
ков с углубленным изучением информационных технологий ("Информационные технологии", "Технологии интегрированных автоматизированных систем", "Интернет-технологии", "Космические телекоммуникации").

Экономический факультет и его кафедры вывели МАТИ на стадию маркетинговых исследований, укрепление подготовки в области организации производства и финансового менеджмента, управление качеством и сертификацию продукции.

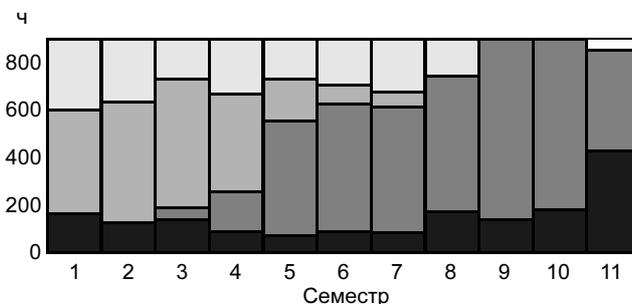
Образование факультета прикладной математики, механики и информатики было связано с открытием новых специальностей, обеспечивающих углубленную подготовку специалистов-исследователей.

Постоянная и планомерная работа по совершенствованию образовательных программ, учебно-методического и организационного обеспечения, выполняемая ведущими преподавателями и специалистами предприятий, обеспечила построение гибкой развивающейся образовательной системы подготовки специалистов, нацеленной на удовлетворение потребностей конкретных предприятий с учетом требований их научных и производственных подразделений. Это достигается системным подходом разрешения проблем целевой подготовки специалистов, основанным на комплексном анализе всех ее аспектов. При этом фундаментальная и специальная подготовка в полной мере отражают приоритетные образовательные направления России и развитых зарубежных стран. Все это в полной мере соответствует потребностям предприятий, остро нуждающимся в молодых специалистах, в совершенстве владеющих современными производственными и информационными технологиями.

Однако в настоящее время, согласно образовательному стандарту, обязательными предмета-



**Рис. 1. Структура базового учебного плана инженеров-технологов** (■ — информационные технологии — 17 %; ■ — профессиональная подготовка — 43 %; □ — естественные науки — 23 %; □ — гуманитарные и социальные науки — 17 %)



**Рис. 2. Преобразованный учебный план инженеров-технологов** (обозначения — см. рис. 1)

ми, непосредственно связанными с информационными технологиями, у студентов инженерных специальностей являются информатика, которая изучается в двух семестрах первого курса, и САПР, изучаемая на четвертом либо пятом курсе, что составляет 3 % от общего объема дисциплин учебного плана (рис. 1).

Подобный порядок вещей не способствует формированию у студентов целостной системы знаний и базовых понятий в информационно-компьютерной области. Для получения студентами системных знаний в этой сфере требуется обеспечение комплексности образования. Это может быть достигнуто благодаря внедрению в учебный процесс непрерывного блока информационно-компьютерных дисциплин объемом до 17—20 % от общего количества, который может быть сформирован в рамках образовательного стандарта за счет дисциплин по выбору и перераспределению на-

грузки между предметами (рис. 2). Дисциплины информационно-компьютерного блока должны обладать взаимной преемственностью и быть равномерно распределены по всему циклу обучения. Для формирования у студентов нацеленности на решение повседневных задач с применением компьютерной техники разработка дисциплин информационно-компьютерного блока должна обеспечивать реализацию межпредметных связей с учебными курсами специальных, общепрофессиональных, математических, естественно-научных и других дисциплин с внедрением компьютерных технологий при их введении.

Перечень дисциплин, связанных с информационными технологиями в учебном плане технологических специальностей, приведен в таблице.

Перечень и содержание дисциплин, подлежащих изучению, должны уточняться для каждой конкретной специальности, однако в этот состав долж-

Название дисциплины	Учебный семестр	Комментарий
Информатика	1—2 3—4	Знакомство с Microsoft Office, алгоритмическое программирование. Выравнивание уровня знаний у студентов Совершенствование работы с продуктами Microsoft Office, программирование на Visual Basic
Применение вычислительной техники в инженерной деятельности	5—6	Знакомство с инженерными графическими системами, системами математического моделирования, основы сетевых технологий. Применение вычислительной техники в курсовом проектировании по базовым предметам
Методология научных исследований	6	Эффективное применение численных методов с помощью вычислительной техники
Базы данных	7—8	Знакомство с моделями БД, изучение реляционных БД, разработка собственных БД, изучение автоматизации в Microsoft Office
Математическое моделирование технологических процессов	8	Основы аналитических и численных методов моделирования, изучение методов конечных элементов и конечных разностей. Практическое применение CAE-систем
Автоматизация технологических процессов	9	Знакомство с АСУП, изучение принципа работы плат ЦАП—АЦП
САПР	9—10	Изучение идеологии CALS, изучение и практическое применение методов инжиниринга и реинжиниринга, CAD/CAM/CAE/PDM-систем, разработка учебной CAM-системы

ны быть включены следующие обязательные дисциплины: графические системы, базы данных, системы математического моделирования, основы инжиниринга и реинжиниринга, сетевые технологии, программирование. В качестве примера в таблице приведены дисциплины, связанные с информационными технологиями, которые составляют единый учебный блок в учебном плане ряда технологических специальностей. Аналогичные учебные планы разработаны для ряда экономических специальностей. Подобным образом поступают в Институте целевой подготовки специалистов МАТИ при ФГУП "ММПП "Салют".

Решение кадровой проблемы для предприятий зависит не только от изменения учебных планов и методик обучения. Важнейшим фактором привлечения молодых специалистов на производство является повышение их материальной заинтересованности. Предприятиям стоит пересмотреть свои позиции в кадровом вопросе, сконцентрировав

свое внимание не на количестве принимаемых сотрудников, а на качестве их подготовки. Этому способствуют прямые договорные отношения с вузами. Кроме того, каждое предприятие использует свой состав программного обеспечения, и обучение студентов по стандартной программе не позволяет на "выходе" получить специалиста, полностью соответствующего требованиям конкретного производства. Следовательно, необходима дополнительная подготовка молодых специалистов под требования предприятия. Этой цели служит хорошо себя зарекомендовавшая система целевой контрактной подготовки, в соответствии с которой разрабатывается и подписывается трехсторонний контракт между предприятием-заказчиком, студентом и вузом-исполнителем. Однако масштабы привлечения этого механизма пока недостаточно значительны, что, безусловно, тормозит привлечение кадров на производство.

---

## ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.791:061.2/4

### *3-я Международная выставка* **"Российская неделя** **контрольно-измерительного оборудования"**

В Москве на ЦВК "Экспоцентр" с 10 по 12 октября 2006 г. проходила третья Международная выставка "Российская неделя контрольно-измерительного оборудования", организованная компанией Novex Limited (Кипр) при содействии ЗАО "Экспоцентр". В экспозиции были представлены контрольно-измерительные приборы и автоматика; аналитические, оптические и оптико-механические приборы; тестирующее и испытательное оборудование; технологии и методика аналитического контроля; различные реактивы и материалы. В выставке приняли участие более 60 компа-

ний из многих стран, в том числе из России. Экспозиционная площадь выставки составила 300 м<sup>2</sup>.

Ниже приведено краткое описание некоторых экспонатов и предложений разработчиков, продемонстрировавших на выставке.

**Федеральное государственное унитарное предприятие Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений** (Московская обл., Солнечногорский район, п/о Менделеево):

— *твердомер портативный динамический МЕТ-Д2* для измерения твердости металлов и спла-

вов по шкалам Роквелла, Бринелля, Виккерса и Шора, состоящий из электронного блока и динамического датчика. Индентор, вмонтированный в датчик, представляет собой ударный элемент с твердосплавным сферическим наконечником. Динамический принцип работы твердомера основан на измерении отношения скоростей индентора при падении и отскоке от поверхности контролируемого изделия. Отношение скоростей индентора при отскоке и падении характеризует твердость материала. Длительность одного цикла измерения твердости не более 3 с, число запоминаемых

Диапазоны измерений твердости по шкалам		Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения твердости
"С" Роквелла	(25—70) HRC	±3 HRC
Бринелля	(150—450) HB	±15 HB
Виккерса	(400—875) HV	±25 HV
Шора "D"	(30—100) HSD	±4 HSD

результатов измерений 100. Питающее напряжение твердомера 220 В от сети переменного тока и 1,5 В от аккумулятора, потребляемая мощность 3 Вт. Габаритные размеры электронного блока твердомера 145 × 80 × 40 мм, датчика — длина 80 мм, диаметр 25 мм. Масса электронного блока с датчиком 0,4 кг.

Основные технические характеристики твердомера приведены в таблице.

Твердомер может быть использован в производственных и лабораторных условиях в машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности;

— *портативный универсальный миллитесламетр ТПУ-06* для измерения магнитной индукции постоянных и переменных (средневыпрямленного и амплитудного значений) магнитных полей, а также однократных импульсов магнитного поля. При подключении к аналоговому выходу миллитесламетра осциллографа имеется возможность наблюдения формы переменного и импульсного магнитного полей. Прибор удобен при исследовании магнитных систем различного назначения, в магнитопорошковой дефектоскопии, для измерений остаточной намагниченности, в том числе в цеховых условиях. Питание прибора от батарейки напряжением 9—12 В.

**ОАО "Краснодарский ЗИП"** (Краснодар) — широкая гамма измерительных приборов:

— *переносной показывающий ампервольтметр АВО 3001* для измерения напряжения, постоянного и переменного токов, электрического сопротивления постоянному току с частотой 65—

1000 Гц. По принципу действия прибор относится к магнитоэлектрическим с подвижной рамкой на кернах, набором шунтов и делителей для расширения пределов измерения по току и напряжению. Измерение сопротивления осуществляется операционным усилителем с набором опорных резисторов и источника опорного напряжения, выполненного на прецизионном стабилитроне. Прибор выдерживает перегрузку 120 % в течение 2 ч, обеспечивает работу в круглосуточном режиме, устойчив к воздействию атмосферных осадков и пыли. Диапазон измерений: напряжение постоянного тока 0,18—600 В, класс точности 1,5; напряжение переменного тока 0,3—600 В, класс точности 2,5; постоянный ток 0,3 мА—6 А, класс точности 1,5; переменный ток 3 мА—6 А, класс точности 2,5. Питающее напряжение прибора 4,8—6,2 В, имеется защита от неправильного включения элементов питания. Ампервольтметр работает при температуре окружающей среды –10—40 °С с относительной влажностью до 80 %. Габаритные размеры 200 × 130 × 80 мм, масса 1,5 кг;

— *поверочная установка У300* для поверки амперметров и вольтметров постоянного и переменного тока всех систем методом сличения с показаниями образцовых приборов классов точности 0,2. Установка оснащена устройством защиты выпрямителей высоковольтного блока от перегрузки и делителем напряжения для поверки милливольтметров и микроамперметров. Коэффициент нелинейных искажений выходного переменного напряжения 2 %, потребляемая мощность 750 Вт,

температура окружающей среды 10—35 °С, влажность до 80 %. Установка работает от сети переменного тока напряжением 220 В с частотой 50 или 500 Гц. Габаритные размеры 440 × 1040 × 720 мм, масса — 180 кг;

— *многофункциональный калибратор МП 3001* с микропроцессорным управлением (рис. 1) для поверки и разбраковки в автоматическом режиме на постоянном токе аналоговых и цифровых амперметров, вольтметров, ваттметров, измерения постоянного напряжения и сопротивления постоянному току. Выполняет также следующие функции: запоминание результатов поверки; установку и коррекцию нуля в автоматическом режиме; контроль выходной величины; изменение полярности выходной величины; аварийную сигнализацию. Для печати протокола поверки имеется интерфейс PS-232 для выхода на внешнее печатающее устройство. Потребляемая мощность калибратора 400 Вт, питающее напряжение 220 В, рабочий диапазон температур 10—35 °С, допустимая основная погрешность 0,0005—0,2 %. Габаритные размеры 490 × 420 × 629 мм, масса 50 кг;

— *мост постоянного тока Р333* для измерения сопротивлений по одинарной схеме, определения места повреждения кабеля, измерения асимметрии проводов. Класс точности 0,5, температура



Рис. 1. Многофункциональный калибратор МП3001 с микропроцессорным управлением

окружающей среды 10—35 °С при влажности до 80 %. Габаритные размеры 300 × 230 × 150 мм, масса 5 кг.

**ЗАО "ОПТЭК"** (Санкт-Петербург) — газоанализаторы для контроля воздуха рабочей зоны, газовых промышленных выбросов и др.:

— *комбинированный полуавтоматический пылемер-нефелометр "ОМПН-10.0"* для измерения концентрации аэрозольных частиц различного происхождения и химического состава при контроле превышения предельно допустимых концентраций в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны. Принцип действия пылемера основан на комплексном использовании оптического и гравиметрических методов и заключается в регистрации рассеянного излучения оптическим датчиком и параллельном принудительном прокачивании анализируемой пробы воздуха через аналитический фильтр. Диапазон измерения концентрации аэрозоля 0,01—100 кг/м<sup>3</sup>, предел допустимой относительной погрешности измерений ±20 %. Выходной аналоговый сигнал оптического блока 5 В, потребляемая мощность 65 Вт, питающее напряжение 220 В. Габаритные размеры: оптического блока — 221 × 150 × 87 мм, электроасpirатора — 238 × 293 × 225 мм. Масса оптического блока — 1,5 кг, электроасpirатора — 7,2 кг. Условия эксплуатации прибора: температура –10—40 °С, влажность до 95 %;

— *газоанализатор "Каскад-200"* (рис. 2) для оптимизации процессов горения в котлах, работающих на газе, жидком и твердом топливе, а также анализа промышленных выбросов. Принцип действия газоанализатора — электрохимический. Он представляет собой автоматический многокомпонентный переносной показывающий прибор непрерывного действия, снабженный встроенными побудителем расхода и ак-



Рис. 2. Газоанализатор "КАСКАД-200"

кумулятором, имеет в своем составе и робоотборный зонд;

— *многокомпонентный стационарный газоанализатор "ОПТОГАЗ-500.3С"* для анализа промышленных газовых выбросов, может применяться во взрывобезопасных помещениях. Прибор работает на базе ИК-оптического модуля (СО, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>) с использованием электрохимических сенсоров NO и O<sub>2</sub>, оснащен интерфейсом PS-232. Расход газовой смеси, подаваемой специальным насосом, 1 дм<sup>3</sup>/мин, потребляемая мощность 60 Вт, питающее напряжение 220 В. Габаритные размеры измерительного блока 482 × 410 × 132 мм, масса 7 кг. Газоанализатор эксплуатируется при температуре окружающей среды 5—40 °С, давлении 84—106,7 кПа и влажности до 95 %.

**Предприятие "Радио-сервис"** (Ижевск) — оригинальные измерительные приборы:

— *цифровой мегаомметр Е6-24* (рис. 3) для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением, и измерения напряжения до 400 В. Включенный прибор постоянно находится в режиме измерения напряжения. Измерение сопротивления производится нажатием соответствующей кнопки и не требует переключения режимов. При измерении сопротивления изоляции более одной минуты, прибор автоматически рас-



Рис. 3. Цифровой мегаомметр Е6-24/1

считывает коэффициент абсорбции и сохраняет его в памяти. В памяти также хранятся результат последнего замера и сопротивление изоляции за 15 с. Все измеренные параметры можно вывести на дисплей. Текущее значение напряжения отображается на светодиодном индикаторе, расположенном на лицевой панели прибора. Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи или сети переменного тока через адаптер, служащий для зарядки аккумулятора. Прибором можно измерять напряжение 100, 250, 500 и 1000 В и сопротивление изоляции до 1 гОм. Работает при температуре –30—50 °С, потребляемая мощность 6 Вт. Габаритные размеры 80 × 120 × 250 мм, масса 1,2 кг;

— *трассоискатель "Сталкер"* для определения местоположения и глубины залегания силовых и сигнальных кабелей, трубопроводов на глубине до 10 м и удалении до 10 км от места подключения генератора, определения мест повреждений изоляции трубопроводов и кабелей, обследования участков местности перед проведением земляных работ, поиска пар проводов в сигнальных кабелях. Бесконтактный датчик контроля изоляции ДКИ-03, входящий в состав трассоискателя, предназначен для определения места повреждения в условиях мерзлого грунта, под асфальтом и снегом;

— преобразователь силы арматурный струнный для измерения статических усилий растяжения в арматуре железобетонных конструкций энергетических сооружений в процессе натуральных исследований их напряженно-деформированного состояния. Преобразователь состоит из упругого корпуса, обеспечивающего преобразование измеряемой силы в деформацию; струнного преобразовательного элемента, преобразующего деформацию струны в электрический частотно-модулированный выходной сигнал; штуцера, обеспечивающего герметичное соединение выводов электромагнитной головки с кабелем; удлинительных арматурных стержней, служащих для установки преобразователя в арматуру. Силы, воздействующие на арматуру, вызывают деформацию корпуса преобразователя, которая передается струнному преобразовательному элементу и вызывает изменение частоты выходного сигнала. Диапазон измерения усилий растяжения 0—80, 0—160 и 0—320 кН. Размеры стержней арматуры: диаметр — 20, 28 и 40 мм, длина — 600 мм.

**НПО "ЮМАС"** (Москва) — манометры различного назначения и другие вспомогательные устройства:

— общетехнический манометр МП 250 Н для измерения избыточного давления неагрессивных, некристаллизующихся сред (жидкости, пара, газа, в том числе кислорода, ацетилен, пропан-бутана). Класс точности прибора 1, диаметр корпуса 250 мм, предел измерения 0—100 МПа;

Коррозионно-стойкий манометр МП63НЛН для измерения вакуумметрического и избыточного давлений некристаллизующихся сред, не вступающих в активное взаимодействие с коррозионно-стойкой сталью. Диаметр корпуса 63 мм, класс точности 1,5, пределы измерений 0—1,5 МПа;



Рис. 4. Эталонный тягонапормер НП160Н-0,25

— манометр повышенной точности МП160МЦ для контроля работоспособности общетехнических манометров, а также измерения давления жидких и газообразных веществ с повышенной точностью, класс точности 1, пределы измерений 0—40 МПа;

— эталонный тягонапормер НП160Н-0,25 (рис. 4) для проверки технологических измерителей малых давлений с высокой точностью. Класс точности 0,25, пределы измерений до 100 кПа, диаметр корпуса 160 мм;

— автомобильный манометрический индикатор МИА 63/2 для индикации избыточного давления масел, воды, сжатого воздуха в системах автомобильного транспорта с пределом измерения 0—100 МПа;

— виброустойчивый электроконтактный манометр ЭКМ160НВм для замыкания и размыкания электрических цепей при достижении заданного предела давления. Обеспечивает визуальную индикацию контролируемого давления в условиях повышенной вибрации и пульсации измеряемой среды. Диаметр корпуса 160 мм, класс точности 2,5, пределы измерений 0—6 МПа.

**ЗАО "Компания НТНК"** (Москва) — стационарные, встраиваемые в технологическую линию переносные и другие твердомеры, разработанные за рубежом:

— портативный твердомер *Heady esatest*, принцип работы которого основан на измерении электрического сопротивления. Алмазный индентор имеет тонкое токопроводящее покрытие. При вдавливании индентора сопротивление электрической цепи изменяется в зависимости от глубины. Такой метод измерения твердости позволяет проводить измерения в труднодоступных точках, на деталях больших и малых размеров, различных формах поверхности, внутренних поверхностях, зубьях шестерен и др. Твердомер имеет возможность распечатки результатов измерений, проведения серии испытаний с моментальным вычислением среднего значения и отклонения с выводом на цифровой жидкокристаллический дисплей с подсветкой размером 80 × 30 мм. Максимальная величина нагрузки 9,81—98,1 Н задается с клавиатуры. Объем памяти прибора 1000 измерений, питающее напряжение 110—220 В или от батарейки,



Рис. 5. Универсальная испытательная машина Quasar 2,5

работающей в течение 8 ч беспрерывной работы;

— универсальная испытательная машина *Quasar 2,5* с диапазоном нагрузок 2,5—2000 кН (рис. 5). Машина сконструирована с учетом требований к проведению механических испытаний различных материалов и изделий из них на растяжение, сжатие, изгиб и т. п. Испытания проходят по заданной программе, что позволяет хранить данные, вычислять и печатать результаты измерений. Полное управление и измерение осуществляются от компьютера с клавиатуры пульта управления. Питающее напряжение твердотела 110—230 В, рабочая температура 10—50 °С. Прибор имеет память на 4700 измерений.

**ООО "Сенсорика-М"** (Самара) — различное измерительное оборудование, разработанное в Германии:

— бесконтактный лазерный линейный датчик профиля *scanCONTROL2800* (рис. 6), использующий принцип оптической триангуляции для двумерного кон-

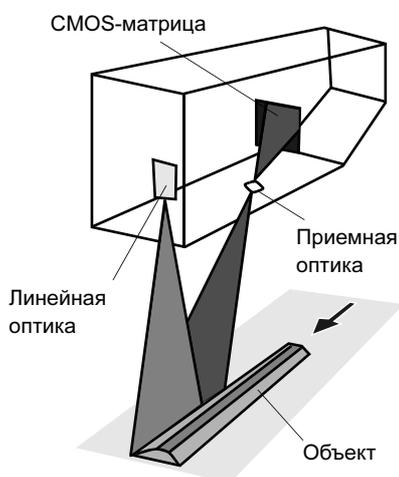


Рис. 6. Принцип работы датчика *scanCONTROL2800*

троля профиля различных объектов. В противоположность точечным лазерным датчикам на поверхности объекта с помощью линейной оптики проецируется лазерная линия. Отраженный свет через высококачественную оптику отображается на CMOS-матрице и обрабатывается в двух измерениях. Вместе с информацией о расстоянии регистрируется также точное положение каждой точки

лазерной линии, с помощью контроллера производится обработка результатов. Датчик профиля состоит из измерительной головки и интеллектуального контроллера, соединенных между собой кабелем. Контроллер выдает информацию о профиле в двух измерениях. Интегрированный интерфейс допускает управление системой от компьютера и высокую скорость обработки данных в широком частотном диапазоне. Возможно управление несколькими системами с помощью одного компьютера;

— *optoCONTROL2500-35* для выполнения бесконтактных и высокочастотных измерений на движущихся конвейерах, экструзионных линиях, волоочильных установках, в механизмах и автоматизированном производстве.

Выставка прошла с большим успехом, были заключены деловые соглашения между представителями различных фирм. Ее посетило большое число специалистов.

**А. Н. Иванов**, инж.

## Вниманию специалистов!

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 20.04.2006 г. № 227 в Положение о порядке присуждения ученых степеней внесены изменения, которые существенно повышают уровень требований к материалам, выносимым на защиту докторской и кандидатской диссертаций. ВАК Минобразования и науки РФ сформировал новый Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней.

Издания, рекомендованные для публикации материалов диссертаций на соискание степени доктора наук, отмечены в Перечне звездочкой.

Доводим до Вашего сведения, что журнал "Сварочное производство" является изданием, входящим в новый Перечень журналов, утвержденных ВАКом для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата технических наук.

**Редакция**

УДК 621.791.(05)(-87):016

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

### **Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach (Ros. 50, N 3, 2006, Польша)**

**Dworak J.** Техника лазерной сварки, результаты исследований и области применения. Р. 27—32.

**Parkala H.** Рельефная сварка латуни. Р. 33—38.

**Klimpel A.** et al. Автоматизированная плазменная сварка стыковых соединений листов из аустенитной стали AISI 321. Р. 38—44.

**Pasek-Siurek H., Piatek M.** Технические и экономические условия процесса плазменной сварки и новое оборудование, разработанное в Институте сварки. Р. 45—51.

**Zeman W.** Проектирование как элемент снижения стоимости сварных конструкций. Р. 52—57.

### **Journal of the Japan Welding Society (Vol. 75, N 2, 2006, Япония)**

**Araki T.** Красота природы и сварка. Р. 3—4.

**Sato M.** Повышение скорости дуговой сварки под флюсом несколькими электродами. Р. 5.

**Yabe T.** Моделирование лазерной обработки методом кубически-интерполированных псевдо-частец. Р. 7—9.

**Koshizura S.** Цифровой анализ методом частец. Р. 10—12.

**Nakasumi Sh.** Структурный анализ методом суперпозиции сеток. Р. 13—16.

**Noguchi H.** Анализ взаимодействия жидкости и структуры бесситовым методом. Р. 17—20.

**Nakayama T.** Коррозионное растрескивание под напряжением углеродистой и низколегированной стали. Р. 21—25.

**Hirai Y.** Напыление антикоррозионных покрытий на большие стальные мосты. Р. 26—30.

**Uchida M.** et al. Газотермическое напыление антикоррозионных покрытий на стройплощадках. Р. 31—35.

### **Quarterly journal of the Japan Welding Society (Vol. 24, N 1, 2006, Япония)**

**Furukawa K.** et al. Зависимость между режимом сварки и временным изменением усилия на электроде. Р. 3—9.

**Furukawa K.** et al. Влияние давления электрода и режимов сварки на максимальную растягивающую нагрузку при сдвиге. Р. 10—16.

**Liu Z.** et al. Гибридная сварка CO<sub>2</sub>-лазер — МАГ высокопрочной стали. Р. 17—25.

**Suita Y.** et al. Явление зажигания дуги при дуговой сварке полым вольфрамовым электродом в защитном газе при прикосновении электрода к изделию в вакууме. Р. 26—31.

**Naito Y.** et al. Характеристики проплавления при гибридной сварке ТИГ — ИАГ-лазером и поведение дуги факела плазмы в процессе сварки. Р. 32—38.

**Naito Y.** et al. Влияние окружающей атмосферы на геометрию проплавления при обычной лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварке. Р. 39—44.

**Naito Y.** et al. Электрические измерения дуги в процессе гибридной сварки. Р. 45—51.

**Nakatani M., Ohji T.** Влияние импульсного режима на форму проплавления шва. Р. 52—56.

**Komizo Y.** et al. Изменение структуры заэвтектоидной углеродистой стали при сварке плавлением. Р. 57—64.

**Sonoya K.** et al. Вязкость разрушения покрытий YSZ, полученных плазменным напылением. Р. 65—69.

**Miyazaki K.** et al. Влияние расстояния от центра шва до установленного конца на остаточные напряжения и коэффициент интенсивности напряжений в сварных швах труб. Р. 70—77.

**Miyazaki K., Mochizuki M.** Влияние распределения остаточных напряжений и геометрии компонентов на коэффициент интенсивности напряжений и характеристики роста поверхностных трещин. Р. 78—86.

**Fukumoto M.** et al. Синтез и определение характеристик наноструктурных интерметаллических соединений.

<sup>1</sup> Раздел подготовлен по материалам Библиографического указателя "Сигнальная информация. Сварка и родственные технологии" (по вопросу получения полной версии материалов обращаться в ИЭС им. Е. О. Патона по тел./факсу: 8-10-38044-287-0777 или library@paton.kiev.ua).

ских никель-алюминиевых смешанных покрытий. Р. 87—92.

**Sakamoto R.** Компьютеризированные экспертные системы для переходного соединения в жидкой фазе. Р. 93—99.

**Sakamoto R. et al.** Оптимизация переходного соединения в жидкой фазе суперсплава IN738LC на никелевой основе. Р. 100—107.

**Watanabe T. et al.** Сварка давлением стали и сплава магния с помощью вращающегося штыря. Р. 108—115.

### **Schweiss- & Prüftechnik** (N 5, 2006, Австрия)

**Kuhlmann U.** Изменение долговечности сварных конструкций из строительных сталей повышенной прочности при применении ультразвуковой ударной обработки. S. 67—70.

**Roye W., Schieke.** Ультразвуковые искатели для специальных случаев применения. S. 71—73.

**Повышение** высокой мощности: лазерный луч плюс дуга. S. 74.

**Huppertz P. H.** Конференция в Мюнхене 14—17 февраля 2006 г. Сварка в аппаратостроении. S. 78.

### (N 6, 2006, Австрия)

**Tas M.** Строительство здания Т-образной формы в Мюнхене. S. 83—85.

**Фирма "Кемпи"** получила международную премию за дизайн. S. 86.

**Точечная** сварка бегущей ленты. S. 87.

### **Welding and Cutting** (N 1, 2006, Германия)

**Современное** защитное снаряжение сварщиков. Р. 6.

**16-я** Международная сварочная ярмарка "Сварка и резка". Р. 14—30.

**Knopp N., Killing R.** Высокотемпературная пайка оцинкованных листовых материалов. Р. 31—35.

**Hawley D.** Перспективный новый инструмент для термического напыления. Р. 38—42.

**Jasnau U.** Области применения мобильных лазеров в судостроении — от ручной резки до гибридной сварки с помощью трактора. Р. 42—43.

**Dilthey U., Willms K.** Variowire — новый вариант дуговой сварки алюминия плавящимся электродом в защитном газе с использованием тонких проводочных электродов. Р. 44—48.

**Jenicsek A. et al.** Испытания по сквозной приварке шпилек к стальным листам с разными покрытиями. Р. 54—58.

**Block B. et al.** Влияние карбидных порошков как модификаторов и термомеханической правки

сварных швов на структуру и механические свойства швов, выполненных на титане. Р. 64—67.

### **Welding Journal** (Vol. 85, N 2, 2006, США)

**Morrett B., Giese B.** Устранение неисправностей при дуговой сварке плавящимся электродом в защитном газе. Р. 26—27.

**Cullison A. et al.** Выставка FABTECH International & AWS Welding Show. Р. 28—35.

**Chang Y. H.** Усовершенствование процессов дуговой сварки плавящимся и вольфрамовым электродом с подачей разных защитных газов. Р. 41—43.

**Woodward H. M.** Молодой сварщик из Техаса, получивший известность благодаря своим художественным изделиям из металла. Р. 44—46.

**Rowe M. D.** Систематизация стойкости деформируемых суперсплавов против образования трещин при деформационном старении. Р. 27-s—34-s.

**Wahab M. A. et al.** Экспериментальное и численное моделирование допустимых сил в сварных соединениях, выполненных дуговой сваркой металлическим электродом в защитном газе. Р. 35-s—43-s.

### **Zvaranie-Svarovani** (Roc. 54, N 10, 2005, Словакия)

**Božanský J. et al.** Основные физико-металлургические механизмы ухудшения свойств ЗТВ стальных сварных соединений. S. 269—279.

**Pilous V.** Промежуточные слои, плакированные высокопрочной сталью. S. 274—279.

**Mucha M.** Производительность дуговой сварки под флюсом и ее влияние на некоторые свойства сварных швов. S. 280—284.

### (Roc. 54, N 11—12, 2005, Словакия)

**Janota M.** Плотность сварочного тока и рекомендуемые параметры точечной контактной сварки низкоуглеродистых стальных листовых материалов. S. 301—304.

**Kalna K.** Проектирование стальных конструкций с точки зрения предельного состояния усталостного разрушения — недостатки стандартов EN 1993-1-9 и EN 1993-1-10. S. 304—311.

**Bartoš M.** Применение ТИГ-сварки в энергетике. S. 312—314.

**Vrbenský J. et al.** Ремонтная сварка компонентов оборудования давления без термической обработки после сварки. Ч. 2. Ухудшение свойств основного металла ЗТВ и способы их восстановления. S. 315—319.

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

**Плазмотрон** (а. с. 1223533) отличается тем, что для улучшения условий охлаждения катода путем снижения градиента температур вдоль катододержателя площадь поперечного сечения винтообразного канала или каналов завихрителя выполнена уменьшающейся к рабочему торцу катододержателя. 1394576 (A2). С. Б. Бойко, М. И. Сычев. [36].

**Плазменная горелка (варианты) и используемые в ней катод и электрод** 1. *Плазменная горелка* содержит катод и электрод, имеющие соединительные концы, приспособленные для коаксиального телескопического соединения друг с другом на центральной продольной оси горелки, и входящие во взаимное зацепление фиксаторы на соединительных концах катода и электрода, причем по меньшей мере один из фиксаторов выполнен с возможностью упругого перемещения в главном образом радиальном направлении относительно центральной продольной оси горелки между не изогнутым и изогнутым состоянием и совершает перемещение из указанного не изогнутого в указанное изогнутое состояние, когда катод и электрод вдвигают один в другой, и перемещение из изогнутого состояния назад в не изогнутое состояние, когда катод и электрод дополнительно вдвигают до точки, в которой фиксаторы на катоде и электроде совмещаются по оси. 2. *Катод плазменной горелки* содержит соединительный конец, обеспечивающий электрическое соединение с электродом в горелке, и фиксатор, идущий радиально от соединительного конца для соединения электрода и катода в горелке. Фиксатор выполнен с возможностью упругого перемещения в главном образом радиальном направлении относительно центральной продольной оси катода между не изогнутым и изогнутым состояниями, что позволяет производить

относительное телескопическое перемещение катода и электрода для соединения катода и электрода, при этом указанный фиксатор совершает перемещение из не изогнутого в изогнутое состояние, когда катод и электрод вдвигают один в другой, и перемещение из изогнутого назад в не изогнутое состояние, когда катод и электрод дополнительно вдвигают один в другой для обеспечения окончательного соединения катода и электрода, а указанный фиксатор предотвращает осевое перемещение электрода из горелки после указанного соединения катода и электрода. 3. *Электрод плазменной горелки* содержит соединительный конец, приспособленный для соединения с плазменной горелкой, выполненный с возможностью упругого перемещения относительно центральной продольной оси электрода между нормальным, не изогнутым и изогнутым состояниями, в котором диаметр соединительного конца электрода существенно изменен по сравнению с нормальным, не изогнутым состоянием, при этом указанное радиальное перемещение позволяет производить вставку электрода и его соединение с горелкой. 2267386 (C2). Д. А. Робертс (US), К. Д. Хорнер-Ричардсон (US), Д. А. Смолл (US), Д. В. Хьюс (US). "Термал Динамикс Корпорейшн" (US) [1].

**Способ удаления дефекта металла** путем расплавления дефектного участка электронным лучом с разверткой в форме восьмилучевого растра с переменными частотой и амплитудой и дополнительным прогревом периферийных участков зоны проплавления. Отличается тем, что параметры управления лучом рассчитывают в условиях меняющихся по ходу технологического процесса требований к глубинам зоны проплавления и посадочной лунки в центре зоны, поперечнику сварной зоны, механической прочности шва с помощью решающего блока для системы модельных уравнений, а результаты решения системы выдаются на монитор компьютера в графическом виде с визуализацией графиков в осях управляемых параметров луча. 2267391 (C1). Л. А. Волков (RU), Ю. А. Жуков (RU), И. В. Дорофеев (RU) и др. ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

**Способ диффузионно-реактивного соединения металлов и сплавов**, при котором собранные детали нагревают до температуры, превышающей температуру образования эвтектики между основным металлом и металлом-депрессантом.

\* Приведены наименование и номер патента (авторского свидетельства), автор и заявитель, а в квадратных скобках — номер специального бюллетеня "Изобретения. Полезные модели" за 2005 и 2006 гг., в котором опубликована формула изобретения. Запросы для получения более подробных сведений следует направлять по адресу: 121867, Москва, Бережковская наб., д. 24. Патентная библиотека. Тел.: (495) 240 5008.

Обозначения: С — патент РФ, выданный вместо ранее не публиковавшегося а. с. СССР на оставшийся срок; С1 — патент, выданный без предшествующей публикации сведений о заявке; С2 — патент, выданный с предшествующей публикацией сведений о заявке; А1 и А2 — авторское и дополнительное авторское свидетельства СССР, ранее не публиковавшиеся; U1 — свидетельство РФ на полезную модель.

Отличается тем, что для повышения качества соединения путем уменьшения толщины жидкой прослойки в шве и расширения технологических возможностей способа вследствие обеспечения выполнения соединений различных типов детали собирают с фиксированным минимальным по ширине зазором, а металл-депрессант размещают непосредственно около этого зазора. 2268120 (С2). В. С. Несмих (UA), К. А. Ющенко (UA), Т. Н. Кушнарева (UA). МО "Интерм" (UA).

**Способ автоматической электродуговой наплавки изделий типа тел вращения**, при котором на поверхность изделия наплавляют валик, состоящий из продольных участков, располагаемых вдоль образующей изделия, и дугообразных участков, соединяющих концы соседних продольных участков, с размещением соседних продольных участков валика по одну сторону от соединяющего их дугообразного участка. Отличается тем, что наплавку осуществляют в нижнем положении расположенным в зените электродом непрерывной дугой при размещении оси электрода и оси поворота детали в вертикальной плоскости, по меньшей мере, в два захода с последовательным формированием, по меньшей мере, двух валиков и размещением продольных участков последующего валика между продольными участками ранее наплавленного валика, при этом образование продольных участков производят путем перемещения электрода вдоль оси неподвижного изделия, а дугообразных участков — путем поворота изделия при неподвижном электроде. 2268121 (С1). П. Б. Перегудин (RU), С. Б. Перегудин (RU), Б. П. Перегудин (RU). ООО Фирма "Директ" (RU) [2].

**Способ дуговой наплавки неплавящимся электродом**, при котором в сварочную ванну подают присадочную проволоку и производят растяжение сварочной ванны. Отличается тем, что сварочную горелку и присадочную проволоку устанавливают под острым углом к нормали к наплавляемой поверхности, присадочную проволоку подают в зону анодного пятна сварочной дуги за горелкой по направлению сварки, создают сварочную ванну и растягивают ее в направлении присадочной проволоки. 2268122. (С1). М. А. Масленников (RU), А. В. Туров (RU), И. И. Столяров (RU). ОАО "Пермский моторный завод" (RU) [2].

**Маска сварщика и способ изготовления.**  
1. *Маска сварщика* включает пространственный корпус, образованный лицевой, боковыми, верхней и нижней стенками, лицевая стенка выполнена прямоугольной, верхняя и нижняя стенки имеют форму равнобедренной трапеции, каждая боковая стенка выполнена трапециевидной, большая сторона которой выполнена по ломаной линии, а меньшая сторона образует боковую сторону лицевой

стенки. Стенки выполнены из одной заготовки и соединены между собой по углам маски, образующим пространственный корпус, в полости которого расположен узел крепления маски к голове сварщика, связанный с корпусом с возможностью поворота в продольной вертикальной плоскости корпуса вокруг осей, установленных в боковых стенках корпуса маски и с возможностью фиксации в различных рабочих положениях рукоятками фиксации узла крепления. 2. *Способ изготовления маски сварщика* включает пластическое деформирование листовой заготовки корпуса маски из композиционного материала, состоящей из лицевой, боковых, верхней и нижней стенок, выполнение в заготовке вырезов между каждой боковой стенкой и верхней и нижней стенками, изгиб во внутреннюю сторону маски стенок, их соединение между собой и соединение с боковыми стенками узла фиксации маски на голове сварщика. Отличается тем, что в местах изгиба стенок листовой заготовки маски по каждой продольной оси изгиба сопротивляемость изгибу стенок уменьшают, а сопротивляемость стенок в местах, расположенных за пределами изгибаемых участков, увеличивают. 2268123 (С1). М. К. Омаров (RU), А. Л. Чистов (RU) [2].

**Способ получения биметаллов**, в состав которых входит алюминий и его сплавы, включает изготовление прокаткой прослойки на основе алюминия с односторонним или двухсторонним плакирующим слоем легкоплавкого металла, сборку пакета из заготовки из стали, титана, меди или алюминия с заготовкой из алюминия или его сплавов с прослойкой между ними и последующую деформацию пакета. Отличается тем, что заготовки из алюминия или его сплавов предварительно нагревают до температуры, равной 0,68—0,76 температуры плавления алюминия, пакет деформируют осадкой с высотным обжатием 10—30 % при скорости деформации 0,005—0,75 с<sup>-1</sup> и длительности контакта слоев не менее 5 с при условии расплавления легкоплавкого покрытия прослойки в зоне контакта. 2268124 (С1). Н. Д. Лукашкин (RU), А. Н. Лукашкин (RU). Московский государственный вечерний металлургический институт (RU) [2].

**Установка для изготовления трубчатых переходников цирконий—сталь** содержит вакуумную камеру со сварочным роликовым раскатником для диффузионной сварки переходников, высокочастотный нагреватель, силовой шток-подъемник с приводом, установленным под вакуумной камерой соосно со сварочным роликовым раскатником и нагревателем, и поворотную планшайбу с равномерно расположенными по окружности посадочными гнездами для переходников, при этом посадочные гнезда выполнены с центральными отверстиями для прохода силового штока-подъемника.

Отличается тем, что она снабжена дополнительным роликовым раскатником, предназначенным для поверхностного горячего деформирования внутренней поверхности циркониевой части переходника, высокочастотным нагревателем для отжига и силовым штоком-подъемником с приводом, которые установлены на одной оси. 2268125 (С1). А. Н. Семенов (RU), В. Н. Тюрин (RU), В. П. Гордо (RU), Г. Н. Шевелев (RU). ФГУП "Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н. А. Доллежалея" (RU) [2].

**Припой, по существу не содержащий свинец, и способ его получения.** 1. Припой, по существу не содержащий свинец, содержит 91,39 % олова, 4,1 % серебра, 4,0 % индия, 0,5 % меди и 0,01 % фосфора. 2. Способ получения припоя, по существу не содержащего свинец, включает стадию смешения олова, серебра, индия, меди и фосфора таким образом, чтобы содержание олова в припое составляло 91,3 %; серебра — 4,1 %; индия — 4,0 %; меди — 0,5 % и фосфора — 0,01 %. 2268126 (С2). К. Х. Чу (SG), В. Ч. Пан (SG). "Сингапур асахи кемикал энд солдер индастриз Пи-Ти-И лтд". (SG), "Куонтум кемикал технолоджиз с-пор Пи-Ти-И Лтд". (SG) [2].

**Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла содержит**

сульфитно-спиртовую барду и воду. Отличается тем, что содержит дополнительно глицерин при следующем содержании компонентов на 1 л воды: 200—220 г сульфитно-спиртовой барды; 120—150 г глицерина. 2268127 (С2). В. Т. Федько (RU), Е. А. Зернин (RU), П. Д. Соколов (RU) и др. Томский политехнический университет (RU) [2].

**Электрод ЭА-868/20 для сварки высокопрочных сталей перлитного и аустенитного класса** состоит из металлического стержня и покрытия, содержащего мрамор, плавиковый шпат, ферротитан, ферросилиций, марганец металлический, феррованадий и жидкое стекло. Отличается тем, что металлический стержень выполнен из стали 10Х19Н2ЗГ2М5ФАТ (ЭП-868), а покрытие электрода дополнительно содержит кварцевый песок при следующем соотношении компонентов (%): 34,0—49,0 мрамора; 28,0—45,0 плавикового шпата; 3,0—5,0 кварцевого песка; 3,0—8,0 ферротитана; 2,0—5,0 ферросилиция; 2,0—8,0 марганца металлического; 2,0—6,0 феррованадия; 23,0—28,0 жидкого стекла натриевого (к массе сухой смеси). 2268128 (С1). В. А. Малышевский (RU), А. В. Баранов (RU), В. П. Леонов (RU) и др. ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей" (RU) [2].

Н. Посметная

реклама

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА

# ФОРСАЖ

INVERTER

НА ТОК

125А
160А
250А
315А
500А

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

производим поставку оборудования, аттестованного НАКС

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
РЯЗАНСКИЙ  
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД

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

ТЕХНОЛОГИЯ XXI  
сварки века

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791.01:669

**Определение основных характеристик температурного поля для оценки типа затвердевания металла шва при сварке плавлением.** Раямяки П., Кархин В. А., Хомич П. Н. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 3—7.

Предложена расчетная методика воссоздания трехмерного температурного поля по замеренной геометрии сварного шва. Тип затвердевания металла шва оценивается по скорости затвердевания и градиенту температуры на граничной поверхности сварочной ванны. Приведен пример применения методики при аргодуговой сварке меди. Ил. 7. Библиогр. 12.

УДК 620.178.3+620.194.8

**Механические характеристики сварных соединений из титана при циклическом нагружении.** Гуцин А. Н., Пачурин Г. В. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 7—10.

Установлены закономерности, связывающие механические характеристики при статическом и циклическом нагружении с механической неоднородностью и величиной зерна разупрочненного металла сварных образцов из титана. На основании анализа реализации условия равнопрочности при нагружении сварных соединений даны рекомендации для оценки усталостных характеристик по виду механической неоднородности и структурному состоянию. Приведены результаты исследований. Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. 9.

УДК 621.791:621.643.053:539.42

**Методика оценки малоциклового усталости сварных соединений на основе энергетического критерия J-интеграл.** Овчаренко Ю. Н. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 11—18.

Предлагается экспериментально-расчетная методика оценки малоциклового усталости сварных соединений двухпараметрическим критерием J-интеграл — долговечность, основанная на нелинейной механике разрушения.

При расчете J-интеграла моделируется бесконечно малая трещина в месте перехода от шва к основному металлу в направлении, перпендикулярном поверхности модели образца. Каждому значению J-интеграла, характеризующего конкретное максимальное напряженно-деформированное состояние в концентраторе напряжений при исходном состоянии металла, соответствует момент достижения предельного состояния (появления макротрещины) при переменном изгибе. Приведены результаты экспериментов. Табл. 6. Ил. 6. Библиогр. 8.

УДК 621.791.3

**Анализ критериев оценки смачивающей способности материалов при испытаниях на**

**паяемость.** Латыпова Е. Ю., Цумарев Ю. А. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 18—22.

В работе в полемической форме ставятся методические вопросы об эффективности применения принятых критериев оценки смачивающей способности. Установлено, что при расчете краевого угла смачивания через отношение высоты капли к ее радиусу обеспечивается достаточно высокая точность, соответствующая требованиям ГОСТ 23904—79. Ил. 4. Библиогр. 7.

УДК 621.791.7

**Оптимизация режима работы высокочастотных сварочных аппаратов по критерию минимума потерь.** Бардин В. М., Борисов Д. А. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 23—25.

Приведены результаты исследований по выбору оптимального диапазона рабочих частот и крутизны фронтов импульсов тока по критерию потерь в коммутирующих элементах и высокочастотном трансформаторе. Установлена зона минимальных потерь в диапазоне 35—45 кГц и длительности фронта 15—17 % от длительности импульса. Кпд аппарата с инверторным преобразователем остается примерно равным кпд аппарата, работающего на промышленной частоте, но его габаритные размеры и масса снижаются в несколько раз. Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791.05:620.179

**Дистанционный метод контроля трещин в материалах и сварных швах.** Зенин В. В., Бокарев Д. И., Козинцев О. Г. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 26—27.

Проанализированы способы регистрации и измерения длины трещины в материалах. Предложен новый способ контроля трещин в материалах и сварных швах, позволяющий повысить точность измерений, особенно в условиях длительной эксплуатации изделий, в труднодоступных участках эксплуатируемых конструкций, а также разветвленных трещин и трещин сложной формы при дистанционном контроле. Ил. 2.

УДК 621.791:624.012.454

**Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях "АЛИКС".** Кудрявцев Ю. И. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 28—32.

Разработана автоматическая линия контактной сварки "АЛИКС" для производства арматурных сеток и каркасов. Приведен сравнительный анализ затрат электроэнергии при изготовлении сеток на существующем и разработанном оборудовании. Установлено, что внедрение автоматической линии "АЛИКС" обеспечивает значительную экономию электроэнергии и трудозатрат при высокой

производительности и возможности перехода на различные типоразмеры сеток без остановов в работе оборудования. Табл. 2. Ил. 3.

УДК 621.791.92

**Плазменная наплавка (обзор).** Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 32—40.

Описаны основные способы плазменной наплавки: проволокой или прутками; по неподвижной присадке, уложенной или каким-либо образом закрепленной на наплавляемой поверхности; порошком. Отмечены преимущества и недостатки различных способов плазменной наплавки, приведены примеры их промышленного применения. Ил. 10. Библиогр. 34.

УДК 621.791.09:621.785

**Технология местной термической обработки сварных соединений реактора Р-1-201 с использованием комбинированного нагрева.** Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б. и др. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 41—42.

Проведена местная термическая обработка непосредственно в монтажных условиях сварных соединений толстостенных сосудов давления с использованием комбинированного двухстороннего нагрева: снаружи — электронагревателями сопротивления и внутри — газообразным теплоносителем от специальных теплогенераторных установок. Ил. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.791:338.45

**Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике.** Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. — Сварочное производство. 2007. № 2. С. 43—47.

Представлены данные о современном состоянии сварочного производства, рынка сварочной техники и его секторов, основных факторах, влияющих на тенденции их развития. Показана роль сварки в современной экономике, в частности приведены данные комплексного исследования вклада сварки в экономику США и Германии. Табл. 2. Библиогр. 14.

---

## Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2007, N 2

**Temperature field main characteristics determination to estimate weld metal freezing type at fuse welding.** Rayamyaki P., Karkhin V. A., Khomich P. N. P. 3—7.

Calculation procedure for simulating 3D temperature field on the measured configuration of the weld is suggested. The weld metal freezing type is estimated by the freezing time and by temperature gradient on the boundary surface of the molten bath. The suggested procedure application is illustrated by an example of argon-arc welding copper.

**Titanium welded joints mechanical properties at repeated loading.** Guschin A. N., Pichugin G. V. P. 7—10.

Regularity connecting mechanical properties at static and repeated loading to mechanical discontinuity and to lost-of-strength metal grain size of the titanium welded specimen is established. Basing on the analysis of balanced life conditions realization at welded joints loading recommendations are given to rate fatigue characteristics by the mechanical discontinuity type and structural state. Test results are given.

**Welded joints low endurance fatigue estimation procedure on the basis of the J-integral power criterion.** Ovcharenko Yu. N. P. 11—18.

Experimental-rated estimation procedure is suggested for the welded joints low endurance fatigue by

J-integral longevity two-parameter criterion. It is based on non-linear fracture mechanics. Calculating J-integral an infinitesimal crack is modelling in the weld-base metal fusion line zone perpendicular to the specimen model surface. Each value of the J-integral, specifying definite maximal stressed-strain state in the stress concentrator at the metal initial state, corresponds to the momentum of limiting state attainment (micro-crack appears) at variable bending. Test results are given.

**Analysis of the material wettability evaluation criteria at solderability tests.** Latypova Ye. Yu., Tsumarev Yu. A. P. 18—22.

Methodical problems on application effectiveness of wettability evaluation accepted criterion are raised in a polemical manner. It is established that at calculating boundary angle of wetting by correlating the dribble height to its radius a rather high accuracy is ensured, complying with the requirements of the GOST 23904—79.

**Welding apparatus operation mode optimisation according to the criterion of minimum losses.** Bardin V. M., Borisov D. A. P. 23—25.

Local thermal treatment is performed directly at assembling welded joints of thick-walled pressure vessels applying combined two-side heating: on the outside — by resistance electric heaters and on the

inside — by gas heat-transfer agent, using special heating unit.

**Crack remote control in materials and welds.** Zenin V. V., Bokarev D. I., Kozintsev O. G. P. 26—27.

Data on modern state of welding production, market of welding equipment and its sections; major factors influencing on the trends of their development is covered. Role of welding in the modern economy is shown, in particular data on complex study of weld contribution to the economics of the USA and Germany is given.

**Reinforcing fabric production power-consuming reduction at the "ALIKS" automatic transfer lines.** Kudryavtsev Yu. I. P. 28—32.

The "ALIKS" resistance welding automatic transfer line is developed to manufacture reinforcing fabric and framework. Electric power expenditures comparative analysis is carried out for fabric manufacturing both at the present equipment and at the designed one. It is established that "ALIKS" automatic line introduction enables significant saving of electric power and expenditures at high capacity and ensuring conversion to various fabric standard sizes without equipment operation stop.

**Plasma-jet hard-facing: a review.** Gladky P. V., Pereplechikov Ye. F., Ryabtsev I. A. P. 32—40.

Plasma-jet hard-facing main techniques are described: by wire or sticks; over stationary addition, laid

or fixed somehow on the faced surface; by powder. Advantages and shortcomings of plasma-jet hard-facing different techniques are covered; examples of their industrial application are given.

**The P-1-201 reactor welded joints local thermal treatment technique applying combined heating.** Babkin V. A., Lavrov A. I., Lovyrev P. B. et al. P. 41—42.

Test results on choosing optimal range of operational frequency and current impulse rate of pulse according to the criteria of losses in switching elements and h. f. transformers are covered. Zone of minimal losses is established in the range of 35—45 kHz and 15—17 % rate duration of impulse duration. Invert apparatus efficiency is approximately equal to the one of an apparatus operating on commercial frequency, but its overall dimensions and mass are less by several fold.

**Welding production and welding equipment market in modern economics.** Bernadsky V. N., Mavkovskaya O. K. P. 43—47.

Crack registration and length measuring techniques are analysed. A new control technique for cracks in materials and welds is suggested. It ensures increasing accuracy of measurements particularly in the conditions of product long-term service, in difficult-to-access sections of constructions. As well as star cracks and cracks of complicated forms at remote control.

## ВНИМАНИЕ! ИНФОРМАЦИЯ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
**«ИЭС им. Е. О. Патона»**

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ**  
Украина, Киев, 16 – 19 апреля 2007 г.

НАФТОГАЗ УКРАЇНИ  
Национальная акционерная компания «Нафтогаз Украины»

ТЗУ  
Общество сварщиков Украины

АОКО  
Ассоциация ОКО

АІАУ  
Ассоциация промышленного арматуростроения Украины

АСОЦІАЦІЯ  
Ассоциация производителей и строителей полимерных трубопроводов

При информационной поддержке журналов «Сварщик», «Автоматическая сварка», «Нефть и Газ»

Сварка. Родственные технологии — 2007

Трубопроводный транспорт — 2007

Неразрушающий контроль — 2007

Промышленная окраска и защита от коррозии — 2007

Промышленная экология — 2007

Центр трансфера технологий «ИЭС им. Е. О. Патона»  
Украина, 03150, г. Киев, ул. Горького, 66. E-mail: sv@ntk.in.ua  
Тел./факс: +38 (044) 200-8089, 287-1238; тел. +38 (044) 200-8091  
С условиями участия в выставке можно ознакомиться на сайте: [www.paton-expo.kiev.ua](http://www.paton-expo.kiev.ua)

ПАТОН ЕКСПО  
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ



www.MVK.ru

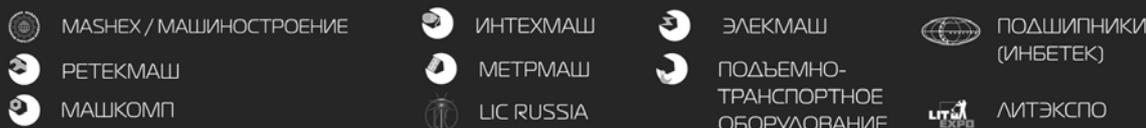
(495) 105-34-42

В РАМКАХ РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РОССИИ»

Международная специализированная выставка  
**СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**  
**29 мая – 1 июня 2007 года**  
**МВЦ «Крокус Экспо»**

WWW.SVARKA-EXPO.RU

ОДНОВРЕМЕННО ПРОЙДУТ ВЫСТАВКИ:



Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4  
Дирекция выставки: тел./факс: (495) 105-34-42, e-mail: msa@mvk.ru

Регистрация представителей  
Выставочного холдинга МВК:

МВК-ЮГ: Тел./факс: +7 (863) 234-52-45  
МВК-ВОЛГА: Тел./факс: +7 (843) 291-75-89

МВК-УРАЛ: Тел./факс: +7 (343) 371-24-76  
МВК-СЕВЕРО-ЗАПАД: Тел./факс: +7 (812) 332-15-24  
МВК-СИБИРЬ: Тел./факс: +7 (383) 225-53-17

## Организатор:

■ Выставочный  
холдинг МВК

## При поддержке:

Министерства  
промышленности  
и энергетики РФ  
Московской  
межотраслевой  
ассоциации  
главных  
сварщиков

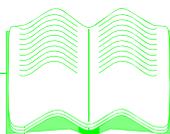
## При содействии:



## Генеральный информационный спонсор:



## Информационная поддержка:



Вышла в свет книга авторов С. Н. Жизняка и З. А. Сидлина **"Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология"** (Киев: Экотехнология, 2006. 368 с.).

В книге рассмотрены физико-металлургические процессы при РДС покрытыми электродами. Даны характеристики и классификация электродов, представлена номенклатура промышленных марок. Приведены источники питания и другое оборудование для РДС. Изложены рекомендуемые технологии сварки углеродистых, низколегированных, легированных теплоустойчивых, высоколегированных и разнородных сталей, чугуна и цветных металлов и их особенности. Рассмотрены дефекты сварных соединений и причины их образования. Освещены вопросы ремонтной сварки и контроля производства сварочных работ.

Рассчитана на инженерно-технических работников сварочного производства. Может быть полезна учащимся средних и высших технических учебных заведений, слушателям института повышения квалификации.

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

**Направляемые** в редакцию **рукописи** обязательно должны подготавливаться в полном соответствии с ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин». Объем статьи не должен превышать 15 страниц, включая список литературы, таблицы и рисунки. В конце статьи помещается аннотация (до 0,5 страницы) с кратким изложением содержания статьи.

**Статья научно-исследовательского характера должна содержать разделы: введение, исследовательскую часть, заключение.**

Статья должна быть представлена на бумажном и магнитном носителях (или направлена в редакцию по электронной почте).

При использовании **бумажного носителя** статья представляется в двух экземплярах с двумя комплектами рисунков. Текст статьи печатается четким шрифтом кеглем 12 на машинке или принтере через два интервала на одной стороне листа формата А4 (210 × 297 мм) с шириной левого поля 3,5 см. Страницы рукописи нумеруются. Рисунки выполняются черной тушью на листах белой бумаги формата не более А4. Фотографии должны быть четкими и контрастными. Ксерокопии допустимы только для второго экземпляра текста и иллюстраций. Допускаются рисунки высокой четкости и контрастности, распечатанные на лазерном принтере. Один экземпляр статьи подписывается всеми авторами.

При использовании **магнитного носителя** статья представляется на дискете 3,5" или CD R/RW (компакт-диск). Текст статьи набирается в текстовом редакторе *MS Word for Windows*. Рисунки представляются в форматах *TIFF* (желательно), *PCX* или *BMP* с разрешением 300 или 600 *dpi* для штриховых изображений и 600 *dpi* для фотографий. Кроме дискеты нужно представить распечатку статьи с подписями всех авторов.

При использовании **электронной почты** необходимо направить в адрес редакции распечатку статьи с подписями всех авторов.

Все **аббревиатуры, сокращения и условные величины** расшифровываются в тексте.

**Названия иностранных фирм и организаций** даются в транскрипции первоисточника с указанием страны.

**Уважаемые авторы!** Представляя рукопись в редакцию, Вы передаете издателью право на ее публикацию в журнале. Направление в редакцию работ, опубликованных или намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.

Материалы, не соответствующие данным требованиям, к публикации не принимаются.

Все **буквенные** или **цифровые обозначения**, приведенные на рисунках, поясняются в тексте или подрисуночной подписи.

**Латинские знаки** в формулах набираются курсивом. При написании формулы от руки **подстрочные** и **надстрочные буквы** и **цифры** размечаются с помощью знаков  $\cup$  или  $\cap$ , а **греческие и латинские буквы** обводятся красным и синим карандашом соответственно.

При компьютерном наборе рукописи **надстрочные** и **подстрочные индексы** поднимать вверх или опускать вниз соответственно (не набирать в строку).

Графы в **таблицах** должны иметь краткие заголовки. Названия граф начинают с прописной буквы. Упомянутые в заголовках величины сопровождаются соответствующими единицами измерения (в сокращенной форме).

**Список литературы** следует оформлять согласно ГОСТ 7.1—7.6. Необходимо указывать фамилию и инициалы автора, точное название книги и сборника, издательство, год и место издания, общее число страниц, а для журнальных статей — фамилии и инициалы авторов, название статьи и источника, год выхода, номер журнала и номера страниц. Ссылки на иностранную литературу даются в латинской транскрипции без сокращений.

К рукописи прилагаются **сопроводительное письмо** с просьбой о публикации и **акт экспертной комиссии**, подтверждающий, что статья **не содержит материалов, входящих в перечень сведений, отнесенных к Государственной тайне Указом Президента РФ № 1203 от 30.11.95 г., и может быть опубликована в открытой печати.**

Редакции журнала сообщаются фамилия, имя и отчество (полностью), почтовый адрес (индекс обязателен), ученая степень, должность и место работы, телефон (служебный и домашний). Дополнительно (для получения авторского гонорара) необходимо указать паспортные данные, дату рождения, место жительства (регистрации), ИНН (идентификационный номер налогоплательщика), персональный номер государственного пенсионного страхования. При отсутствии указанных данных гонорар не выплачивается.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 13.12.2006. Подписано в печать 18.01.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 9,35. Заказ 03/07.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

70807 в каталоге Агентства "Роспечать"; 27860 в Объединенном каталоге "Пресса России"; 60256 в каталоге "Почта России".