



# Сварочное производство

3 (880)  
Март

2008

**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 научно-технического сварочного общества,

Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции,

Союза машиностроителей России

**Редакционная коллегия:**

Гл. редактор **В. А. Казаков**

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

**В. К. Драгунов**

**А. И. Рымкевич**

**А. С. Зубченко**

**О. Н. Севрюков**

**Е. А. Калашников**

**З. А. Сидлин**

**В. И. Кулик**

**Н. В. Смирнов**

**В. И. Лукин**

**В. А. Судник**

**В. П. Лялякин**

**В. А. Фролов**

**Г. А. Меньшиков**

**В. А. Хаванов**

**В. Н. Панин**

**Ф. А. Хромченко**

**И. Н. Пашков**

**О. А. Цукуров**

**В. В. Пешков**

**И. Н. Шиганов**

**Редакция:**

**С. В. Богус, Л. Т. Мартыненко,**

**Т. П. Маслик**

Электронная верстка: **Т. А. Шацкая**

Дизайн обложки: **Е. С. Благовидов**

Редактор-переводчик **Е. О. Егоров**

Редактор-обозреватель **Ан. А. Суслов**

Корректор **Е. В. Комиссарова**

**Адрес редакции:**

129626, Москва, проспект Мира, 106.

**Для корреспонденции:**

129626, Москва, а/я 78,

ОАО "Издательство "Машиностроение"

(для журнала "Сварочное производство").

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

редакция — (495) 682 3856;

796 2491.

Факс: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

Журнал "Сварочное производство" переводится

на английский язык издательством

"Taylor & Francis" (Великобритания).

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

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

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

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7778.

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

Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<b>Гуревич В. И.</b> — О тепловом балансе сварочной ванны	3
<b>Черных А. В., Черных В. В.</b> — Расчет температуры электродных капель при дуговой сварке плавящимся электродом с помощью метода конечных элементов	6
<b>Потапов Н. Н., Феклистов С. И., Волобуев Ю. С.</b> — Методика выбора плавильных флюсов при сварке перлитно-ферритных сталей	8
<b>Бербасова Н. Ю., Куликов В. П., Основский В. А., Тарасенко С. И.</b> — Управление качеством сварных конструкций на основе системно-процессного моделирования	12
<b>Нафиков М. З.</b> — Методика определения сопротивления пластической деформации присадочной проволоки при электроконтактной наплавке	19
<b>Архипов В. Е., Москвитин Г. В., Поляков А. Н.</b> — Структура и свойства покрытий, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза	22

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<b>Завалихин Д. В., Фролов В. А., Федоров С. А.</b> — Опыт и перспективы разработки оборудования для сварки, пайки и термической обработки световым лучом (обзор)	26
<b>Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я., Мухаметрахимов М. Х., Руденко О. А., Сафиуллин Р. В.</b> — Контактная сварка заготовок из субмикроструктурного титанового сплава ВТ6 для изготовления многослойных ячеистых конструкций	31
<b>Михеев А. А., Прокопьев С. В.</b> — Формирование переходной зоны при диффузионной сварке пьезокерамики с металлами	35
<b>Шибалов М. В., Куфайкин А. Я.</b> — Снижение дефектности паяных швов при изготовлении форсуночной головки	37

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

<b>Будкин Ю. В.</b> — Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов в сварочном производстве	40
<b>Гришагин В. М., Нестерук Д. Н.</b> — Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ	44

### ИНФОРМАЦИЯ

<b>Суслов Ан. А.</b> — 4-я Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007"	48
<b>Батов Г. П., Бирюкова Н. П., Ермолаев А. А.</b> — 1-я Международная школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений"	54

### БИБЛИОГРАФИЯ

<b>Содержание зарубежных журналов по сварке</b>	56
<b>Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки</b>	58
<b>Рефераты опубликованных статей</b>	61



**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 Scientific-Technical Welding Society,  
Russian Union of Developers and Manufacturers of Welding Production,  
The Union of Machine Engineers of Russia

**Editorial board:**

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

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

**Editorial staff:**

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

Electron galley: *T. A. Shatskaya*  
Cover design: *E. S. Blagovidov*  
Editor-translator: *E. O. Egorova*  
Editor-reviewer: *An. A. Suslov*  
Proof-reader: *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;  
796 2491.

Fax: (495) 687 6316.

E-mail: [svarka@mashin.ru](mailto:svarka@mashin.ru)

[Http://www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)

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

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

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

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

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

Registration certificate ПИ N 77-7778.

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

## CONTENTS

### SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

<b>Gurevich V. I.</b> — Weld pool-main metal thermal interaction _____	3
<b>Chernykh A. V., Chernykh V. V.</b> — Electrode drops temperature estimate at consumable electrode arc welding by the finite elements method _____	6
<b>Potapov N. N., Feklistov S. I., Volobuyev Yu. S.</b> — Methodology of fused flux choice at pearlite-ferritic steel welding _____	8
<b>Berbasova N. Yu., Kulikov V. P., Osnovsky V. A., Tarasenko S. I.</b> — Welded construction refinement on the base of the welding engineering system modelling _____	12
<b>Nafikov M. Z.</b> — Filler wire plastic resistance determination technique at electrocontact weld deposition _____	19
<b>Arkhipov V. Ye., Moskvitin G. V., Polyakov A. N.</b> — Structure and properties of coatings conducted by the method of self-propagating high-temperature synthesis _____	22

### PRODUCTION SECTION

<b>Zavalikhin D. V., Frolov V. A., Fiodorov S. A.</b> — Designing practice and prospect of process equipment for welding, soldering and thermal treatment by the light beam of the xenon arc lamps: A Review _____	26
<b>Kruglov A. A., Loutfullin R. Ya., Mookhametrakhimov M. Kh., Roudenko O. A., Safiullin R. V.</b> — Contact welding of the BT6 submicrocrystal titanium preform for multilayered cellular constructions _____	31
<b>Mikheyev A. A., Prokopyev S. V.</b> — Interface region forming at piezoelectric ceramics-metal diffusion welding _____	35
<b>Shibalov M. V., Koufaykin A. Ya.</b> — Soldered seam imperfection reduction at sprayer head manufacturing _____	37

### ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

<b>Budkin Yu. V.</b> — Innovative production processes development mechanism and strategy in welding engineering _____	40
<b>Grishagin V. M., Nesterook D. N.</b> — Procedure of taking into account social factor at determining welding cost-efficiency _____	44

### INFORMATION

<b>Suslov An. A.</b> — The 4th Specialized exhibition of nanotechnology and materials "NTMEX—2007" _____	48
<b>Batov G. P., Biryukova H. P., Yermolayev A. A.</b> — The 1 <sup>st</sup> International seminar "Deflected mode determination and estimation of the engineering facility remaining life evaluation" _____	54

### BIBLIOGRAPHY

<b>Contents</b> of the foreign journals in the field of welding _____	56
<b>RF patents</b> , RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____	58
<b>Abstracts</b> of the published articles _____	63

УДК 621.791.01:536.2

**В. И. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук**  
**ООО "НГБ-Энергодиагностика" (Москва)**

## О тепловом балансе сварочной ванны

Опубликованная 60 лет назад работа Н. Н. Рыкалина [1], посвященная тепловым основам сварки, не утратила своей актуальности и в настоящее время. В данной работе изложена методика использования тепловых расчетов, предложенных Н. Н. Рыкалиным, для оценки теплового взаимодействия жидкой и твердой фаз при сварке плавлением.

В качестве математической модели процесса сварки рассматривается схема распространения теплоты от концентрированного источника, движущегося с большой скоростью  $v$ .

В расчетах приняты следующие допущения.

1. Размеры сварочной ванны определяются критерием Пекле  $Pe \geq 4,0$ , где  $Pe = vR/2a$  ( $R$  — радиус-вектор точек температурного поля,  $a$  — коэффициент температуропроводности металла, равный  $\lambda/c\gamma$ ,  $c\gamma$  — объемная теплоемкость металла,  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности).

2. Процесс распространения теплоты квазистационарный.

3. Теплофизические свойства металла принимаются постоянными, не зависящими от изменений температуры металла.

4. Источник теплоты на поверхности массивного тела представляет концентрированный тепловой поток, который считается точечным источником.

Полезная тепловая мощность источника

$$Q_{\text{п}} = \eta_{\text{эф}} Q_0,$$

где  $\eta_{\text{эф}}$  — эффективный КПД;  $Q_0$  — общая тепловая мощность источника.

### Быстродвижущийся точечный источник теплоты на поверхности массивного тела

Температурное поле данного источника теплоты при направлении оси  $Ox$  в сторону, противоположную направлению скорости движения источника  $v$ , определяется по формуле работы [1]

$$T = Q_{\text{п}} / 2\pi\lambda x \exp(-vr_0^2 / 4ax), \quad (1)$$

где  $r_0^2 = x^2 + y^2$ ;  $x, y$  — координаты точек температурного поля.

Сварочная ванна представляет однофазную систему, состоящую из расплавленного металла с изотермической граничной поверхностью

$$T = T_{\text{пл}} = \text{const}.$$

Через эту поверхность нагретый до температуры плавления металл поступает в сварочную ванну и через нее же осуществляется теплоперенос от жидкого металла в твердый за счет теплопроводности.

На рисунке приведена изотерма плавления основного металла концентрированным источником теплоты.

Теплосодержание расплавленного металла сварочной ванны состоит из двух составляющих: теплосодержания нагретого до температуры плавления основного металла  $S_1'$  и теплосодержания перегретого выше температуры плавления расплавленного основного металла  $S_2'$ .

Из формулы (1) определим

$$r_0^2 = 4ax/v \ln(Q_{\text{п}} / 2\pi\lambda T_{\text{пл}} x). \quad (2)$$

Количество теплоты нагретого до температуры плавления металла в сечении  $F(x)$

$$q = \pi r_0^2 / 2vc\gamma T_{\text{пл}}. \quad (3)$$

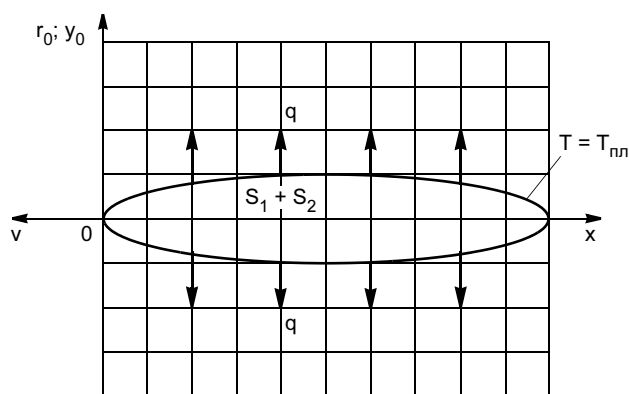


Схема тепловых потоков в основном металле

Подставляя значение  $r_0^2$  из формулы (2) в формулу (3), получим

$$q(x) = 2\pi\lambda T_{\text{пл}} x \ln(Q_{\text{п}}/2\pi\lambda T_{\text{пл}} x). \quad (4)$$

Определим длину сварочной ванны, используя формулу (1), при  $r_0 = 0$ :

$$L = Q_{\text{п}}/2\pi\lambda T_{\text{пл}}. \quad (5)$$

Подставляя значение  $L$  из формулы (5) в формулу (4), получим

$$q(x) = Q_{\text{п}} x/L \ln(L/x). \quad (6)$$

Обозначим  $x/L = m$  и в результате замены переменной получим

$$q(m) = Q_{\text{п}} m \ln(1/m). \quad (7)$$

Для сечения  $F(m_1)$ , соответствующего максимальной ширине сварочной ванны, где  $dr_0/dx = 0$ , получим  $m_1 = 1/e$ .

В данном сечении

$$q(m_1) = Q_{\text{п}} 1/e = 0,368 Q_{\text{п}}.$$

Откуда термический КПД равен 0,368 [1].

Для определения первой составляющей общего теплосодержания сварочной ванны  $S'_1$  проинтегрируем уравнение (7) в пределах от 0 до 1:

$$S'_1 = Q_{\text{п}} \int_0^1 m \ln(1/m) dm = 0,25 Q_{\text{п}}.$$

Вторую составляющую общего теплосодержания сварочной ванны вычислим путем решения обратной задачи теплопроводности.

Как известно, прямая задача теплопроводности заключается в определении температурного поля в твердом теле при помощи частных решений дифференциального уравнения теплопроводности Фурье при заданных граничных условиях.

Обратная задача теплопроводности заключается в определении действующих тепловых потоков в твердом металле при заданном температурном поле.

Дифференциальное уравнение Фурье для боковой поверхности сварочной ванны

$$Dq = -\lambda dT/dr_0 dF, \quad (8)$$

где  $Dq$  — элементарный тепловой поток от сварочной ванны в основной металл;  $dT/dr_0$  — градиент температур на граничной поверхности сварочной ванны;  $dF$  — элементарная площадь боковой поверхности сварочной ванны, равная  $\pi r_0 dx$ .

Тогда из выражения (8) получим

$$Dq(x) = -\lambda \pi r_0 dT/dr_0 dx. \quad (9)$$

Определим из формулы (1)

$$dT/dr_0 = -v r_0 / (2ax) T_{\text{пл}}$$

и, подставив полученное значение в формулу (9) совместно с  $r_0^2$  из выражения (2) при  $T = T_{\text{пл}}$ , получим

$$Dq(x) = 2\pi\lambda T_{\text{пл}} / (Q_{\text{п}}) x Q_{\text{п}} \ln(Q_{\text{п}}/2\pi\lambda T_{\text{пл}} x) dx. \quad (10)$$

Обозначив

$$L = Q_{\text{п}}/2\pi\lambda T_{\text{пл}}; \quad (11)$$

$$m = x/L; \quad (12)$$

$$dm = dx/L, \quad (13)$$

подставим в выражение (10):

$$Dq(m) = Q_{\text{п}} \ln(1/m) dm.$$

Количество теплоты в каждом поперечном сечении сварочной ванны определяется разностью

$$Q_{\text{ак}}(m) = Q_{\text{п}} - q(m),$$

где  $q(m)$  — тепловая энергия, отводимая от сварочной ванны на участке ее длины от 0 до  $m$ .

Значение  $q(m)$  определим по формуле

$$q(m) = \int_0^m Q_{\text{п}} \ln(1/m) dm = Q_{\text{п}} (m - m \ln(m)).$$

Тепловую энергию в сечении  $F(m)$  можно представить в виде

$$q_{\text{ак}}(m) = Q_{\text{п}} (1 + m \ln(m) - m). \quad (14)$$

Вторую составляющую общего теплосодержания сварочной ванны определим из выражения (14) после интегрирования  $q_{\text{ак}}(m)$  в пределах от 0 до 1:

$$S'_2 = Q_{\text{п}} \int_0^1 (1 + m \ln(m) - m) dm = 0,25 Q_{\text{п}}.$$

Таким образом, общее среднее теплосодержание сварочной ванны

$$S'_0 = S'_1 + S'_2 = 0,25 Q_{\text{п}} + 0,25 Q_{\text{п}} = 0,5 Q_{\text{п}}.$$

Общее теплосодержание сварочной ванны можно представить в виде трех взаимосвязанных величин: теплосодержания расплавленного основного металла при температуре его плавления; теплосодержания расплавленного присадочного или электродного металлов при их температурах плавления и теплосодержания перегретого выше температуры плавления металла сварочной ванны.

Полученные расчетные формулы для  $S'_1$  и  $S'_2$  позволяют оценить предельные значения температуры сварочной ванны и максимально допустимую производительность плавления электродного и присадочного металлов.

Если сварка происходит без применения присадочного или электродного металла, то вся теплота перегрева сварочной ванны  $S'_2$  будет затрачиваться на повышение ее температуры. Максимальная

температура сварочной ванны в этом случае будет равна  $T = 2T_{пл}$  [2].

При средней температуре сварочной ванны, равной температуре плавления, вся теплота перегрева может быть использована для поддержания в расплавленном состоянии электродного и присадочного металлов. В этом случае максимальная производительность плавления электродного и присадочного металлов

$$M_{осн} = M_{пр} = 0,25Q_n/L_{пл},$$

где  $L_{пл}$  — удельное теплосодержание основного, электродного и присадочного металлов при  $T = T_{пл}$ .

При этом максимальная площадь наплавленного металла будет равна площади проплавления

$$F_{напл}/F_{пр} = 1.$$

Аналогичные расчеты могут быть выполнены для линейного быстро движущегося источника теплоты в пластине без поверхностной теплоотдачи.

### Быстродвижущийся линейный источник теплоты в пластине без поверхностной теплоотдачи

Температурное поле линейного источника теплоты [1]

$$T = Q_n/\delta \sqrt{4\pi\lambda c\gamma v x} \exp(-vy_0^2/4ax). \quad (15)$$

Определим из уравнения (15)  $y_0$  при  $T = T_{пл}$ :

$$y_0 = (4ax/v \ln(Q_n/T_{пл}\delta(4\pi\lambda c\gamma v x)^{1/2}))^{1/2}. \quad (16)$$

Количество теплоты в поперечном сечении  $F(x)$ , нагревающей его до температуры плавления,

$$q_{пл} = 2y_0\delta v c\gamma T_{пл}. \quad (17)$$

Подставляя значение  $y_0$  в выражение (17) и обозначив

$$\sqrt{L} = Q_n/T_{пл}\delta \sqrt{4\pi\lambda c\gamma v}; \quad (18)$$

$$m = x/L, \quad (19)$$

получим

$$q_{пл}(m) = Q_n \sqrt{2m/\pi \ln 1/m}. \quad (20)$$

Подставив в формулу (20) значение  $m = 1/e$ , получим

$$q_{пл}(m) = Q_n(2/\pi e)^{1/2} = 0,484Q_n.$$

Отсюда следует, что термический КПД линейного источника теплоты равен 0,484.

Первую составляющую общего теплосодержания сварочной ванны для линейного источника те-

плоты получим после интегрирования уравнения (20) в пределах от 0 до 1:

$$S_1'' = Q_n \sqrt{2/\pi} \int_0^1 (m \ln 1/m)^{1/2} dm. \quad (21)$$

После численного интегрирования уравнения (21) получим

$$S_1'' = 0,8Q_n.$$

Вторая составляющая общего теплосодержания сварочной ванны линейного источника определяется из расчета отводимого от боковой поверхности сварочной ванны количества теплоты:

$$Dq(x) = -\lambda dT_{пл}/dy_0 2\delta dx; \quad (22)$$

$$dT/dy_0 = -vy_0 T_{пл}/2ax. \quad (23)$$

Преобразуя выражение (22) с учетом формул (23) и (16), получим

$$Dq(x) = \lambda T_{пл} \delta v / ax \times \\ \times (4ax/vx \ln(Q_n/T_{пл}\delta \sqrt{4\pi\lambda c\gamma v x}))^{1/2} dx. \quad (24)$$

Подставляя выражения (18)—(20) в формулу (24), получим

$$Dq(m) = Q_n / \sqrt{2\pi} (1/m \ln 1/m)^{1/2} dm. \quad (25)$$

Проинтегрировав уравнение (25) в пределах от 0 до  $m$ , получим количество отводимой теплоты от каждого поперечного сечения сварочной ванны:

$$q(m) = Q_n / \sqrt{(2\pi)} \int_0^m (1/m \ln(1/m))^{1/2} dm.$$

Количество теплоты в сварочной ванне

$$q_{ак}(m) = Q_n \int_0^1 dm \left[ 1 - 1/\sqrt{(2\pi)} \int_0^m (1/m \ln 1/m)^{1/2} dm \right].$$

Вторая составляющая

$$S_2'' = \int_0^1 dm \left[ 1 - 1/\sqrt{(2\pi)} \int_0^m (1/m \ln 1/m)^{1/2} dm \right]. \quad (26)$$

После численного интегрирования уравнения (26) получим

$$S_2'' = 0,19Q_n.$$

Общее теплосодержание сварочной ванны в этом случае  $S_2'' = 0,38Q_n + 0,19Q_n = 0,57Q_n$ .

Максимальная температура сварочной ванны при отсутствии присадочного металла в этом случае составит  $T = 1,5T_{пл}$ .

Максимальная производительность плавления электродного и присадочного металлов

$$M_{пр} = 0,19Q_n/L_{пл},$$

где  $L_{пл}$  — удельное теплосодержание присадочного или электродного металла при температуре плавления.

Соотношение между максимальной площадью наплавленного металла и площадью проплавления

$$F_{напл}/F_{пр} = 0,5.$$

## ВЫВОДЫ

1. Полученные расчетные формулы позволяют определить общее теплосодержание сварочной ванны при действии мощных быстро движущихся источников теплоты.

2. При помощи приближенных тепловых расчетов определена максимальная температура сварочной ванны и предельные значения производительности процесса наплавки, а также соотношения между максимальными площадями наплавленного металла и проплавления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыкалин Н. Н. Тепловые основы сварки. М.: АН СССР, 1947.
2. Гуревич В. И. Приближенный метод расчета температуры сварочной ванны // Сварочное производство. 1982. № 2. С. 20—21.

УДК 621.791.75

**А. В. ЧЕРНЫХ, канд. техн. наук, В. В. ЧЕРНЫХ, канд. физ.-мат. наук**  
**Воронежский государственный архитектурно-строительный университет**

# Расчет температуры электродных капель при дуговой сварке плавящимся электродом с помощью метода конечных элементов

Общую тепловую мощность сварочной дуги легко регулировать изменением тока, но возможность перераспределения теплоты дуги между изделием и электродом ограничена [1].

В работе [2] приведены данные о том, что доля теплоты, поступившей на электрод, независимо от способа и режима сварки составляет приблизительно 30 % мощности дуги. Кроме того, известно [2], что при плавлении электрода электродный металл не сразу переходит в сварной шов. Часть расплавленного металла (30—40 %) в момент отрыва капли от электрода остается на его торце, что снижает КПД процесса расплавления, приводит к перегреву капли и ухудшению теплопроводности от дуги к твердому металлу электрода [3]. Вместе с тем от тепловой обстановки внутри капли зависят характер каплепереноса, устойчивость процесса, разбрызгивание ме-

талла, формирование шва, интенсивность металлургических процессов и в конечном итоге — качество шва.

Рассмотрим два случая теплопроводности через каплю расплавленного электродного металла: активное пятно сварочной дуги находится в нижней точке капли и активное пятно охваты-

вает всю свободную поверхность капли. Ниже приведено решение одномерной и двумерной задачи при условии симметричности капли.

На рис. 1 приведены в системе координат  $XOY$  электрод (диаметром 2 мм) и капля (диаметром 3 мм), а также указаны значения температуры плавления  $T_{пл}$  на торце электрода и температуры кипения  $T_{кип}$  в нижней точке капли. Данные взяты из работ [2, 4]. Распределение температуры описывается уравнением Лапласа

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Для этой задачи приведем два варианта граничных условий распределения температур в капле в соответствии с двумя случаями теплопроводности. Первый вариант: линейное распределение температуры по координате  $y$  от температуры плавления

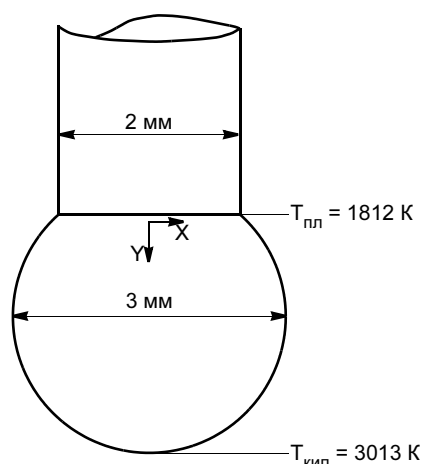


Рис. 1. Схема расчетной модели

$T_{пл}$  на торце электрода до температуры кипения  $T_{кип}$  в активном пятне сварочной дуги. Второго варианта: на поверхности капли поддерживается температура кипения, а на торце электрода — температура плавления.

В первом варианте граничных условий уравнение (1) сводится к одномерному случаю

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Интегрируя это уравнение с учетом граничных условий, получим в общем виде следующее соотношение для оценки распределения температуры в капле:

$$T(y) = \frac{T_{кип} - T_{пл}}{y_{кип} - y_{пл}} (y - y_{пл}) + T_{пл}, \quad (3)$$

где координата  $y_{пл}$  соответствует торцу электрода, а  $y_{кип}$  — нижней точке капли.

Для проверки модели выполняли численный расчет с помощью метода конечных элементов (МКЭ) [5]. Область (капля), где рассматривается решение уравнения (1), разбивали на треугольные элементы. Число конечных элементов составило 1642, а общее число узлов — 868.

На рис. 2, а приведено распределение температуры в капле, полученное с помощью МКЭ,

$y$ , мм	0,279	0,584	0,889	1,194	1,499	1,805	2,110	2,415
$T$ , К	1940	2080	2220	2360	2500	2640	2780	2920

для первого варианта граничных условий (линейное распределение температуры по координате  $y$  на поверхности капли).

Из рис. 2 и таблицы, где представлены рассчитанные значения температуры по соотношению (3) следует, что получено хорошее соответствие результатов аналитического и численного решений поставленной задачи. В таблице приведены значения координаты изотермы по оси  $y$  и значения соответствующей температуры. В принятой системе координат  $y_{пл} = 0$  и  $y_{кип} = 2,62$  мм.

На рис. 2, б приведено распределение температуры в капле для второго варианта граничных условий. Видно, что температурное поле в сечении капли значительно изменилось и характеризуется существенной неоднородностью.

Используя полученные результаты, оценим среднюю температуру каплей, отрывающихся от торца электрода и переходящих в сварной шов. При этом будем учитывать, что часть расплавленного металла (30—40 %) в момент отрыва остается на торце электрода [2, 4].

Для случая, когда активное пятно находится в нижней точке капли, отрыв с учетом остающейся части будет происходить между изотермами с температурами от 2200 до 2300 К. Тогда средняя температура оторвавшейся капли будет равна 2600—2650 К.

В случае, когда активное пятно охватывает всю свободную поверхность капли, отрыв произойдет в сечении между изотермами с температурами 2500 — 2600 К. Средняя температура оторвавшейся капли будет равна 2750 — 2800 К.

Расчетные данные о средних температурах оторвавшихся от электрода капель хорошо согласуются с экспериментальными результатами, полученными в работе [2].

## ВЫВОД

Полученное с помощью метода конечных элементов распределение температуры в сечении капли расплавленного электродного металла при механизированной сварке под флюсом хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.
2. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.
3. Жданов Г. С. Физика твердого тела. М.: МГУ, 1962. 397 с.
4. Болдырев А. М., Биржев В. А., Черных А. В. Особенности плавления электродного металла при сварке во внешнем продольном магнитном поле // Сварочное производство. 1991. № 5. С. 28—30.
5. Норри Д., Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1981. 304 с.

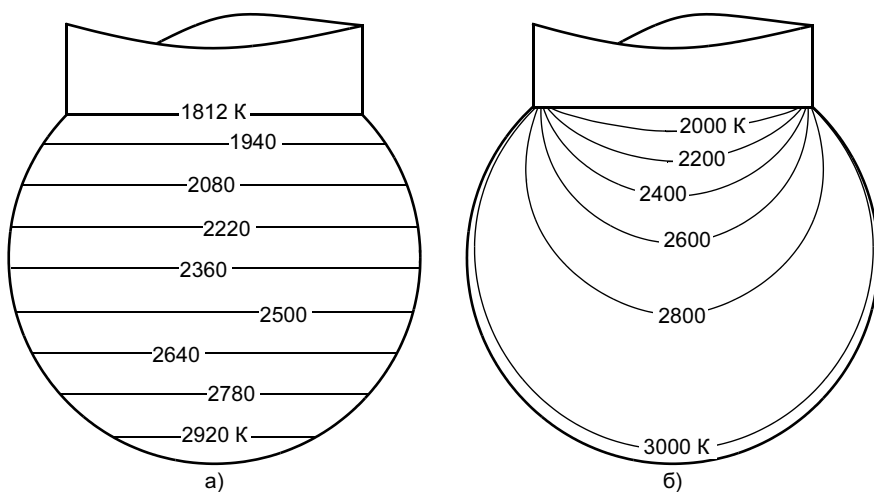


Рис. 2. Распределение температуры в капле: а — первый вариант; б — второй

**Н. Н. ПОТАПОВ, д-р техн. наук, С. И. ФЕКЛИСТОВ, д-р техн. наук,  
Ю. С. ВОЛОБУЕВ, канд. техн. наук  
ОАО "НПО ЦНИИТМАШ"**

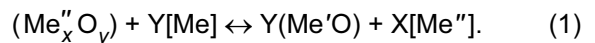
## Методика выбора плавящихся флюсов при сварке перлитно-ферритных сталей

Производитель сварных конструкций из низко- и среднелегированных сталей часто становится перед выбором: какой марки использовать плавящийся флюс, особенно в тех случаях, когда применяется новая сталь. В условиях новой рыночной экономики, как правило, выбор падает на относительно дешевые марки плавящихся флюсов, такие как АН-348А и ОСЦ-45, т. е. флюсы широкого спектра применения. Однако им свойственны низкие характеристики пластичности и особенно ударной вязкости при отрицательных температурах.

Действительно, чем выше степень легирования перлитной стали, тем чувствительнее сталь к степени загрязнения ее серой, фосфором, и особенно кислородом [1], присутствующим в основном в виде неметаллических оксидных включений (рис. 1).

Температурный режим в сварочной ванне — подъем температуры до максимума в головной ее части с последующим спадом в хвостовой — приводит к тому, что в различных участках ванны наряду с процессами одного направления протекают и обратные процессы. В частности, при наличии во флюсе-шлаке относительно термически неустойчивых оксидов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и др.) между жидким металлом и шлаковой основой флюса протекают реакции взаимодействия, являющиеся реакциями

вытеснения одного элемента из шлака в металл другим, например:



Скорость протекания обратных процессов в низкотемпературной части сварочной ванны ниже скорости прямых процессов в головной ее части. Этим и объясняется тот факт, что количество прореагировавшего вещества при прямом процессе оказывается больше, чем при обратном. Поэтому в затвердевшем металле наблюдается прирост или дефицит того или иного элемента.

В большей части марок сварочных флюсов кремний и марганец являются основными компонентами, поскольку способствуют улучшению сварочно-технологических свойств сварочного флюса. Однако приведенные оксиды термически неустойчивы при температурах сварочной ванны. В связи с этим между флюсом-шлаком и металлом основными окислительно-восстановительными реакциями являются кремне- и марганцевосстановительные процессы.

Восстановление кремния и марганца из флюса-шлака сопровождается приростом кислорода в металле шва, определяемого методом вакуум-плавки [1]:

$$\Delta[\text{O}] = 0,13\Delta[\text{Si}] + 0,036\Delta[\text{Mn}], \quad (2)$$

где  $\Delta[\text{Si}]$ ,  $\Delta[\text{Mn}]$  — прирост в металле шва кремния и марганца соответственно, %.

На основании уравнения (2) построена номограмма, позволяющая определять содержание кислорода в металле в зависимости от прироста в нем кремния и марганца (рис. 2). Чем выше содержание кислорода в металле шва, определенного методом вакуум-плавки, тем ниже пластические свойства металла (рис. 3). Наиболее значительное влияние на ударную вязкость оказывает содержание кислорода в металле при отрицательных температурах (рис. 4).

Кроме оксидов кремния и марганца на содержание кислорода в металле шва определенное влияние оказывают оксиды титана и алюминия, входящие в состав флюса. В связи с этим в работе [2]

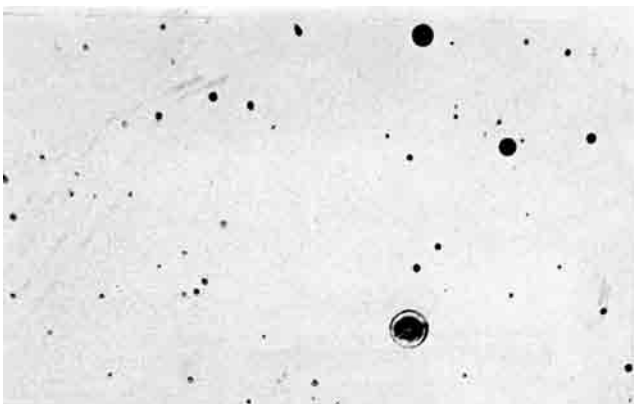


Рис. 1. Общий вид неметаллических оксидных включений в металле шва, выполненного под кремнемарганцовистым флюсом ОСЦ-45 в светлом поле микроскопа.  $\times 500$



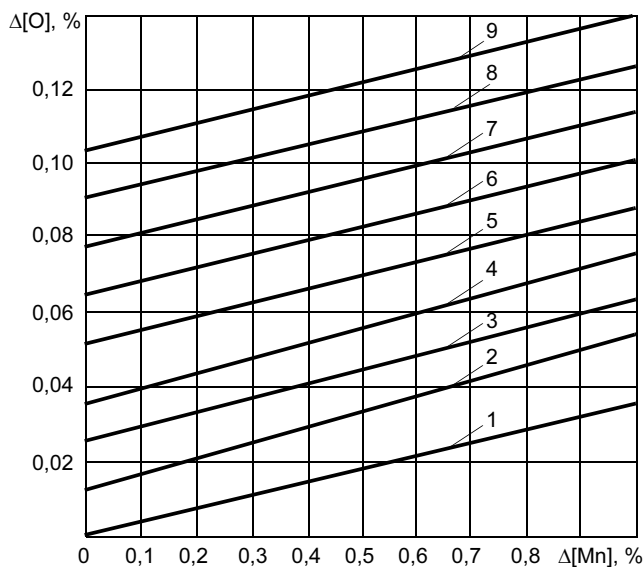


Рис. 2. Зависимость прироста кислорода в металле шва от содержания кремния и марганца при восстановлении их из флюса-шлака: 1—9 —  $\Delta[\text{Si}]$  соответственно 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7 и 0,8 %

предложен обобщенный коэффициент химической активности флюсов:

$$A_{\text{ф}} = \frac{(\text{SiO}_2) + 0,5(\text{TiO}_2) + 0,4(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0,42B^2(\text{MnO})}{100B}, \quad (3)$$

где  $(\text{SiO}_2)$ ,  $(\text{TiO}_2)$  и др. — содержание в флюсе оксидов, %;  $B$  — основность флюса, определяемая по формуле

$$B = \frac{0,018\text{CaO} + 0,015\text{MgO} + 0,006\text{CaF}_2 + 0,014(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) + 0,007(\text{MnO} + \text{FeO})}{0,017\text{SiO}_2 + 0,005(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Zr}_2\text{O}_2)}, \quad (4)$$

где  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaF}_2$  и т. д. — содержание компонентов в флюсе, %.

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями низко- и среднелегированные стали более чувствительны к общему содержанию кислорода:

$$\Sigma[\text{O}] = m[\text{O}]_g + n[\text{O}]_o + [\text{O}]_p + [\text{O}]_{\text{вкл}}, \quad (5)$$

где  $m$ ,  $n$  — количество расплавленной электродной проволоки и основного металла, отнесенное к единице металла шва;  $[\text{O}]_p$ ,  $[\text{O}]_{\text{вкл}}$  — содержание кислорода, растворенного в металле и во включениях, %.

Чувствительность низко- и среднелегированных сталей к общему содержанию кислорода возрастает пропорционально суммарному содержанию легирующих элементов, от которого зависит запас пластичности матрицы стали. Если учесть, что действие легирующих элементов подчиняется

закону аддитивности, можно определить коэффициент влияния каждого элемента на пластичность в сопоставлении, например, с действием углерода [3]:

$$C_3 = C + \frac{\text{Mn}}{4} + \frac{\text{Si}}{3} + \frac{\text{Cr}}{10} + \frac{\text{Ni}}{16} + \frac{\text{Mo}}{18} + \frac{\text{Cu}}{6} + \frac{\text{Ti}}{2}, \quad (6)$$

где  $C$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Cr}$  и т. д. — содержание легирующих элементов, %.

Обработка данных работ К. В. Любавского, А. М. Макары, В. В. Подгаецкого, Б. С. Касаткина и других исследователей позволила установить максимально допустимую активность флюса, определяемую по выражению (3) в зависимости от

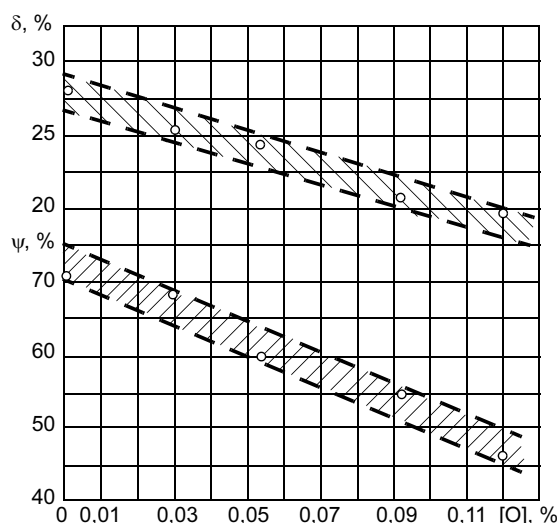


Рис. 3. Зависимость относительного удлинения и относительного сужения металла шва при многопроходной сварке стали 16 ГНМА от содержания кислорода, определенного методом вакуум-плавки

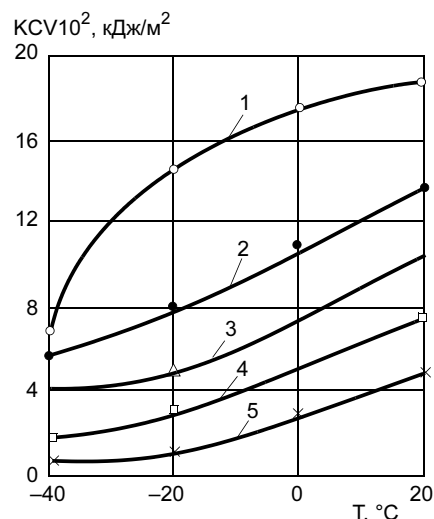


Рис. 4. Зависимость ударной вязкости металла швов, выполненных при сварке стали 15X2HMФА под флюсами с различной химической активностью, от температуры испытания: 1—5 — содержание кислорода в металле шва равно 0,03, 0,04, 0,0045, 0,05 и 0,08 % соответственно

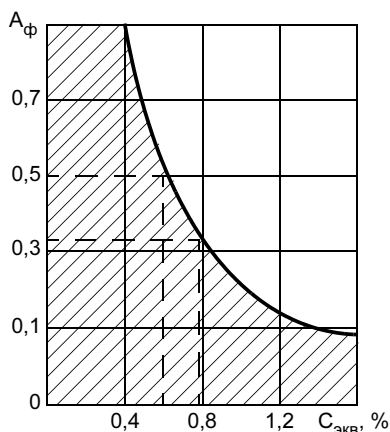


Рис. 5. Зависимость химической активности флюса от уровня легирования свариваемого металла (при скорости охлаждения шва 2,3 °С/с, заштрихованная область — рекомендуемые значения)

эквивалента углерода, определяемого по формуле (6), для сохранения уровня ударной вязкости  $KCV \geq 100$  Дж/см<sup>2</sup> при 18—20 °С (рис. 5).

Приведенная диаграмма может служить основанием для выбора флюса по подсчитанной химической активности и углеродному эквиваленту. При этом следует учитывать, что коэффициенты в вы-

ражении (6) установлены для скорости охлаждения шва 2,3 °С/с.

Составы флюсов и рассчитанные их химические активности  $A_\phi$  приведены в табл. 1 (ГОСТ Р 52222—2004).

Ниже приведены примеры подбора металлургических свойств флюса с помощью коэффициента химической активности  $A_\phi$  применительно к сталям с различной степенью легирования.

*Пример 1.* Многослойную сварку стали 22К выполняли сварочной проволокой Св-10Г2. При многослойной сварке в U-образную разделку доля участия основного металла мала и ею можно пренебречь, поэтому за исходное содержание химических элементов принят состав сварочной проволоки. Средний химический состав сварочной проволоки Св-10Г2 (%): 0,08 С; не более 0,07 Si; 1,7 Mn; при этом  $C_3 = 0,08 + 0,015 + 0,4 = 0,49$ .

Исходя из данных диаграммы на рис. 5 для сварки стали 22К проволокой Св-10Г2 можно применять флюсы всех марок с химической активностью  $A_\phi \leq 0,5$ .

Механические характеристики металла шва, полученного при сварке с помощью проволоки Св-10Г2 диаметром 5 мм под флюсом ФВТ-1 ( $A_\phi = 0,44$ ) (отпуск при 620 °С в течение 15 ч), приведены в табл. 2.

Таблица 1

Флюс	Содержание основных компонентов, %											Химическая активность флюса $A_\phi$
	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	S	P	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	
									Не более			
АН-348А	40—44	31—38	<12	<7	3—6	<13	0,5—2,2	—	0,12	0,12	—	0,76—0,80
ОСЦ-45	37—44	37—44	3—10	<3	5—9	<13	0,5—2,2	—	0,11	0,10	—	0,68—0,72
АН-42	30—35	14—19	12—18	—	14—20	13—18	<1,0	—	0,05	0,07	—	0,56—0,60
АН-47	26—33	11—18	13—17	6—10	8—13	9—15	<1,0	—	0,05	0,07	—	0,38—0,42
АН-60	40—46	36—41	3—10	<3,0	5—9	<6	—	4—7	0,05	0,07	—	0,88—0,92
АН-67А	12—16	14—18	<10	—	11—16	35—40	<1,0	4—7	0,05	0,05	0,5—2,5	0,41—0,44
АНЦ-1А	35—45	25—40	5—18	<8	3—8	<13	<2,5	—	0,09	0,10	—	0,66—0,70
ФВТ-1	31—35	8—11	2—6	19—24	8—12	17—22	<1,0	—	0,05	0,05	<2,5	0,48—0,52
ФЦ-9	38—41	38—41	<8	8—11	28—35	19—23	<1,5	—	0,10	0,10	—	0,78—0,82
ФЦ-11	23—27	6—9	<8	8—11	28—35	19—23	<1,0	—	—	—	<1,0	0,38—0,42
ФЦ-16	26—32	3—6	15—21	6—9	12—18	17—21	<1,0	—	0,05	0,05	—	0,36—0,40
ФЦ-21	17—21	9—13	40—14	2—5	32—40	15—20	<2,0	—	0,02	0,02	—	0,23—0,27
АН-15М	6—10	<0,9	29—33	<2,0	16—20	36—40	<0,8	—	0,07	0,05	—	0,10—0,14

Таблица 2

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное сужение $\Psi$ , %	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при температуре, °С	
				20	—40
				465	312
470	320	70	33	138	78
475	336	75	35	156	92

Таблица 3

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное сужение $\Psi$ , %	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при температуре, °С	
				20	—40
				525	340
540	355	73	32	16	42
548	370	75	35	20	47

Следует отметить, что при сварке с использованием флюса АН-348А с химической активностью  $A_{\text{ф}} = 0,78$  при анализе идентичных механических характеристик получают значительно худшие результаты.

*Пример 2.* Многослойную сварку стали 09Г2С выполняли сварочной проволокой Св-08Г2С. Как и в первом примере, полагаем, что исходное содержание элементов в металле шва — состав сварочной проволоки.

Средний химический состав сварочной проволоки Св-08Г2С (%): 0,08 С; 0,75 Si; 1,8 Mn; при этом  $C_{\Sigma} = 0,08 + 0,25 + 0,45 = 0,78$ .

Исходя из данных диаграммы на рис. 5 для сварки стали 09Г2С проволокой Св-08Г2С можно использовать флюсы с химической активностью  $A_{\text{ф}} \leq 0,35$ .

Механические характеристики металла шва, полученного при сварке с помощью проволоки Св-08Г2С диаметром 5 мм под флюсом ФЦ-16 ( $A_{\text{ф}} = 0,36$ ) (отпуск при 650 °С в течение 15 ч), приведены в табл. 3.

Из приведенных данных следует, что и во втором примере получены вполне удовлетворительные значения механических характеристик и ударной вязкости.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика позволяет просто оценить металлургические свойства сварочных плавящихся флюсов с помощью показателя химической активности при сварке углеродистых и низкоуглеродистых сталей.

2. Результаты расчетов химической активности сварочных флюсов хорошо коррелируют с данными по содержанию общего кислорода в металле швов, а также с пластичностью и ударной вязкостью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Потапов Н. Н.* Основы выбора флюсов при сварке сталей. М.: Машиностроение, 1979. 169 с.
2. *Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие / Под ред. Н. Н. Потапова.* М.: Машиностроение, 1989. Т. 1. 544 с.
3. *Бельчук Г. А.* Сварные соединения в корпусных конструкциях. Л.: Судостроение, 1969. 279 с.

**21-24.05.2008**  
**Санкт-Петербург**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА ПО СВАРКЕ,  
РЕЗКЕ И РОДСТВЕННЫМ  
ТЕХНОЛОГИЯМ**

**INTERNATIONAL  
WELDING  
EXHIBITION**

**Lenexpo**  
+7 812 321 2631/2722  
[www.welding.lenexpo.ru](http://www.welding.lenexpo.ru)

Публикуется на правах рекламы

**Н. Ю. БЕРБАСОВА**, канд. техн. наук, **В. П. КУЛИКОВ**, д-р техн. наук  
(Белорусско-Российский университет, Могилев),  
**В. А. ОСНОВСКИЙ**, инж., **С. И. ТАРАСЕНКО**, инж.  
(Производственное республиканское унитарное предприятие  
"Минский автомобильный завод")

## Управление качеством сварных конструкций на основе системно-процессного моделирования

Актуальные задачи идентификации, прослеживаемости, описания, сбора и аналитической обработки информации о сварочных процессах и продукции могут быть решены на основе применения CALS-технологий, позволяющих создать единое информационное пространство для управления сварочным производством.

Процесс формирования качества сварных конструкций (СК) можно разбить на следующие стадии:

- исследование и разработка новых форм и методов расчета сварных конструкций и технологий их изготовления;
- перспективное планирование качества СК;
- конструкторско-технологическая подготовка производства;
- производство СК;
- контроль качества СК;
- анализ по видам и результатам несоответствий;
- разработка корректирующих и улучшающих действий.

Сварочное производство машиностроительного комплекса Республики Беларусь оснащено современным оборудованием, в нем используются прогрессивные технологии, имеются квалифицированные кадры. Однако изготавливаемые СК по качеству уступают лучшим мировым аналогам. Решение данной задачи в сложившихся экономических условиях невозможно без внедрения на предприятиях, имеющих развитое сварочное производство, системы менеджмента качества. Стандарты ИСО 3834 устанавливают требования к системе менеджмента качества сварочного производства (СМК СП) с учетом принципов, заложенных в стандарте ИСО 9001—2000, но в них не раскрываются возможности процессно-ориентированного моделирования процессов.

Важнейшими элементами менеджмента качества являются акцент на процесс, принятие решений на основе фактов и непрерывное улучшение. Следовательно, задача формирования отдельного процесса системы менеджмента качества (СМК)

сводится к определению оптимальных критериев его функционирования и степени соответствия фактических критериев эталонным или базовым.

Проблеме процессного подхода применительно к сварочному производству в рамках СМК как в республике, так и за рубежом посвящено незначительное число работ, в связи с чем данная область остается недостаточно изученной и перспективной с точки зрения ее разработки [1, 2].

Стандарты ИСО 9000 относят сварку к специальным процессам, т. е. процессам, результаты которых нельзя в полной мере проверить последующим контролем и испытанием продукции. В этих случаях соответствие СК установленным требованиям достигается регулированием и улучшением процессов, которое возможно только на основе их постоянного мониторинга и анализа.

Согласно СТБ ИСО 9001—2001, процесс — это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы [3].

Суть процессного подхода можно проиллюстрировать в виде схемы (рис. 1).

Преобладающий функциональный подход предполагает, что все задачи выполняются в рамках функций, которые самодостаточны, независи-

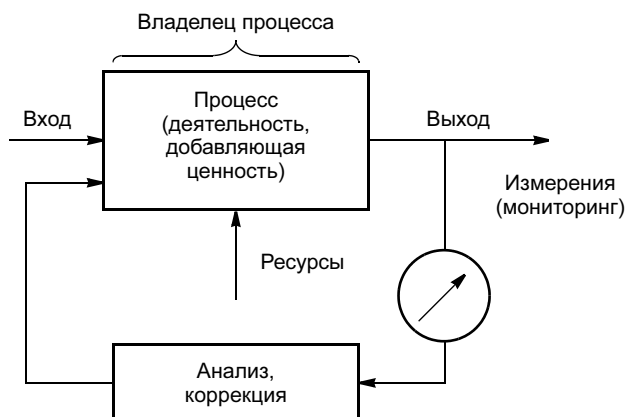


Рис. 1. Схема процессного подхода

мы друг от друга по своей сути, в результате чего и задачи между собой практически не связаны. Это приводит к ситуации, когда на предприятии никто не отвечает за так называемые "сквозные процессы", пронизывающие всю его структуру и проходящие через несколько функциональных подразделений (конструкторское бюро, технологическое бюро сварки, сварочные производства и др.), преследуя свои узкоспециализированные цели. Процессный подход предполагает перенос центра тяжести с функции на процесс, что интегрирует все операции, предпринимаемые организацией, для удовлетворения данного конкретного потребителя.

Применение процессного подхода для повышения эффективности управления сварочным производством позволяет:

- выявлять проблемные зоны жизненного цикла СК при построении модели процесса в нотации "как есть". В результате создания модели процессов в нотации "как есть" составляется перечень изменений в работе предприятия;

- просто и наглядно интерпретировать циклы сварочного производства, что повышает его отслеживаемость и обеспечивает прозрачность информационных потоков по его функционированию;

- выделять зоны ответственности и рабочие зоны, что облегчает формулировку требований к персоналу сварочного производства, претендующему на выполнение определенной работы;

- определять точки контроля и критические точки сварочных работ за счет декомпозиции процессов.

В связи с применением процессного подхода в мировой практике менеджмента качества применяются различные методологии визуализации процессов [3]:

- диаграмму последовательности (Flow chart);

- сетевой график (Activity Network Diagram);

- диаграмму процесса принятия решения (Process Design Program Chart);

- кросс-функциональные диаграммы последовательности (Cross-Functional Flow chart);

- функциональное моделирование IDEF0;

- диаграмму потоков данных DFD (Data Flow Diagram) в двух нотациях: Гейна-Сарсона и Йордана-де-Марко;

- диаграмму потоков работ (Work Flow Diagram) и др.

По мнению авторов, более эффективной методологией для описания процессов сварочного производства является IDEF0. Эта методология приведена в рекомендациях ТК РБ 4.2-Р-05—2001 и используется для функционального моделирования в рамках CALS-технологий.

Анализ СМК предприятий Республики Беларусь с развитым сварочным производством показал, что сварка в ее рамках не выделяется в отдельный процесс, что затрудняет его "прозрачность" и управляемость. Возможность применения процессного подхода для управления качеством сварочного производства демонстрирует СМК РУП "МАЗ".

На РУП "МАЗ" с 2000 г. сертифицирована и функционирует СМК, в которой выделены 14 процессов. Анализ процессов РУП "МАЗ" в модели "как есть" показал следующее:

- сборочно-сварочные работы, несмотря на их значительную долю в общей трудоемкости, не выделяются в отдельный "горизонтальный процесс" и не подвергаются детальному мониторингу;

- не идентифицированы входы и выходы процессов производства сварных конструкций, что снижает эффективность их мониторинга.

Как следствие, снижена эффективность управляемости сварочным производством, имеют место повторы несоответствий технологического процесса, увеличены затраты на качество.

На рис. 2 приведена сеть процессов сварочного производства в модели "как надо", выполненная с применением методологии структурно-функционального моделирования IDEF0.

Процесс "Производить сварные конструкции" (A8.1) декомпозирован на четыре подпроцесса 1-го уровня: "Проектировать СК" (A81.1), "Производить сборочно-сварочные работы" (A81.2), "Контролировать качество" (A81.3) и "Осуществлять мониторинг и улучшение процессов СМК СП" (A81.4). Каждый из подпроцессов 1-го уровня детализирован путем декомпозиции на подпроцессы 2-го уровня и т. д. Такое представление сварочного производства позволяет четко представить входы и выходы процессов для их последующего мониторинга; закрепить за каждым процессом его владельца, который несет ответственность за его результативность и эффективность; идентифицировать потребность в материальных, информационных и трудовых ресурсах.

Для оценки результативности процессов сварочного производства и отслеживания ее динамики на основе сети процессов в модели "как надо" разработана система мониторинга (см. таблицу). Из таблицы следует, что система позволяет сделать "прозрачными" и оцениваемыми основные факторы, влияющие на качество СК. Анализ показателей в динамике позволит сконцентрировать действия и ресурсы на "постоянное улучшение" по тем позициям, которые нуждаются в первоочередном реинжиниринге.

Система построена следующим образом: подпроцессы первого уровня оцениваются локальными показателями  $L$  посредством интегрирования с помощью коэффициентов значимости. Эффективность процесса "Производить сварные конструкции" оценивается комплексированным показателем  $K$  с применением коэффициентов относительной значимости подпроцессов, рассчитанных по методике попарных сравнений частных критериев [4]. Комплексированный показатель позволяет оценить один из главных принципов СМК — постоянное улучшение, основанное на фактах.

Комплексированный показатель эффективности с учетом полученных коэффициентов веса рассчитывают по формуле

$$K = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^a X_i^I Y_i^I m\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^b X_i^{II} n\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^c X_i^{III} Y_i^{III} k\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^d X_i^{IV} f\right)^2}{\sum_{i=1}^a (Y_i^I m)^2 + \sum_{i=1}^b (Y_i^{II} n)^2 + \sum_{i=1}^c (Y_i^{III} k)^2 + \sum_{i=1}^d (Y_i^{IV} f)^2}}$$

где  $a, b, c, d$  — число групп свойств в процессах А8.1.1, А8.1.2, А8.1.3, А8.1.4 соответственно;  $m, n, k, f$  — коэффициенты относительной весомости процессов А8.1.1, А8.1.2, А8.1.3, А8.1.4 соответственно;  $X_i^I$  и  $Y_i^I$ ,  $X_i^{II}$  и  $Y_i^{II}$ ,  $X_i^{III}$  и  $Y_i^{III}$ ,  $X_i^{IV}$  и  $Y_i^{IV}$  — оценка и весомость  $i$ -й группы свойств в процессе А8.1.1; А8.1.2; А8.1.3 и А8.1.4 соответственно.

Результаты расчета оценки процессов и комплексированной оценки эффективности СМК СП РУП "МАЗ" представлены в виде циклограмм (рис. 3). Циклограмма позволяет наглядно идентифицировать состояние СМК СП,

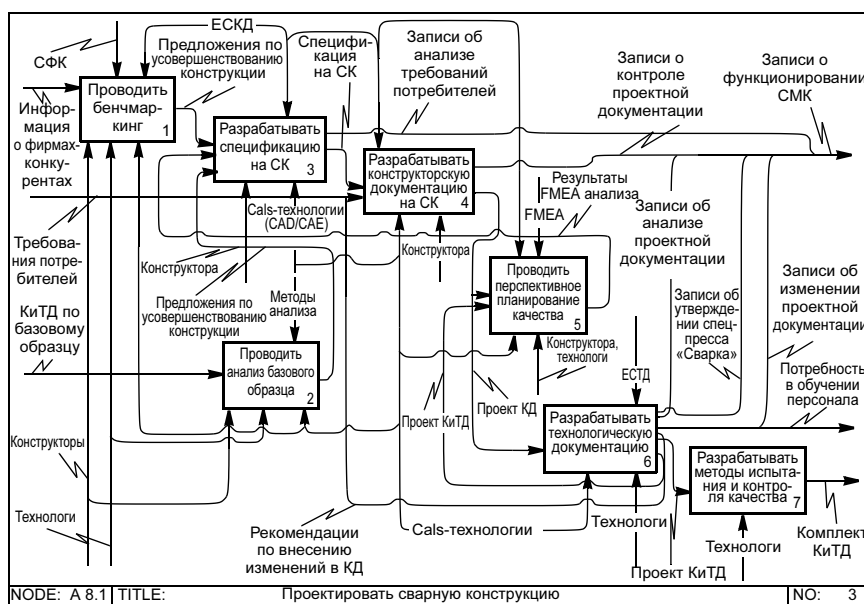
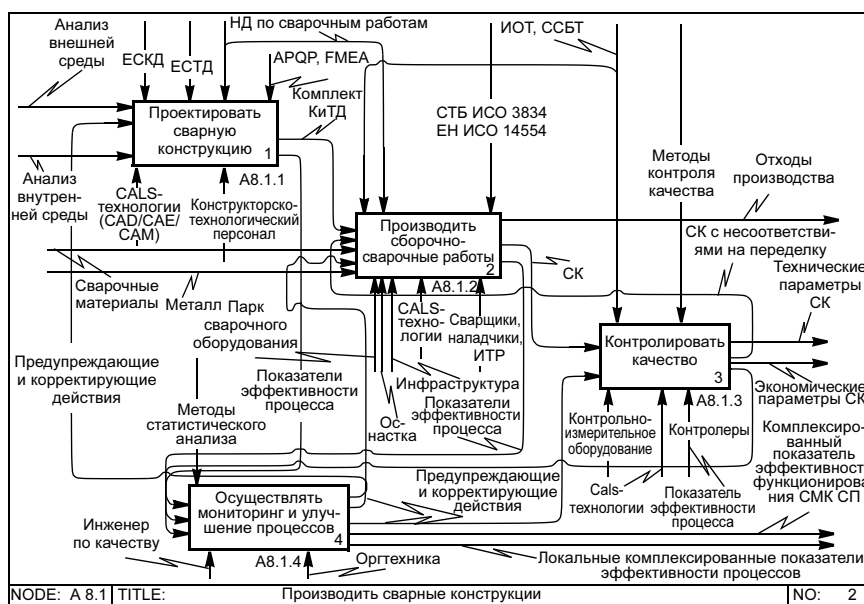
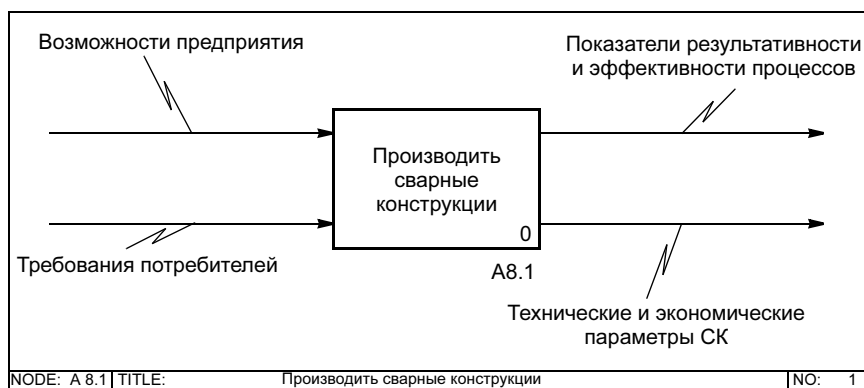
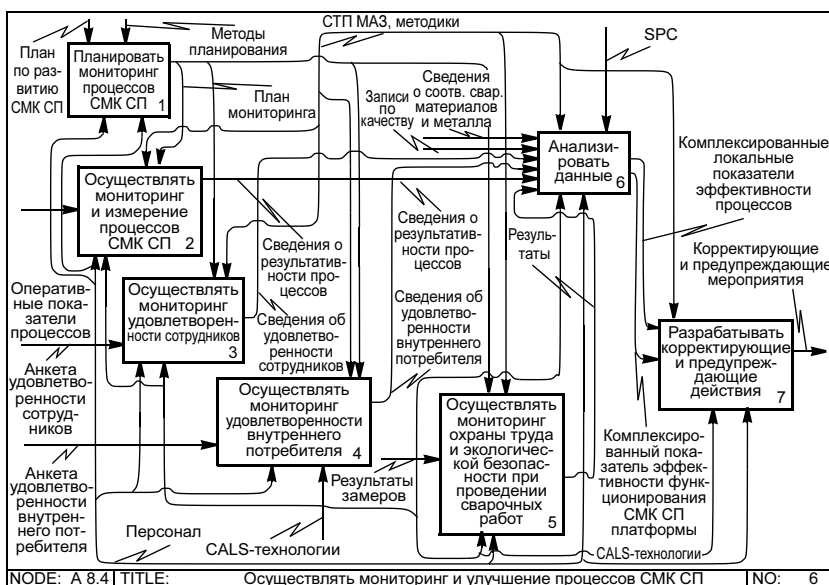
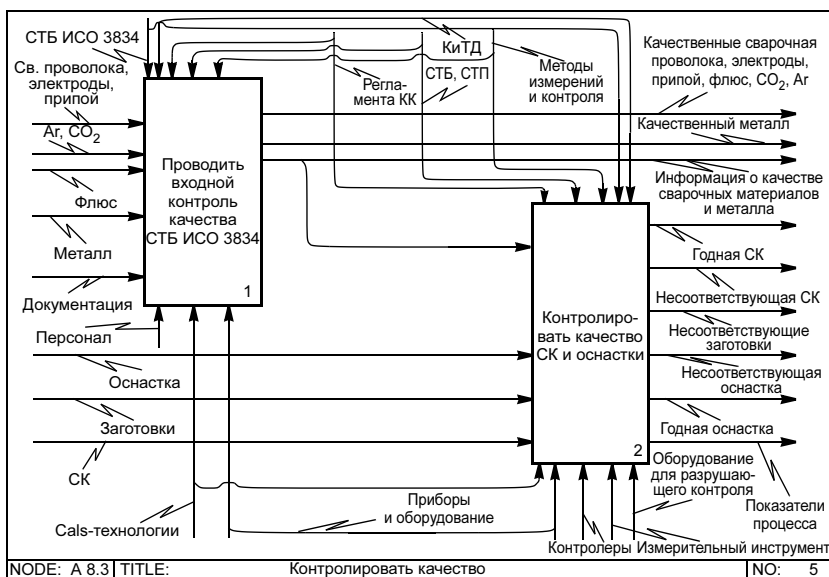
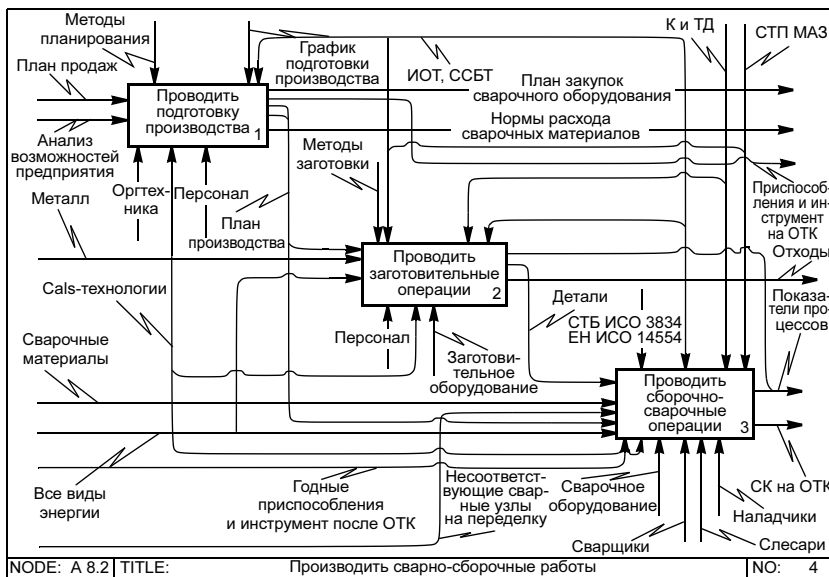


Рис. 2. Функциональная модель процесса "Производить сварные конструкции" в методологии IDEF0



Окончание рис. 2

нивать эффективность СМК СП предприятия как в целом, так и по его отдельным составляющим за различные периоды, а также с другими аналогичными предприятиями, со среднестатистическими данными по отрасли, эталонным и запланированным уровнями, определять наиболее эффективные направления инновационной деятельности с целью повышения качества сварочного производства.

Отслеживание динамики показателей положительно скажется на технологической дисциплине, связях с потребителем, стабильности производства, позволит четко выявить те звенья технологического процесса, которые подлежат немедленному регулированию.

Анализируя информацию, полученную в ходе мониторинга, можно сделать следующие выводы:

- недостаточно уделяется внимания бенчмаркингу, т. е. оценке достижений конкурентов в области проектирования, производства и использованию их опыта при улучшении сварных элементов автомобилей;
- на предприятии не ведутся работы по составлению карт технического уровня, что не позволяет оперативно сравнивать характеристики производимой техники с зарубежными аналогами по типам номенклатурных показателей;
- сварочное оборудование имеет низкий показатель по возрастному составу и прогрессивности, что увеличивает затраты на планово-предупредительный ремонт и обслуживание (расход электроэнергии, запасные части, оплата ремонта и др.);
- неоптимальная возрастная структура кадрового потенциала сварочного производства;
- результаты контроля качества не подвергаются мониторингу

Процесс	Относительная весомость процесса	Группа свойств	Весомость группы свойств $Y_i$	Показатель свойств	Весомость показателя свойства $r_i$	Значение показателя свойства $A_i$	Комплексированный показатель свойств $X_i$	Локальный комплексированный показатель процесса $L$	Комплексированный показатель результативности процесса "Производить сварные конструкции" $K$
А81.1	$n = 0,270$	1. Нормативная документация	$Y_1' = 0,229$	Ведения карт технического уровня	0,05	0	$X_1' = 0,710$	$L' = 0,690$	$K = 0,650$
				ЕСКД	0,25	0,63			
				ЕСТД	0,19	0,68			
				НД по сварочным работам	0,21	0,70			
		2. Внешняя и внутренняя среда	$Y_2' = 0,315$	Документации по СМК	0,30	0,90	$X_2' = 0,660$		
				Анализа требований потребителей	0,45	0,75			
				Анализа базового образца Бенчмаркинга	0,32 0,23	0,67 0,20			
		3. Конструктивно-технологический персонал	$Y_3' = 0,456$	Квалификации	0,40	0,87	$X_3' = 0,760$		
				Возрастного состава	0,10	0,53			
А81.2	$m = 0,350$	1. Парк сварочного оборудования	$Y_1'' = 0,172$	Наличия образования в области сварки	0,35	0,60	$X_1'' = 0,420$	$L'' = 0,720$	$K = 0,650$
				Текущей кадры	0,05	0,95			
				Переподготовки и повышения квалификации	0,10	1,00			
		2. Производственный персонал (сварщики)	$Y_2'' = 0,183$	Прогрессивности	0,45	0,30	$X_2'' = 0,750$		
				Загруженности	0,18	0,55			
				Возрастного состава	0,37	0,50			
		3. Сварочные материалы	$Y_3'' = 0,183$	Квалификации	0,43	0,79	$X_3'' = 0,900$		
				Стажа работы	0,27	0,73			
				Возрастного состава	0,13	0,50			
4. Производственная инфраструктура	$Y_4'' = 0,143$	Текущей кадры	0,07	0,82	$X_4'' = 0,700$				
		Переподготовки и повышения квалификации	0,10	0,90					
		Использования	0,32	0,85					
				Контролируемости	0,42	0,67			
				Сертифицированности	0,36	1,00			
				Эргономики помещений	0,32	0,60			
				Санитарно-гигиенического состояния рабочих мест	0,35	0,82			
				Слаженности работы по обеспечению производства	0,33	0,65			



Процесс	Относительная весовая способность процесса	Группа свойств	Весомость группы свойств $Y_i$	Показатель свойств	Весомость показателя свойства $r_i$	Значение показателя свойства $A_i$	Комплексированный показатель группы свойств $X_i$	Локальный комплексированный показатель процесса $L$	Комплексированный показатель результативности процесса "Производить сварные конструкции" $K$	
А81.2	$m = 0,350$	5. Удовлетворенность работников	$Y_5^{\text{II}} = 0,139$	Удовлетворенности заработной платой	0,40	0,57	$X_5^{\text{II}} = 0,660$	$L^{\text{II}} = 0,720$	$K = 0,650$	
				Удовлетворенности отношением руководства	0,13	0,67				
				Удовлетворенности решением социально-бытовых вопросов	0,27	0,70				
		6. Технология сборки и сварки	$Y_6^{\text{II}} = 0,180$	Удовлетворенности условиями труда	0,12	0,77	$X_6^{\text{II}} = 0,850$			
				Удовлетворенности отношениями внутри коллектива	0,08	0,73				
				Прогрессивности	0,23	0,70				
А81.3	$k = 0,186$	1. Контрольно-измерительное оборудование	$Y_1^{\text{III}} = 0,280$	Обновляемости	0,17	0,80	$X_1^{\text{III}} = 0,710$	$L^{\text{III}} = 0,695$	$K = 0,650$	
				Качества разработки К и ТД	0,20	0,80				
				Состояния дисциплины	0,27	0,98				
		2. Дефектность	$Y_2^{\text{III}} = 0,405$	Обеспеченности К и ТД	0,13	1,00	$X_2^{\text{III}} = 0,620$			
				Обеспеченности	0,30	0,67				
				Прогрессивности	0,30	0,20				
А81.4	$f = 0,185$	3. Контролирующий персонал	$Y_3^{\text{III}} = 0,315$	Обеспечения надежности измерений	0,40	0,98	$X_3^{\text{III}} = 0,860$	$L^{\text{IV}} = 0,200$	$K = 0,650$	
				Уровня потерь от брака по вине сварки	0,35	0,30				
				Уровня возмещения убытков по вине сварки	0,31	0,30				
		3. Контролирующий персонал	$Y_3^{\text{IV}} = 0,500$	Сдачи СК с первого предъявления	0,38	0,70	$X_3^{\text{IV}} = 0,007$			
				Стажа работы	0,40	0,80				
				Квалификации	0,60	0,90				
А81.4	$f = 0,185$	$Y_2^{\text{IV}} = 0,200$	$Y_3^{\text{IV}} = 0,300$	1. Показатель результативности			$X_2^{\text{IV}} = 0,000$	$L^{\text{IV}} = 0,200$	$K = 0,650$	
				2. Показатель применения статистических методов управления качеством						$X_3^{\text{IV}} = 0,600$
				3. Показатель автоматизации процесса мониторинга						

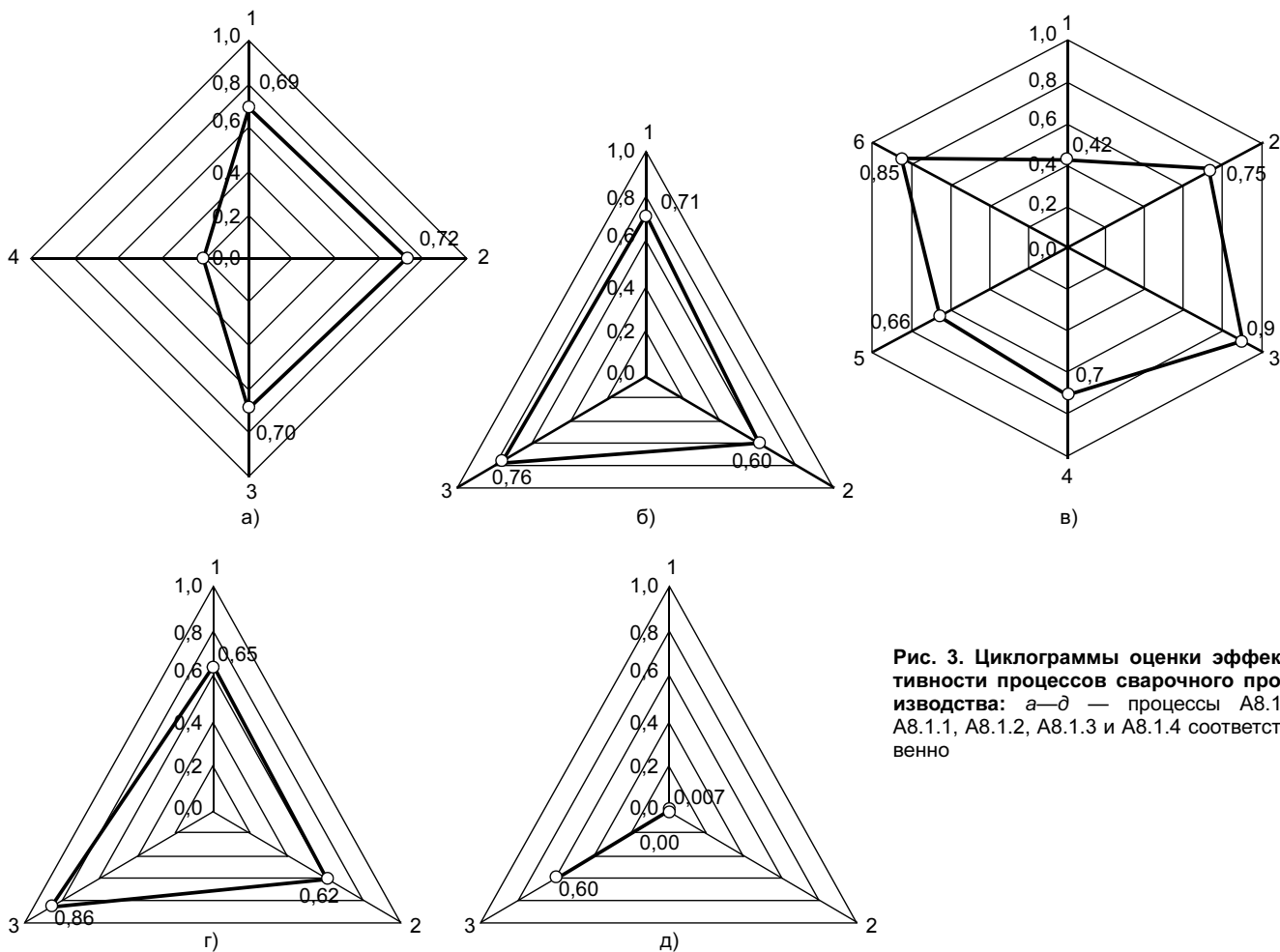


Рис. 3. Циклограммы оценки эффективности процессов сварочного производства: а—д — процессы А8.1, А8.1.1, А8.1.2, А8.1.3 и А8.1.4 соответственно

гу, вследствие чего наблюдается повторение несоответствий;

— вследствие отсутствия модели процессов сварочного производства и детального мониторинга отсутствует анализ его результативности.

Таким образом, улучшение управления сварочным производством РУП "МАЗ" основано на процессном подходе с последующим мониторингом входов и выходов процессов, что ведет к повышению системности, способности быстро и адекватно реагировать на внешние воздействия и в конечном итоге улучшению качества сборки и сварки СК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бербасова Н. Ю., Основский В. А. Повышение качества сварочной продукции на основе создания интегрированных систем управления процессами // Вестник Могилевского государственного технического университета. 2006. № 1. С. 18—23.
2. Серенков П. С., Ленкевич О. А., Курьян А. Г. Методика описания процессов системы менеджмента качества сварочного производства с использованием современных информационных технологий // Сварка и родственные технологии. Проблемы и пути повышения качества. Минск, 2005. С. 13—20.
3. Релин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению: моделирование бизнес-процессов. М.: Стандарты и качество, 2005. 404 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 223 с.



*Уважаемые читатели!*

Оформить подписку на свой профессиональный журнал  
"СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"

Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

#### Подписные индексы:

- 70807 — в каталоге Агентства "Роспечать";
- 27860 — в Объединенном каталоге;
- 60256 — в каталоге "Почта России".

**М. З. НАФИКОВ, канд. техн. наук**  
**Башкирский государственный аграрный университет**

## Методика определения сопротивления пластической деформации присадочной проволоки при электроконтактной наплавке

### ВВЕДЕНИЕ

При электроконтактной наплавке (ЭКН), являющейся одним из видов сварки давлением, прочность сцепления покрытия с основным металлом детали во многом зависит от интенсивности нагрева и деформации присадочной проволоки [1, 2]. Поэтому при разработке технологических процессов восстановления изношенных деталей данным способом необходимо знать температуру нагрева и сопротивление пластической деформации присадочного металла для конкретных условий процесса. Имеющихся в научно-технической литературе сведений о состоянии присадочной стали в момент осадки проволоки явно недостаточно.

В работе [1] приведены некоторые ориентировочные значения пределов текучести присадочного металла при наплавке, однако не указан источник их происхождения и отсутствует методика определения. В работе [3] приведены методики определения сопротивления пластической деформации и температуры нагрева присадочного металла, основанные на весьма упрощенной модели термомеханического цикла, представляемой в форме

металлического цилиндра, разогреваемого импульсом постоянного тока. Ряд других допущений и упрощений, принятых в этой работе, по мнению автора, также существенно искажает действительную картину процесса.

### Формирование металлопокрытия при ЭКН валов

На рис. 1 приведена схема формирования металлопокрытия. К наплавляемому валу 4 роликом 1 прижимается стальная присадочная проволока 2, которая при прохождении импульса тока разогревается и осаживается. По мере пластической деформации проволоки растут размеры контактных площадок со стороны вала 5 и со стороны ролика 7 между присадочным металлом и валом и роликом соответственно. Осадка заканчивается из-за увеличения отвода теплоты через контактные площадки. В первую очередь деформируются более разогретые объемы металла проволоки, поэтому считается [1], что к концу термомеханического цикла осадки температура присадочного материала в зоне деформации выравнивается. В результате наплавки по винтовой линии с шагом  $S$  формируется сплошное металлопокрытие 6. В присадочном металле выделена элементарная призма 3. Радиус наплавляемого вала  $R_1$ , радиус ролика  $R_2$ , диаметр проволоки  $d$ . Осадка проволоки со стороны вала  $t_1$  существенно больше осадки  $t_2$  со стороны ролика, так как  $R_2 \gg R_1$ . Ширина элементарной призмы  $f$ , ее положение определяются углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

### Параметры деформации присадочной проволоки

В работе [4] показано, что толщину металлопокрытия  $\delta$  при наплавке с перекрытием смежных сварных валиков целесообразно определять по осевой деформации присадочной проволоки после ее наплавки на исследуемом режиме<sup>1</sup>:

$$\delta = \frac{\pi d^2}{4S(1 + \varepsilon_\gamma)}, \quad (1)$$

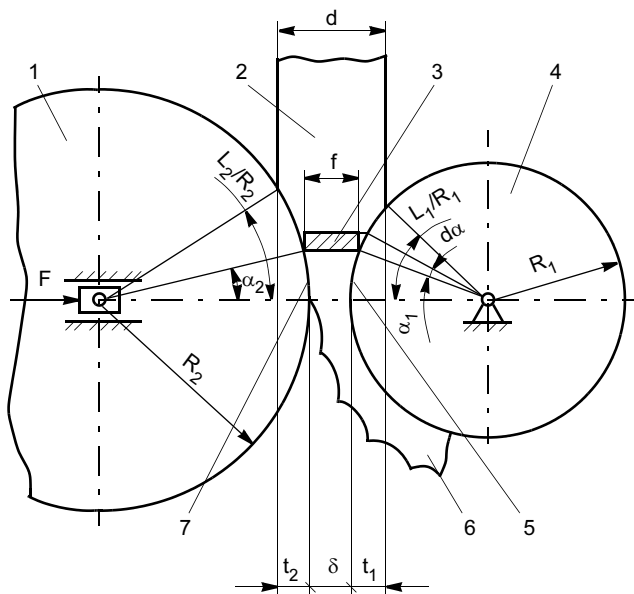


Рис. 1. Схема формирования металлопокрытия при ЭКН

<sup>1</sup> Патент 2220829 (РФ).

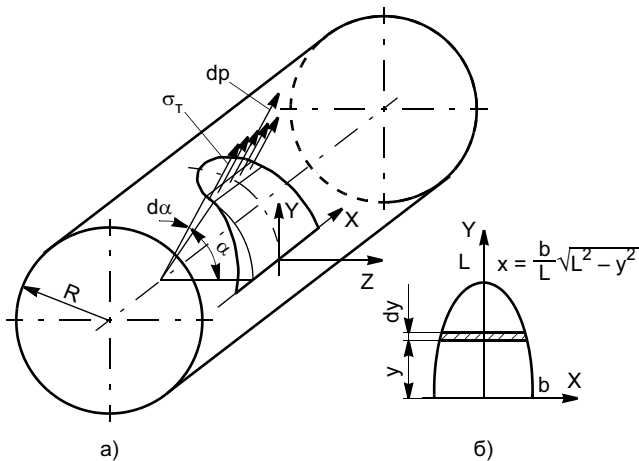


Рис. 2. Контактная площадка между валом и присадочным металлом: а — напряжения на выделенном элементе; б — развертка контактной площадки

где  $\varepsilon_Y$  — относительная осевая деформация присадочной проволоки, равная  $(L_B - L_{пр})/L_{пр}$  ( $L_B$  — длина наплавленного сварного валика,  $L_{пр}$  — длина проволоки, затраченной на его формирование).

Определенное по выражению (1) значение  $\delta$  является средней толщиной металлпокрытия. При ЭКН контактные площадки наносятся по длине валика с большим перекрытием, достигающим 0,7—0,8 [4], и на поверхности вала формируется очень ровное покрытие с незначительной "чешуйчатостью"<sup>2</sup>. Поэтому отклонения значений толщин сварных валиков от среднего значения  $\delta$  пренебрежимо малы.

На рис. 2 приведена контактная площадка между наплавляемым валом и присадочным металлом. Такую же контактную площадку образует деформированная присадочная проволока и с цилиндрической рабочей поверхностью наплавляющего ролика. Развертки контактных площадок (рис. 2, б) близки по форме к полуэллипсам [4, 5]. Полуосями таких фигур являются половина ширины наплавленного валика  $b$  и длины контактных дуг  $L_1$  и  $L_2$  соответственно с валом и роликом.

На выделенный элемент контактной площадки, являющийся боковой гранью элементарной призмы на рис. 1, со стороны вала и инструмента действует давление  $p$ . С некоторыми допущениями [6] можно принять, что в момент завершения осадки присадочной проволоки это давление равно сопротивлению пластической деформации присадочного металла  $\sigma_T$  при одноосном напряженном состоянии. Методика<sup>2</sup> определения геометрических размеров контактных площадок приведена в работе [4].

<sup>2</sup> Патент 2263565 (РФ).

## Сопротивление пластической деформации присадочного металла

Согласно работе [4], проекции равнодействующих элементарных сил  $dp$  давления на присадочный металл со стороны вала и ролика на горизонтальную ось  $Y$  (направление усилия на ролике  $\bar{F}$ ) равны<sup>2</sup>

$$F = 2p \frac{bR_{1,2}^2}{L_{1,2}} \int_0^{L_{1,2}/R_{1,2}} \sqrt{(L_{1,2}/R_{1,2})^2 - \alpha^2} \cos \alpha d\alpha.$$

Отсюда можно выразить искомую характеристику присадочного металла — сопротивление пластической деформации в конце осадки проволоки:

$$\sigma_T = p = FL_1 / \left( 2bR_1^2 \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha^2} \cos \alpha d\alpha \right). \quad (2)$$

## Зависимость характеристики упругости металла от температуры его нагрева

Непосредственное измерение температуры нагрева присадочного металла, например термометрами, в условиях ЭКН связано со значительными трудностями. Обычно перед наплавкой в проволоке сверлят поперечное отверстие, в которое помещают микротермопару. При наплавке в момент осадки присадочной стали под действием усилия наплавляющего ролика термопара часто разрушается.

Известно, что сопротивление пластической деформации  $\sigma_T$  зависит от температуры нагрева металла. В работе [7] приведена следующая зависимость предела текучести от температуры нагрева металла при контактной сварке углеродистых сталей:

$$\sigma_T = \sigma_{T0} (1 - T/T_{пл})^2, \quad (3)$$

где  $\sigma_{T0}$  — предел текучести металла в холодном состоянии;  $T$  — температура нагрева, °С;  $T_{пл}$  — температура плавления стали.

Известны также эмпирические формулы для определения предела текучести в зависимости от температуры и химического состава стали. Например, при горячей прокатке используют формулу Эклеленда [6]:

$$\sigma_T = (140 - 0,1T)(1,4 + C + Mn + 0,3Cr), \quad (4)$$

где  $C$ ,  $Mn$ ,  $Cr$  — содержание в стали углерода, марганца, хрома, %.

Данная формула применима для сталей с содержанием  $Mn$  и  $Cr$  не более 1 и 2—3 % соответственно при температуре не ниже 800 °С.

## Эксперименты и обсуждение их результатов

В данной работе для определения значений  $\sigma_T$  и температуры нагрева присадочного металла по предлагаемым методикам проводили эксперименты. Выполняли наплавку валов диаметром 50 мм из стали 45 (ГОСТ 1050—88) с применением наплавляющего ролика диаметром 300 мм проволокой Нп-65 (ГОСТ 10543—75) диаметром 1,8 мм. Химический состав присадочной проволоки, %: 0,6—0,7 С, 0,25 Cr, 0,5—0,8 Mn, 0,17—0,37 Si, 0,25 Ni, < 0,04 S, < 0,04 P. Значения окружной скорости вращения детали  $v_0$ , длительности импульсов тока  $t_{и}$ , длительности пауз между импульсами  $t_{п}$  поддерживали оптимальными и соответственно равными 0,025 м/с, 0,04 с, 0,08 с [8]. Изменяли значение действующего тока наплавки  $I$  в пределах от 4,5 до 7,5 кА, усилие на ролике  $F$  — от 1,3 до 1,7 кН. После каждой наплавки определяли<sup>2</sup> относительное удлинение присадочной проволоки  $\varepsilon_{\gamma}$ , параметры деформации и размеры контактных площадок по методике работы [4], затем по зависимости (2) — предел текучести  $\sigma_T$ , а по формулам (3) и (4) — температуру нагрева присадочного металла.

По результатам экспериментов построены зависимости (рис. 3). Анализ результатов показывает, что с ростом усилия на ролике снижается предел текучести присадочного металла. При высоких значениях  $F$  снижаются переходные сопротивления в контактах вал — проволока и проволока — ролик, что в свою очередь уменьшает тепловыделение в очаге деформации. Для получения равных пластических деформаций давление на менее разогретый присадочный металл должно быть выше, чем на более горячий. Этим и объясняется снижение сопротивления пластической деформации присадочной стали по мере уменьшения усилия на ролике при наплавке.

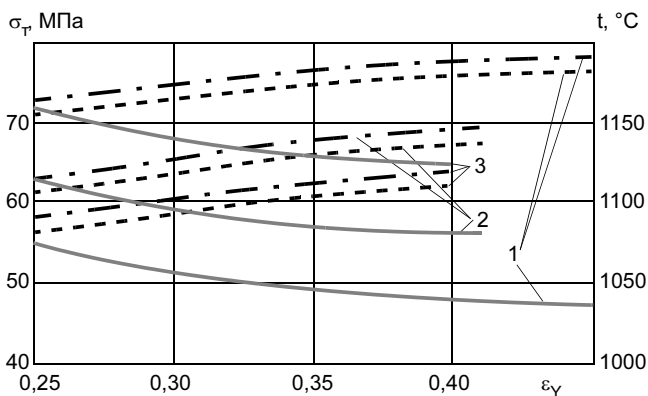


Рис. 3. Зависимость параметров присадочного металла от относительной осевой деформации проволоки (сплошная линия — предел текучести, штриховая — температура нагрева, определенная по формуле (3); штрих-пунктирная — температура, определенная по формуле (4)); 1—3 —  $F$  равно 1,3, 1,5 и 1,7 кН соответственно

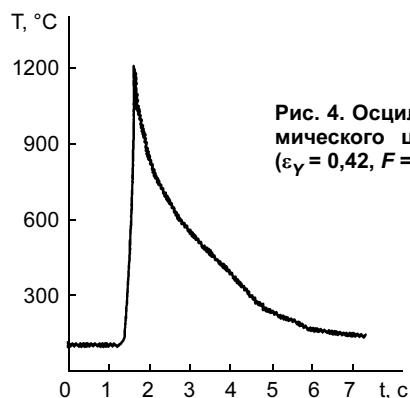


Рис. 4. Оциллограммы термического цикла наплавки ( $\varepsilon_{\gamma} = 0,42$ ,  $F = 1,3$  кН)

На рис. 3 также видно, что при постоянном усилии на ролике с ростом  $\varepsilon_{\gamma}$  снижается  $\sigma_T$ . При режимах с большим тепловыделением присадочный металл разогревается до больших температур, соответственно уменьшается его предел текучести.

Значения температуры нагрева присадочного металла, определенные по формулам (3) и (4), совпадают между собой, что подтверждается экспериментально (рис. 4), однако они заметно ниже значений, приведенных в работах [1, 3, 9], близких к температуре плавления стали. Такое расхождение объясняется следующим. В приведенных работах указаны максимальные температуры металла проволоки в течение термомеханического цикла, причем определены они в стыке основного и присадочного металлов [9]. Очевидно, что весь присадочный металл до таких температур нагреться не может, так как в этом случае будет выдавлен из-под ролика. Методика, разработанная автором, позволяет установить температуру в слое присадочного металла в конце его осадки, когда размеры контактных площадок с поверхностями вала и ролика достигли максимальной величины, произошел отвод теплоты через эти площадки и присадочный металл несколько остыл. Фактически определяют температуру, при которой завершается формирование соединения, происходит релаксация напряжений в очаге деформации и образование общих зерен в стыке соединяемых поверхностей.

Эксперименты также показали, что при режимах наплавки с низкими усилиями на ролике ( $F = 1,3$  кН) и большими деформациями присадочной проволоки ( $\varepsilon_{\gamma} > 0,35$ ) температура нагрева присадочного металла практически постоянная и максимальной величины. Характеристики упругости металла в таком пластическом состоянии, наоборот, минимальные, он легко деформируется. Увеличенное относительное движение максимально разогретого до пластического состояния присадочного металла по восстанавливаемой поверхности, происходящее под усилием наплавляющего ролика, приводит к разрушению и растворению плотных оксидных пленок, препятствующих фор-

мированию качественного сварного соединения. Оптимальным режимом наплавки стальных валов диаметром 40—60 мм проволокой ПК-2 диаметром 1,8 мм (ГОСТ 9389—75), обеспечивающим предельно возможную прочность сцепления, является следующий: ток наплавки 7,0—7,2 кА; усилие на ролике 1,2—1,3 кН; длительность импульсов тока 0,04 с; длительность пауз 0,08 с; скорость наплавки 0,018—0,020 м/с [1, 8].

Определенные по предлагаемой методике значения температуры и характеристик упругости присадочного металла совпадают с соответствующими оптимальными параметрами при горячей обработке металла давлением [10]. Разработанная методика определения температуры нагрева применима при наплавке деталей как с охлаждением, так и без него.

Полученные результаты можно использовать при разработке технологических процессов восстановления изношенных деталей.

## ВЫВОД

Режимы наплавки с повышенным тепловыделением, т. е. низкими усилиями на ролике и боль-

шими деформациями присадочной проволоки, являются благоприятными для большинства основных и присадочных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко Ю. В. Электроконтактная наплавка. М.: Металлургия, 1978. 128 с.
2. Каракозов Э. С. Соединение металлов в твердой фазе. М.: Металлургия, 1976. 262 с.
3. Дубровский В. А., Булычев В. В., Пономарев А. И. Предотвращение выплесков при электроконтактной наварке проволокой из стали 40Х13 // Сварочное производство. 2003. № 6. С. 12—15.
4. Нафиков М. З. Параметры электроконтактной наплавки // Технология металлов. 2005. № 7. С. 29—31.
5. Расчет геометрических размеров контакта между присадочной проволокой и электродом при электроконтактной наплавке / Л. Н. Соколов, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков и др. // Сварочное производство. 1997. № 10. С. 43—44.
6. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1978. 360 с.
7. Кочергин К. А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987. 240 с.
8. Электроконтактная наплавка автотракторных валов / В. С. Ибрагимов, Ч. М. Мамаев, М. З. Нафиков и др. // Техника в сельском хозяйстве. 1980. № 12. С. 17—18.
9. Клименко Ю. В. Электроконтактная наплавка (наварка) металлов с плавлением пограничного слоя // Сварочное производство. 1981. № 8. С. 20—21.
10. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М. Сопротивление пластической деформации сталей и сплавов: Справочник. М.: Металлургия, 1976. 487 с.

УДК 621.791:620.169.1

**В. Е. АРХИПОВ, канд. техн. наук, Г. В. МОСКВИТИН, д-р техн. наук,  
А. Н. ПОЛЯКОВ, канд. техн. наук**  
Институт машиноведения им. А. А. Благонравова

## Структура и свойства покрытий, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

Задача увеличения надежности и долговечности элементов машин и механизмов непосредственным образом связана с износостойкостью трущихся сопряжений. Один из путей повышения износостойкости заключается в направленном изменении свойств поверхностей контактирующих деталей, осуществляемых как традиционными методами термической и химико-термической обработки, так и современными технологическими методами обработки поверхностей, наиболее подверженных разрушению в условиях эксплуатации. К таким современным методам относится метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который нашел применение для решения ряда технологических задач [1, 2].

В настоящее время установлено, что обработка деталей машин и механизмов методом СВС позво-

ляет увеличить предел выносливости, повысить ресурс работоспособности деталей, работающих в условиях износа. Однако отсутствие данных о закономерностях изменения структуры материалов и формируемых покрытий при обработке методом СВС затрудняет выбор параметров технологии, обеспечивающей максимальную износостойкость конкретных деталей машин в условиях эксплуатации. Установление взаимосвязи структурного состояния покрытия, формирующегося при СВС, с его износостойкостью является базой для разработки конкретных рекомендаций использования технологии СВС для деталей, работающих в условиях трения и износа.

В данной работе представлены экспериментальные результаты исследования структурного состояния поверхностных слоев стали 45, обработан-

ной методом СВС, с целью оптимизации режимов технологии для достижения высоких показателей износостойкости обработанных поверхностей.

В работе направленное изменение структуры и свойств поверхности стали осуществляли методом СВС с применением шихты, позволяющей получить покрытия на основе хрома и сочетания хрома и бора. Процесс СВС осуществлялся в режиме воспламенения шихты с ориентировочной температурой горения 1100—1150 °С и последующей выдержкой в печи обрабатываемых образцов при температуре около 950 °С в течение 1 ч. В качестве шихты использовали следующие основные компоненты: порошки алюминия, оксида хрома, бора. Обрабатываемые образцы с нанесенными покрытиями охлаждали на воздухе, и часть из них в дальнейшем подвергали стандартной термической обработке для стали 45 — нагрев + закалка.

Для изучения микроструктуры образцов использовали металлографический оптический микроскоп Neofot-3 при увеличении  $\times 360$ . Микроструктуру поверхностных слоев исследовали по традиционной технологии на поперечных шлифах. Контроль микротвердости стали по глубине проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3 при вдавливании алмазной пирамиды под нагрузкой 0,2, 0,5 и 1,0 Н. Для изучения топографии поверхности, дефектов полученных слоев и микроструктуры образцов использовали растровый электронный микроскоп. Микроструктуру поверхностных слоев исследовали на поперечных шлифах по традиционной технологии. Распределение хрома в нанесенных покрытиях изучали с помощью растрового электронного микроскопа при съемке во вторичных электронах и в характеристическом излучении  $K_{\alpha}Cr$  при увеличении  $\times 1900$ .

В связи с широким применением узлов трения с реверсивным видом движения триботехнические испытания проводили на машине 77MT-1 с возвратно-поступательным перемещением плоскости по плоскости [3] при средней скорости скольжения 0,1 м/с и давлении 10 МПа. Исследуемые образцы из стали 45 после обработки методом СВС были неподвижными. Через неподвижный образец передавалось давление на нижний образец из стали У10 с большой поверхностью трения, который совершал возвратно-поступательное движение относительно верхнего исследуемого образца из стали 45. Перед испытаниями экспериментальные образцы притирали на плоской шлифовальной плите с применением наждачной бумаги для снятия шихты и окалины. Чистота поверхности не превышала  $Ra = 1,25 \pm 0,63$  мкм.

В процессе проведения триботехнических испытаний анализировали убыль массы образцов из стали 45 за определенный период времени (путь

трения). Результаты триботехнических испытаний стали 45, обработанной методом СВС с применением различных элементов и СВС + закалка, сравнивали с износостойкостью стали 45, закаленной до твердости 50—54 HRC. Испытания проводили при смазке трущихся поверхностей индустриальным маслом 50. Триботехнические испытания проводили в течение 30 ч без предварительной приработки.

В микроструктуре поверхностной зоны образца из стали 45 после обработки методом СВС на основе шихты, содержащей в качестве основного компонента оксид хрома, не прослеживается четкой разделительной границы между нанесенным покрытием и подложкой. Если исходить из результатов изменения микротвердости по глубине шлифа, то величину покрытия можно оценить в 40—50 мкм. При этом в структуре нанесенного слоя можно рассмотреть разные дефекты, в том числе в виде пор разного размера. Однако после закалки образцов с нанесенным покрытием на основе хрома в микроструктуре явно просматривается четкая разделительная линия — граница между нанесенным покрытием и подложкой. Толщину слоя можно оценить в 10—20 мкм. После термической обработки количество дефектов уменьшается, они носят более упорядоченный характер и их размер в основном уменьшается.

Данные, полученные с помощью растрового электронного микроскопа, в основном подтверждают и уточняют результаты металлографического анализа.

Из результатов, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, видно, что нанесенный слой обеднен хромом ближе к подложке. Его концентрация повышается у поверхности нанесенного покрытия; причем хром находится в виде соединений, возможно карбидов, которые неравномерно распределены как по полю нанесенного слоя, так и по толщине. Представленные результаты однозначно свидетельствуют о том, что доля хрома в поверхностном слое и толщина поверхностного слоя, содержащего хром, существенно больше непосредственно после обработки методом СВС, чем после дополнительной термической обработки. При обработке методом СВС наибольшая плотность распределения хрома регистрируется в поверхностном слое, который составляет около 10—15 мкм, а толщина слоя, содержащего хром, достигает 40 мкм. Закалка приводит к существенному уменьшению плотности распределения хрома и толщины слоя, содержащего хром (от 5 до 15—20 мкм). Исходя из полученных результатов по распределению хрома в зоне поверхности образца, можно предположить, что диффузия хрома в подложку не происходит, и сам процесс обработки методом СВС можно отнести к процессу нанесения покрытий на поверхность металлов.

Результаты растровой электронной микроскопии при съемке во вторичных электронах показывают, что слой, прилегающий к свободной поверхности, существенно разрушен и содержит значительное количество дефектов в виде пор, концентрирующихся в основном на границе раздела слоя, содержащего наибольшую долю хрома, и переходного. Поры имеют различные размеры и форму, заостренные и овальные грани. Из представленных данных видно, что непосредственно после обработки методом СВС размер пор колеблется от 0,2 до 1,5—2,0 мкм. Последующая закалка образцов из стали с покрытием приводит к уменьшению размера пор до 0,1—0,2 мкм и их коагуляции.

Влияние количества пор, их формы и расположения на физико-механические свойства и антифрикционные характеристики рассмотрено в работах [4, 5]. Отмечается, что механизм трения пористых поверхностей является весьма своеобразным. Микропоры, выступающие на поверхности, способствуют увеличению дискретности контакта, уменьшению силы адгезии ювенильных участков, эффектов охватывания и перемещения температурных полей. Кроме того, сообщающиеся поры позволяют более полно использовать эффект самосмазывания при трении в результате заполнения их смазочным материалом.

Результаты исследования микротвердости стали 45 на поперечных шлифах приведены в таблице.

Из приведенных данных видно, что под влиянием технологической обработки по глубине стали формируется структура с существенно различной микротвердостью. При обработке стали методом СВС поверхностный слой (примерно 15 мкм) имеет четкую границу раздела с глубжележащими слоями микротвердостью  $H_{\mu} = 5200$  МПа, которая стремится к значениям микротвердости стали 45 в закаленном состоянии (6500 МПа). В подповерхностном — переходном — слое толщиной примерно 40—50 мкм, не имеющем четкой границы раздела с матрицей, микротвердость примерно в 2,6 раза (2000 МПа) ниже, чем в поверхностном. Результаты оптической микроскопии протравленного поперечного шлифа указывают, что этот слой практически не содержит перлитной составляющей, присущей среднеуглероди-

стой стали. С увеличением расстояния от свободной (внешней) поверхности располагается основной металл (матрица) со структурой феррит + перлит и микротвердостью 2700—2800 МПа.

Дополнительная закалка стали 45, обработанной методом СВС, значительно изменяет микротвердость поперечного шлифа по глубине. В поверхностном слое — покрытии — микротвердость порядка 10 000 МПа, т. е. повышается практически в 2 раза по сравнению с предыдущим случаем. Микротвердость переходного слоя увеличивается до 3000 МПа, а в сердцевине — до 6500 МПа (значения, характерного для закаленной стали).

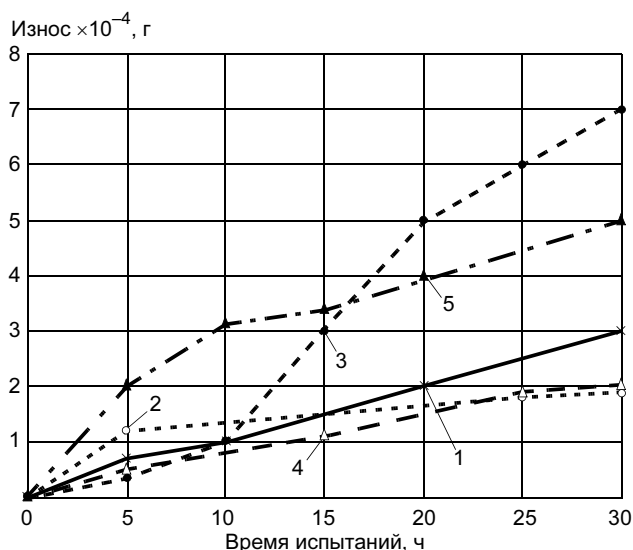
В микроструктуре образцов после обработки методом СВС с использованием шихты на основе соединений хрома и бора наблюдается аналогичная картина.

Результаты растровой электронной микроскопии поперечных шлифов показывают, что при обработке методом СВС в поверхностном слое стали толщиной 10—15 мкм фиксируются каналы — цепочки не сообщающихся между собою пор с заостренными гранями. Каналы расположены в основном перпендикулярно к поверхности. После закалки в поверхностном слое регистрируется множество микротрещин и отдельных разрушенных частиц, между которыми просматриваются инородные включения. Результаты растровой электронной микроскопии указывают на то, что толщина поверхностного слоя после закалки стали составляет 10—15 мкм, что существенно меньше, чем при обработке методом СВС без последующей термической обработки. В соответствии с результатами, представленными в работе [5], можно полагать, что в процессе нагрева стали под закалку происходит миграция пор к поверхности. При этом поры с заостренными гранями создают большие концентрации напряжений, которые в совокупности с напряжениями, возникающими при закалке, вызывают растрескивание и разрушение поверхностного слоя.

Из результатов, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, видно, что после обработки стали методом СВС толщина слоя, содержащего хром, составляет примерно 35—40 мкм. С увеличением расстояния от свободной поверхности плотность хрома постепенно убывает. При последующей закалке толщина слоя, содержащего хром, уменьшается до 10—15 мкм. При этом увеличиваются плотность хрома в слое, непосредственно прилегающем к свободной поверхности, и равномерность распределения хрома по слою. Распределение микротвердости по глубине полученного покрытия на основе хрома и бора иллюстрирует таблица. Из представленных результатов следует, что при обработке стали методом СВС и использованием хрома и бора поверхностный слой толщи-

Технология обработки	Микротвердость, МПа		
	Поверхностный слой—покрытие	Переходный слой	Сердцевина
Хром (СВС)	5200	2000	2700—2800
Хром (СВС) + + закалка	10 000	3000	6500
Хром + бор (СВС)	7600	2200	2800
Хром + бор (СВС) + + закалка	9000	7000	7000





Изменение износа во времени: 1 — сталь 45 + ТО; 2 — сталь 45 + СВС (Cr); 3 — сталь 45 + СВС (Cr) + ТО; 4 — сталь 45 + СВС (Cr + В); 5 — сталь 45 + СВС (Cr + В) + ТО

ной 35—40 мкм имеет микротвердость 7600 МПа, а переходный — подповерхностный — толщиной 50—60 мкм — 2200 МПа. В объеме материала зафиксирована микротвердость 2800 МПа.

Закалка стали, обработанной методом СВС, приводит к уменьшению толщины поверхностного слоя до 10—15 мкм и увеличению микротвердости до 9000 МПа. Микротвердость в переходном — подповерхностном — слое и сердцевине материала одинакова — 7000 МПа и в 2,5 раза выше, чем в незакаленном образце.

При закалке в поверхностном слое стали зафиксирована новая структурная составляющая, предположительно являющаяся результатом насыщения поверхностных слоев элементами окружающей среды или окисления. По глубине образцов, обработанных методом СВС в сочетании с закалкой, формируется структура, состоящая из существенно упрочненного поверхностного слоя толщиной 10—15 мкм с твердостью 9000 МПа.

Результаты исследований на износостойкость образцов с нанесенными методом СВС покрытиями на основе хрома и бора с последующей термической обработкой (ТО) и без нее приведены на рисунке. Видно, что наилучшие результаты по износу имеет сталь, обработанная СВС с использованием хрома и хрома и бора (кривые 2, 4). Следует отметить, что общий уровень износа стали 45 как в состоянии закалки, так и после обработки методом СВС с использованием хрома и хрома и бора весьма низок.

Интенсивность изнашивания стали в закаленном состоянии при трении в паре со сталью У10 в среде индустриального масла 50 при данных условиях

эксплуатации  $J_h = 1,35 \cdot 10^{-10}$ . При этом (см. рисунок, кривая 1) можно говорить о линейном характере износа стали с постоянной скоростью на анализируемом пути трения (времени испытания).

Для образцов, обработанных методом СВС, с увеличением пути трения выявляется замедление скорости износа по сравнению с закаленной сталью (см. рисунок, кривые 2, 4). Интенсивность изнашивания в установленном режиме трения для образцов, обработанных СВС с использованием хрома и хрома и бора,  $J_h = 10$ . Скорость износа и интенсивность изнашивания возрастают, если образец после обработки СВС дополнительно закален (см. рисунок, кривые 3, 5). Интенсивность изнашивания увеличивается до  $3,2 \cdot 10^{-10}$  (см. рисунок, кривая 3) и до  $2,7 \cdot 10^{-10}$  (см. рисунок, кривая 5).

## ВЫВОДЫ

1. Обработка стали 45 методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) за счет изменения состава шихты позволяет получить поверхностное покрытие толщиной 40—50 мкм. Твердость таких покрытий на основе хрома составляет 5200 МПа, на основе композиции хром + бор — 7600 МПа.

2. В соответствии с полученными результатами по распределению хрома рассматриваемые в работе режимы обработки методом СВС целесообразно отнести к технологии нанесения покрытий на металл, так как существенной диффузии в подложку не наблюдается.

3. Последующая термическая обработка образцов с нанесенным покрытием на основе хрома и композиции хром + бор приводит к уменьшению толщины покрытия до 10—20 мкм, изменению распределения хрома по площади и толщине покрытия, уменьшению размера пор с 1,5—2,0 до 0,2 мкм и их коагуляции, увеличению твердости покрытия до 10 000 МПа на основе хрома и до 9000 МПа на основе композиции хром + бор.

4. Методом СВС можно повысить износостойкость металлической поверхности за счет нанесения покрытия, содержащего хром и композицию хром + бор.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левашов Е. А., Рогачев А. С., Юхвин В. И. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: Бинوم, 1999. 176 с.
2. Евтушенко А. Т., Пазарь С., Торбунов С. С. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез инструментальной стали // МИТОМ. 2007. № 4. С. 43—46.
3. Гаркунов Д. Н., Крагельский И. В., Поляков А. А. Избирательный перенос в узлах трения. М.: Транспорт, 1969. 104 с.
4. Удовицкий В. И. Антифрикционное пористое силицирование углеродистых сталей. М.: Машиностроение, 1971. 240 с.
5. Удовицкий В. И. Долговечность диффузионно-насыщенных кремнием деталей машин. М.: Машиностроение, 1983. 240 с.

УДК 621.791.724

**Д. В. ЗАВАЛИХИН, инж., В. А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук,  
С. А. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук**  
"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

## Опыт и перспективы разработки оборудования для сварки, пайки и термической обработки световым лучом (обзор)

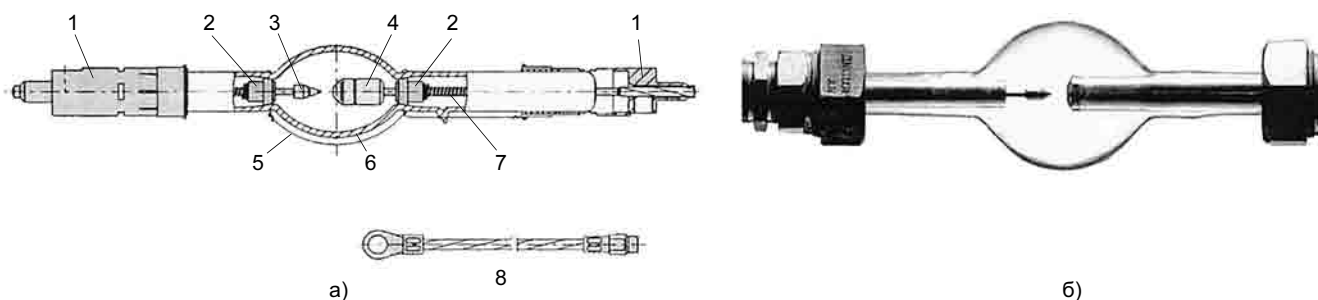
Повышение технико-экономической эффективности использования различных источников теплоты остается до настоящего времени актуальной задачей.

Повышение эффективности и расширение технологических возможностей нагрева лучистой энергией в основном связывают с применением высокоинтенсивных искусственных источников света — газоразрядных ламп (ГОСТ 15049—81), к которым относятся дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления (рис. 1) [1—3].

В отличие от инфракрасных источников лучистой энергии (кварцевых галогенных ламп накаливания), применяемых в основном при низкотемпературных процессах обработки материалов (сварке и пайке неметаллических материалов) [4, 5], сфокусированный световой луч дуговых ламп обеспечивает расширение технологических возможностей тепловой обработки различных конструкционных материалов и имеет более высокий КПД использования.

При фокусировке излучения дуговых ксеноновых ламп при помощи специальных оптических систем на объект нагрева, регулировке энергетических параметров режима и управлении распределением лучистой энергии по пятну нагрева достигают условий осуществления процессов сварки металлических и неметаллических материалов, высоко- и низкотемпературной пайки узлов и электромонтажных соединений, а также локальной термической обработки сварных соединений и изделий.

К преимуществам светового луча относятся проведение термической обработки материалов независимо от их электрических и магнитных свойств; получение сравнительно простыми средствами высоких плотностей лучистой энергии; бесконтактный подвод энергии к изделию непосредственно и через оптические прозрачные оболочки в контролируемой газовой среде и вакууме; незначительное механическое воздействие на нагреваемое



**Рис. 1.** Схема дуговой ксеноновой лампы OSRAM типа XBO мощностью 1—12 кВт (а), фотография дуговой ксеноновой лампы типа ДКсШРБ 5—10 кВт (б): 1 — металлический цоколь; 2 — кварцевое стекло; 3 — катод; 4 — анод; 5 — вспомогательная проволока для поджига; 6 — кварцевая колба; 7 — вольфрамовый штабик и пружина

мый объект; высокая чистота процесса, регулируе- мость и управляемость параметрами режима.

Первые успешные эксперименты по примене- нию светового луча дуговых ксеноновых ламп были сделаны в конце 60-х годов прошлого столетия под руководством профессора Г. Д. Никифорова [1, 6, 7]. В последующем были проведены многочисленные исследования энергетических и технологических особенностей нагрева световым лучом, разработа- но различное технологическое оборудование, оп- ределены перспективные направления его исполь- зования. Однако эти вопросы были освещены в основном в отдельных публикациях в периодиче- ских изданиях и не содержали практических реко- мендаций.

Цель данной работы — обобщение и система- тизация имеющейся информации по результатам исследований энергетических параметров режима светового луча и разработке светолучевого техно- логического оборудования. Приведенные в рабо- те обобщенные данные могут быть использованы при проектировании светолучевого оборудова- ния, в частности так называемых модулей лучисто- го нагрева, состоящих из источника света — дуго- вой ксеноновой лампы и фокусирующей оптиче- ской системы.

## Источники света

Конструкция дуговых ксеноновых ламп пред- ставляет шаровой баллон (лампы с расстоянием между электродами, меньшим или равным внут- реннему диаметру колбы называют источниками света с короткой или средней длиной дуги) из про- зрачного кварца, в который соосно и симметрично друг относительно друга вмонтированы два вольф- рамовых электрода (катод и анод) (см. рис. 1). Бал- лоны заполнены инертным газом — ксеноном. В за- висимости от типа лампы и ее мощности расстоя- ние между электродами составляет 0,5—14 мм [2, 3]. В процессе работы лампы давление газа в ней увеличивается в несколько раз, что обеспечи- вает сжатие дугового разряда и образование светя- щегося тела.

Излучатели сверхвысокого давления, к которым относятся дуговые ксеноновые лампы, обладают не- прерывным спектром излучения в пределах от 0,2 до 2,4 мкм и имеют спектральные характеристики, близкие к солнечному свету. Это позволяет приме- нять данные источники при сварке и пайке лучистой энергией как металлических, так и неметалличе- ских материалов. Они способны работать при ком- натной (18—20 °С) и пониженной температурах в стабильном режиме [2].

Наименьшие размеры и наибольшая яркость свечения дуги характерны для прикатодной обла- сти межэлектродного промежутка. Высокая темпе- ратура этой зоны обеспечивает значительную ин- тенсивность ультрафиолетовой области спектра излучения, которая наиболее эффективно погло- щается металлическими материалами [3].

Дуговые ксеноновые лампы требуют для своей работы специальных устройств, обеспечивающих зажигание (возбуждение) дуги и ее устойчивое го- рение. Дуговой разряд происходит за счет исполь- зования высоковольтного блока поджига, а элект- ропитание ламп осуществляется от источников постоянного тока с напряжением холостого хода  $U_{xx} = 70$  В и падающей ВАХ, что позволяет поддер- живать номинальные параметры режима работы лампы на всем протяжении срока службы.

В качестве источников питания могут быть ис- пользованы серийные сварочные выпрямители типа ВДУ, а также универсальные источники типа ВСВУ и ТИР и инверторные источники, обеспечи- вающие работу ламп в непрерывном и импульс- ном режимах. В импульсном режиме при кратко- временной (0,01—1 с) перегрузке лампы по току в 1,5—2 раза соответственно увеличивается энергия светового излучения.

Лампы, как правило, устанавливаются в токо- подводах (патронах) в вертикальном положении катодом вниз. Такое расположение ламп приво- дит к стабилизации дугового разряда в течение 300—2400 ч (в зависимости от типа ламп) за счет создания в лампе направленных вверх конвектив- ных потоков газа [8].

В настоящее время основными производителя- ми отечественных дуговых ксеноновых ламп сверх- высокого давления являются отечественные (ОАО "ЛИСМА", АО "МЭЛЗ", КБ "КСЕНОН") и зарубежные (HAMAMATSU, NARVA, OSRAM, USHIO и YuYu) фирмы [2, 7]. Ведущими из них являются компании OSRAM (Германия) и USHIO (Япония), лампы ко- торых широко применяют для самых различных целей. Лампы зарубежных производителей име- ют повышенный световой поток (на 25 %) и высо- кую стабильность, обусловленную конструктивны- ми и электрическими характеристиками самого из- лучателя.

Среди отечественных дуговых ксеноновых ламп при сварке, пайке и термической обработке используют три типа излучателей: ДКсШ мощно- стью 0,2—6,5 кВт и ДКсЭл мощностью 0,5—6,5 кВт с воздушным охлаждением (ОАО "ЛИСМА", АО "МЭЛЗ"), а также ДКсШРБ мощностью 3—10 кВт с комбинированным (водяным и воздушным) охла- ждением (АО "МЭЛЗ") [2].

## Фокусирующие оптические системы

Фокусирующими системами в модулях лучистого нагрева являются оптические системы на основе эллипсоидных отражателей, которые концентрируют световой поток лампы на объект нагрева (рис. 2) [9]. Конструктивной особенностью эллипсоидных отражателей является наличие двух оптических фокусов ( $f_1, f_2$ ), суммарное расстояние от которых до любой отражающей поверхности эллипсоида является постоянной величиной, равной удвоенному значению большей полуоси эллипса.

При расположении излучателя в ближнем фокусе  $f_1$  отражателя его излучение собирается во втором (дальнем) фокусе  $f_2$ , где располагается объект нагрева. Для повышения мощности лучистого потока в пятне нагрева применяют дополнительно сферический контротражатель, центр которого совмещают с фокусом  $f_1$ . Таким образом, излучатель находится внутри оптической системы, которая формирует зону свободного выхода луча для размещения в ней технологической оснастки. Конструкция модуля лучистого нагрева обеспечивает надежную защиту обслуживающего персонала от прямого воздействия светового излучения.

Основными геометрическими характеристиками эллипсоидного отражателя являются угол охвата излучения лампы  $\varphi$ , выходной апертурный угол светового луча  $\beta$ , свободный выход светового луча за пределы отражателя  $L$  (рабочее технологи-

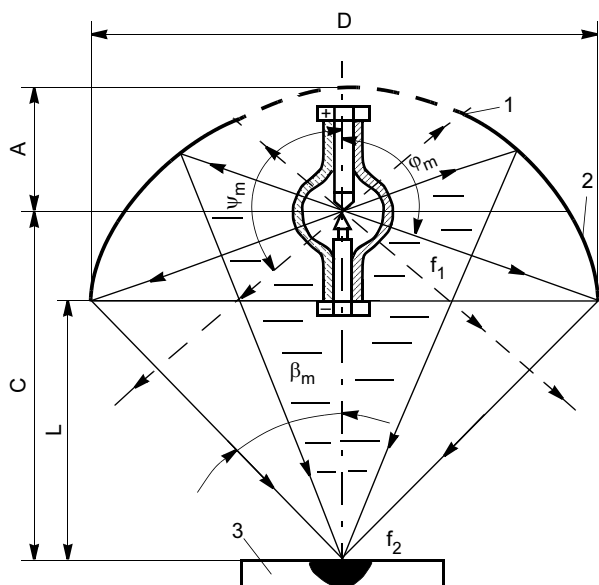


Рис. 2. Геометрические характеристики эллипсоидного отражателя (в центре выделен объем теневого конуса,  $\varphi_m$  — угол охвата излучения лампы отражателем,  $\beta_m$  — выходной апертурный угол светового луча,  $\psi_m$  — угол излучения лампы); 1 — эллипсоидный отражатель; 2 — дуговая ксеноновая лампа; 3 — объект нагрева

ское пространство), диаметр отражателя  $D$  и межфокусное расстояние  $C$ .

В соответствии с теорией оптических систем в рабочей фокальной плоскости отражателя формируется световое пятно нагрева, являющееся увеличенным изображением излучающего тела лампы. Осевое увеличение отражателя  $M_0$  равно отношению  $A + C/A$ , где  $A$  — расстояние от верхнего эллипсоида до первого фокуса. Лучистая энергия в пятне нагрева распределяется неравномерно. Основная ее часть (до 70 %) приходится на центральную зону, которая формируется световым потоком от прикатодного участка дуги.

Обеспечивая соосность отражателя и лампы и совмещая прикатодный участок дуги с фокусом  $f_1$  за счет использования юстировочного устройства, достигают распределения плотности мощности лучистого потока по пятну нагрева, соответствующего гауссовскому [6].

За счет конструктивных изменений оптической системы и положения лампы относительно ближнего фокуса отражателя создаются условия регулирования концентрации энергии в пятне нагрева и изменения его формы и размеров. При этом возможно получение пятна нагрева кольцевой формы [10].

Отражатели выполняют из алюминиевых сплавов (АД1, Д16, В95), обладающих достаточной прочностью и хорошей обрабатываемостью резанием. Механическую обработку отражающей поверхности эллипсоида, включающую обточку и шлифовку, выполняют по специальным программам на станках с ЧПУ. Для повышения отражающей способности рабочую поверхность эллипсоида подвергают электрополировке, обеспечивающей параметр шероховатости поверхности  $Rz = 0,1 \div 0,025$  мм.

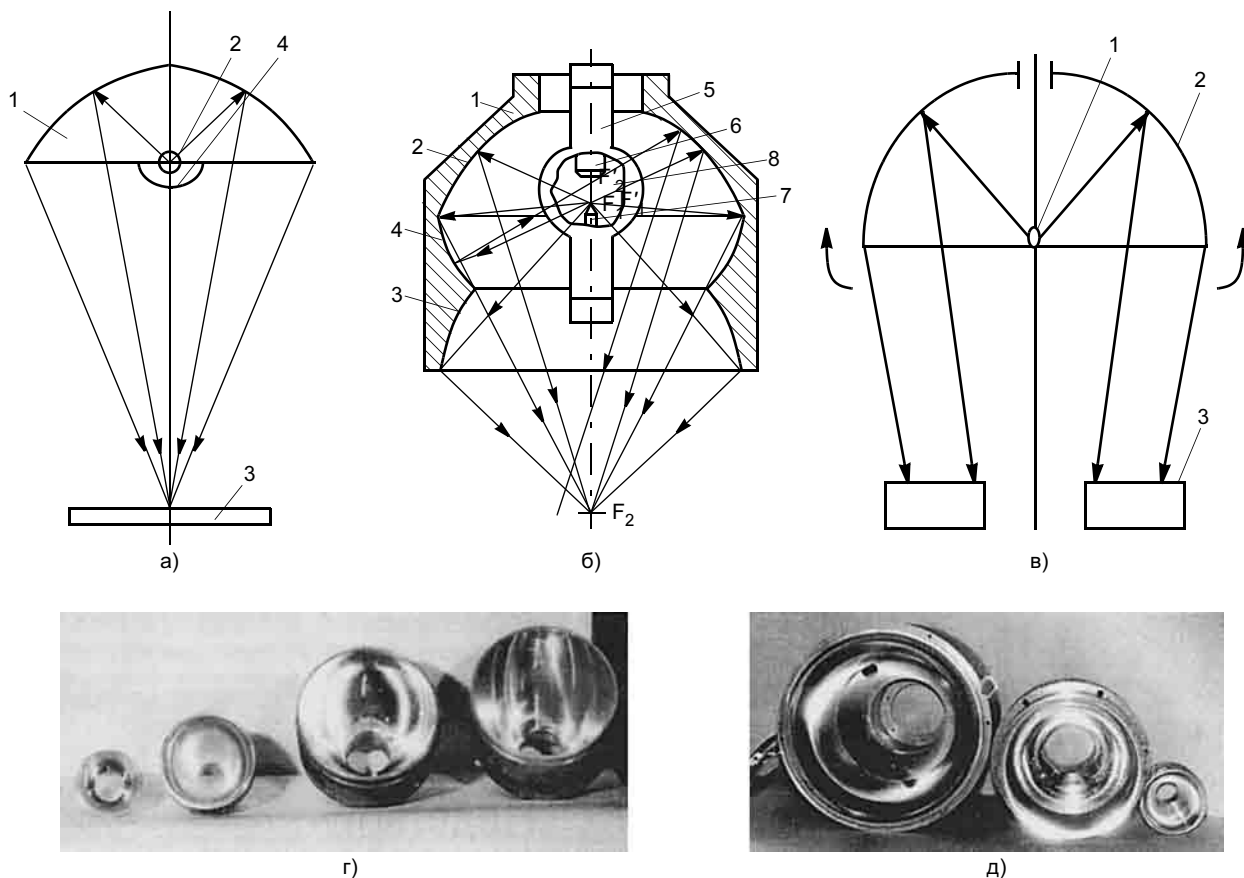
Проанализировав результаты исследований энергетических параметров различных модулей лучистого нагрева [5, 7, 9, 10, 12, 13], можно сделать следующие выводы:

- максимальная плотность мощности лучистого потока в пятне нагрева находится в пределах  $0,5 \cdot 10^2$  —  $10^4$  Вт/см<sup>2</sup> при диаметре пятна нагрева 0,1—1,5 см;

- увеличение электрической мощности, подводимой к лампе, приводит к пропорциональному возрастанию максимальной плотности мощности лучистого потока и интегрального лучистого потока в пятне нагрева;

- при использовании короткофокусных эллипсоидных отражателей (осевое увеличение 3,5—5) и увеличении угла охвата излучения лампы до 240—260° увеличивается энергетический КПД использования модуля лучистого нагрева до 35—40 %;

- при выводе прикатодного участка дуги из первого фокуса (расфокусировка) обеспечиваются



**Рис. 3. Схемы (а—в) и типоразмерный ряд оптических систем (г, д), применяемых в светолучевых технологических установках для сварки, пайки и термической обработки, разработанных в МАТИ:** а — моноэллипсоидная (1 — эллипсоидный отражатель, 2 — дуговая ксеноновая лампа, 3 — объект нагрева, 4 — сферический контролтражатель); б — комбинированная (1 — комбинированный отражатель, 2, 3 — эллипсоидные отражатели, 4 — эллипсоидный контролтражатель, 5 — дуговая ксеноновая лампа, 6, 7 — электроды (катод и анод), 8 — межэлектродный промежуток); в — расщепленная (1 — дуговая ксеноновая лампа, 2 — отражатель с двумя полуэллипсоидами (стрелкой показано направление их поворота в вертикальной плоскости), 3 — объект нагрева)

условия трансформации сплошного пятна нагрева в пятно кольцевой формы;

— конструкция отражателя из двух секций (полуэллипсоидов) и возможность их поворота друг относительно друга в вертикальной плоскости обеспечивают выравнивание плотности мощности лучистого потока по пятну нагрева (при малых углах поворота) или расщепление светового луча на два световых потока с формированием двух зон нагрева (при больших углах поворота);

— при размещении на срезе отражателя диафрагмирующих конических насадок с внутренней отражающей поверхностью, выполняющих одновременно роль сопловых устройств газовой защиты, появляются дополнительные возможности для тонкой регулировки диаметра пятна нагрева.

В настоящее время имеется достаточное количество оптических фокусирующих систем, которые можно классифицировать по конструктивному признаку как моноэллипсоидные, комбинированные и расщепленные системы (рис. 3, а—в).

При выборе типа оптической системы для решения конкретных технологических задач следует определить взаимосвязи геометрических характеристик и отражательной способности эллипсоида с типом, мощностью и светотехническими характеристиками лампы, оптическими и теплофизическими свойствами нагреваемых материалов и требованиями к технологическому процессу.

Следует иметь в виду, что при длительной эксплуатации эллипсоида его рабочая поверхность окисляется, на ней формируются трещины и другие дефекты, что приводит к ухудшению его отражательной способности. Для снижения отрицательных последствий этих явлений рекомендуется использовать импульсные источники света [2] и периодически проводить доработку отражающей поверхности эллипсоида.

### Светолучевые технологические установки

Первой технологической установкой для сварки, пайки и термической обработки лучистой энергией дуговых ксеноновых ламп был эксперимен-

тальный модуль "УСПЛЭ-1МАТИ", спроектированный в 1967 г. В качестве источника излучения в установке использовали отечественные короткодуговые лампы сверхвысокого давления типа ДКсШРБ мощностью 3,5 и 10 кВт [6]. Затем были разработаны экспериментальные установки "УСПЛЭ-7-МАТИ" с семью оптическими фокусирующими системами и дуговыми ксеноновыми лампами мощностью 0,5 и 1 кВт для создания сложных схем нагрева и моделирования различных тепловых процессов и малогабаритная установка "Фотон-1" для пайки электромонтажных соединений [7, 12].

В период с 1970 по 1990 гг. были разработаны отечественные технологические установки как экспериментального, так и производственного характера на базе дуговых и ксеноновых ламп мощностью 0,2—10,0 кВт: УПСЛ-1 для пайки, сварки и термической обработки световым лучом с лампой ДКсШ мощностью 1 кВт [14]; УСС-1 для сварки световым лучом, где в качестве излучателя применяли лампу ДКсШРБ-5000 мощностью 5 кВт [15, 16]; МЛН-1 для пайки световым лучом с модулем нагрева на базе ксеноновой лампы мощностью 10 кВт [10]; "Свет" для сварки и пайки световым лучом [17]; МЛНЗ-10 на базе модуля лучистого нагрева с лампой ДКсШРБ мощностью 5 кВт [18]; СЛУ-1 с ксеноновой лампой ДКсШРБ мощностью 10 кВт [11, 19]; УСТСЛ-1 с программным управлением [7] и др.

Перспективы развития светолучевых технологических установок связывают с разработкой комбинированных и расщепленных оптических систем. В отличие от моноэллипсоидных отражателей комбинированные оптические системы обеспечивают повышение энергетических характеристик светового луча. Они представлены двух- и трехсекционными отражателями. Первые состоят из эллипсоидного отражателя и сферического контротражателя, а вторые — из двух эллипсоидных секций с центральной секцией в виде сферического контротражателя.

Как показали исследования [5, 8], комбинированные оптические системы обеспечивают наибольший угол охвата излучения лампы (до 300°), значительный выход светового луча за пределы отражателя (до 140—160 мм) и высокие значения плотности мощности лучистого потока (до  $5 \cdot 10^4$  Вт/см<sup>2</sup>) при номинальном режиме работы ламп и сравнительно небольших габаритных размерах отражателей. Расширение технологических возможностей модулей лучистого нагрева связывают с использованием расщепленных оптических систем, которые позволяют дополнительно решать технологические задачи по получению двух локальных зон тепловой обработки [5, 8].

На базе моноэллипсоидных и комбинированных оптических систем в МАТИ разработан типо-

размерный ряд металлических эллипсоидных отражателей (рис. 3, а, б).

За рубежом больших успехов в разработке светолучевого оборудования достигла японская фирма Matsushita Electric [20].

В настоящее время в отечественной промышленности накоплен практический опыт по разработке различного технологического сварочного оборудования для сварки, пайки и термической обработки. Ведутся работы по снижению габаритных размеров модулей лучистого нагрева, повышению технологичности их изготовления, эффективности и универсальности. Имеются сведения о разработке гибридных технологических систем, совмещающих световой луч и лазер, световой луч и дугу [7, 21]. Модуль лучистого нагрева может быть использован и в сварных роботизированных комплексах [20]. Таким образом, светолучевое оборудование перспективно не только в единичных, но и серийных и даже массовых производствах.

В заключение следует отметить доступность изготовления модулей лучистого нагрева на любом машиностроительном предприятии при малых капитальных затратах, что позволяет осуществлять самостоятельные разработки специализированного технологического оборудования для решения конкретных технологических задач по тепловой обработке материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров Г. Д., Опарин М. И., Федоров С. А. Сварка и пайка световым лучом. М.: Машиностроение, 1979. С. 40.
2. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике. 2 изд. М.: Энергоатомиздат, 1995. С. 1—16, 78—83.
3. Рохлин Г. Н. Разрядные источники света. 2 изд. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 6—19, 674—697.
4. Волков С. С., Орлов Ю. Н., Астахова Р. Н. Сварка и склеивание пластмасс. М., 1972.
5. Использование энергии светового луча в технологических целях / В. А. Фролов, В. С. Мамаев, Н. С. Пронин, Н. А. Коробко // Сварочное производство. 1993. № 4. С. 12—14.
6. Использование сфокусированной лучистой энергии мощных ксеноновых ламп для сварки и пайки металлов / Г. Д. Никифоров, В. В. Дьяченко, М. И. Опарин, Г. Г. Лопатина // Сварочное производство. 1969. № 9. С. 1—3.
7. Разработка и развитие технологий сварки, пайки и термической обработки световым лучом / В. А. Фролов, Н. С. Пронин, С. А. Федоров, М. И. Опарин // Сварочное производство. 2003. № 11. С. 19—21.
8. Фролов В. А. Конструкторско-технологические особенности разработки сварных конструкций с применением светолучевой сварки // Сварочное производство. 1998. № 3. С. 16—20.
9. Никифоров Г. Д., Федоров С. А., Овчинников В. В. Перспективы эффективного использования светового луча для сварки и пайки (обзор) // Сварочное производство. 1982. № 8. С. 15—17.
10. Использование энергии светового луча дуговых ксеноновых ламп для пайки соединений типа труба — фланец / М. И. Опарин, Н. С. Пронин, В. С. Мамаев и др. // Сварочное производство. 1986. № 3. С. 1—2.

11. *Светолучевая установка СЛУ-1 для пайки элементов силовой электроаппаратуры* / В. В. Овчинников, В. В. Гринин, С. А. Федоров и др. // Сварочное производство. 1986. № 3. С. 3—4.

12. *Никифоров Г. Д., Опарин М. И., Федоров С. А.* Использование лучистого нагрева для сварки, пайки и термической обработки // Сварочное производство. 1974. № 12. С. 18—21.

13. *Федоров С. А., Овчинников В. В.* Управление формирования шва при сварке световым лучом // Сварочное производство. 1983. № 9. С. 29—30.

14. *Установка УПСЛ-1 для пайки, сварки и термообработки световым лучом* / Л. Г. Миронов, Г. П. Раваев, В. Ф. Петухов и др. // Сварочное производство. 1981. № 9. С. 35—36.

15. *Опарин М. И., Никифоров Г. Д., Мамаев В. С.* Расширение энергетических и технологических возможностей установок для сварки световым лучом при импульсном питании дуговых ксеноновых ламп // Сварочное производство. 1982. № 7. С. 13—14.

16. *Корунов Ю. И., Шиганов Н. В., Баресков Н. А.* Пайка печатных плат концентрированным световым лучом // Сварочное производство. 1980. № 11. С. 16—17.

17. *Опарин М. И., Редчиц В. В.* Получение спаев кобальта и стекла с использованием нагрева световым лучом дуговых ксеноновых ламп // Сварочное производство. 1987. № 11. С. 10—11.

18. *Светолучевая сварка тонколистовых титановых сплавов* / В. А. Фролов, Н. С. Пронин, В. С. Мамаев, П. Г. Волков // Сварочное производство. 1993. № 1. С. 4—6.

19. *Федоров С. А., Овчинников В. В.* Местная термообработка сварных соединений алюминиевых сплавов светолучевыми источниками нагрева // Сварочное производство. 1993. № 1. С. 6—7.

20. *Алексеев Г. М., Бутков В. Н.* Оборудование для светолучевой сварки и пайки тонкостенных конструкций // Сварочное производство. 1999. № 9. С. 33—35.

21. *Федоров С. А., Овчинников В. В.* Светолучевая сварка штыря с корпусом толкателя // Сварочное производство. 1993. № 4. С. 14—15.

УДК 621.791.4

**А. А. КРУГЛОВ, канд. техн. наук, Р. Я. ЛУТФУЛЛИН, д-р техн. наук,  
М. Х. МУХАМЕТРАХИМОВ, аспирант, О. А. РУДЕНКО, аспирант,  
Р. В. САФИУЛЛИН, канд. техн. наук**  
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (Уфа)

## Контактная сварка заготовок из субмикроструктурного титанового сплава ВТ6 для изготовления многослойных ячеистых конструкций<sup>1</sup>

Совмещение сверхпластической формовки (СПФ) со сваркой давлением (СД) применяют для изготовления многослойных ячеистых конструкций из материалов, способных к сверхпластической деформации, преимущественно титановых сплавов [1]. Способ СПФ/СД позволяет получать крыльевые и корпусные узлы, состоящие из обшивки с наполнителем в виде ребер жесткости, которые применяют в различных отраслях машиностроения: аэрокосмической, нефтехимической, судостроения, транспорте и др. Разработка титановых сплавов с субмикроструктурной (СМК) и нанокристаллической (НК) структурами, обладающих уникальным комплексом физико-механических свойств [2], открывает новые перспективы развития многослойных ячеистых конструкций.

Для изготовления многослойной ячеистой конструкции две листовые заготовки из титанового сплава, образующие наполнитель, соединяют между собой шовной контактной сваркой (ШКС) по за-

данному чертежу. Полость между заготовками герметизируют с установкой трубопровода подачи рабочей среды (аргона) и размещают в штампе между листовыми заготовками обшивки. После нагрева штампа до температуры сверхпластической деформации осуществляют формовку заготовок путем подачи газа в полость между ними. Условия сверхпластической деформации соблюдаются за счет СПФ при определенной температуре и скорости деформации, обеспечиваемой регулируемым давлением газа. Под воздействием давления из листовых заготовок наполнителя образуются ячейки, форма которых определяется конфигурацией сварных швов и расстоянием между листовыми заготовками обшивки. В процессе СПФ ячейки вступают в контакт друг с другом и заготовками обшивки. Давление газа по окончании формовки доводят до величины, требуемой для образования твердофазного соединения между ячейками и обшивкой, и осуществляют выдержку под давлением, что в итоге приводит к получению монолитной ячеистой конструкции.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке МНТЦ (проекты № 796 и 1955).

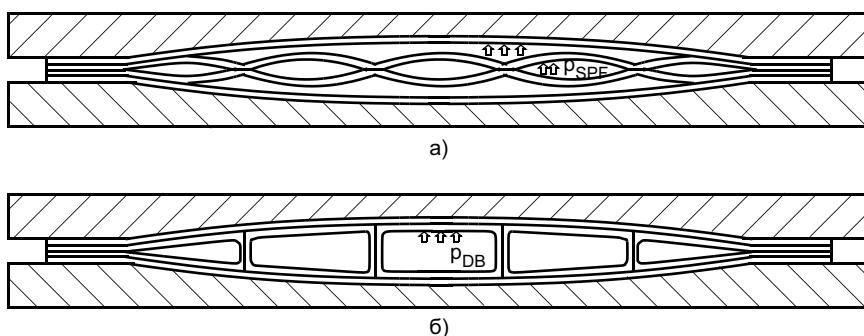


Рис. 1. Схема изготовления многослойной ячеистой конструкции

Другой вариант СПФ/СД предусматривает формовку также и листовых заготовок обшивки. После того, как они примут форму штампа (рис. 1, а) производят, как и в первом случае, формовку листовых заготовок наполнителя (рис. 1, б).

Для соединения листовых заготовок наполнителя преимущественно применяют ШКС, а также лазерную и электронно-лучевую сварку. Преимущество ШКС заключается не только в высокой производительности, экономичности и возможности выполнения практически любого соединения, но и в получении отличного от других способов сварки строения сварного соединения.

Известно, что при ШКС соединение состоит из нескольких зон: литого ядра, уплотнительного пояса — зоны, где соединение происходит в пластическом состоянии (без расплавления), и зоны схватывания, где соединение достигает только уровня физического контакта [3]. Отметим, что пластические свойства этих зон и прочность соединения в них изменяются в зависимости от удаления от литого ядра.

Одной из проблем при изготовлении ячеистых конструкций является то, что при формовке наполнителя вблизи сварного шва возможен разрыв деформируемой заготовки. Кроме того, стенка ячейки в готовой конструкции из-за резких перепадов сечения, связанных с наличием свар-

ного шва, может иметь концентраторы напряжений.

Для исключения разрывов деформируемой заготовки при СПФ предложено соединять заготовки наполнителя сварными швами минимально возможной ширины<sup>2</sup>. Результаты моделирования формообразования ячейки со сварным швом в виде непластичной зоны, равной толщине листовой заготовки, приведенные в работе [4], показали, что вблизи сварного шва происходит локализация деформации, которая может привести к разрыву деформируемой листовой заготовки наполнителя ячеистой конструкции. С учетом этого предложено соединять листовые заготовки наполнителя сварными швами с образованием литой зоны не более 0,7 толщины листовой заготовки наполнителя<sup>3</sup>. В то же время в научно-технической литературе отсутствуют рекомендации по выбору режима ШКС, учитывающие специфику сварного соединения и способные обеспечить СПФ листовых заготовок наполнителя без разрывов.

Проблема изготовления ячеистых конструкций из титановых сплавов с НК- и СМК-структурами только повышает актуальность задачи выбора режимов ШКС. Это связано с тем, что с уменьшением размера зерен в исходных листовых заготовках увеличивает-

ся градиент пластических свойств между зонами сварного соединения и основным материалом.

В данной работе для экспериментальной оценки влияния параметров сварного соединения, полученного ШКС, на процесс формообразования ячеистой наполнителя из двух листовых заготовок изготавливали экспериментальные образцы размером 100 × 70 мм. Материал заготовок — титановый сплав ВТ6 (Ti—6Al—4V) с СМК-структурой. Толщина заготовок 0,8 мм. Средний размер зерен не более 0,5 мкм. Образцы соединяли непрерывными сварными швами, расположенными параллельно друг другу вдоль большей стороны образца. Расстояние между швами 28 мм. Сварку выполняли на сварочной машине МШ-1601.

Листовые заготовки наполнителя в образце № 1 соединяли ШКС на режиме средней жесткости (номинальном режиме) с ограниченной шириной уплотнительного пояса [3]. Сварку образцов № 2 и 3 выполняли на мягком режиме с увеличенной шириной уплотнительного пояса за счет уменьшения сварочного тока и времени сварки. Образец № 4 сварен на минимальном режиме без образования литого ядра. Сварной образец герметизировали по контуру и приваривали штуцер для подачи рабочей среды — аргона. Для формовки образец помещали в штамп между плоскими плитами. Расстояние между плитами 20 мм. Сборку нагревали до 800 °С и подавали газ в полость между листовыми заготовками, обеспечивая скорость деформации  $10^{-3}—10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . Максимальное давление газа 2,5 МПа. Для защиты образцов от окисления при СПФ штамп помещали в контейнер, наполненный аргоном. Результаты измерения ширины различных зон сварного

<sup>2</sup> Патент 4217397 (США).

<sup>3</sup> Патент 2170636 (РФ).



соединения образцов, а также результаты их формовки приведены в таблице.

При СПФ разрыв листовой заготовки в образце № 1 произошел вблизи сварного шва в момент образования стенки соседними ячейками (рис. 2). Формовка образцов № 2 и 3 прошла без разрывов. Осуществить формовку образца № 4 не удалось из-за низкой прочности сварного соединения, связанной с отсутствием литой зоны.

Участок стенки ячейки наполнителя, включающей шов в образце № 3, приведен на рис. 3. Микроструктура сварных швов, соответствующих образцам № 1 и 3, приведена на рис. 4, где представлены две зоны соединения: зона литого ядра с грубой пластинчатой структурой и зона уплотнительного пояса с размером зерен 5—10 мкм. На рис. 4 видно, что ширина уплотнительного пояса в образце № 1 существенно меньше, чем в образце № 3, что и объясняет причину разрыва деформируемой заготовки.

Рассмотрим критические варианты выполнения сварного соединения листовых заготовок ШКС.

*Уплотнительный пояс вокруг литого ядра отсутствует.* В этом случае литое ядро можно рассматривать как место жесткой заделки листовой заготовки наполнителя. В лучшем случае жесткая заделка останавливает равномерную пластическую деформацию заготовки вблизи шва и приводит к резкому перепаду по сечению стенки ячейки. Если в ходе формовки деформация затормаживается и локализуется в листовой заготовке вблизи сварного шва, как было отмечено в работе [4], это может привести к разрыву заготовки.

*Ширина уплотнительного пояса не ограничена.* В силу отмеченного выше различия пластических свойств и прочности соединения заготовок сварной шов при формовке будет вначале раскрываться в зоне схватывания, затем пластически растягиваться, не приходя к состоянию жесткой заделки. Когда ячейки будут отформованы, в стенке между ячейками останется двухсторонний выступ, конструктивно не предусмотренный. Для уменьшения выступа, из-за которого происходит предполагаемое растяже-

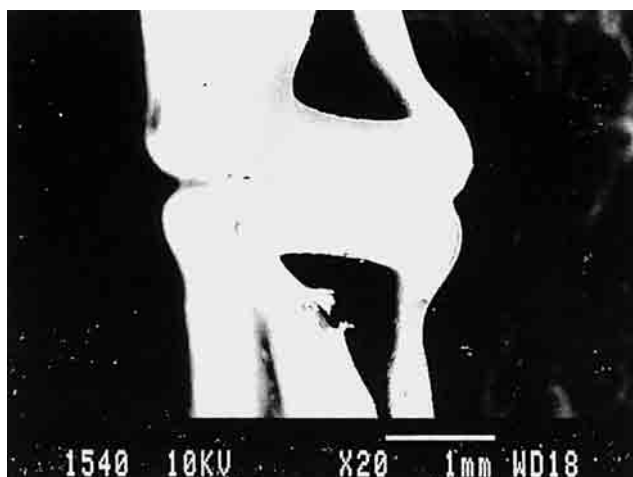


Рис. 2. Место разрыва деформируемой заготовки наполнителя в образце № 1

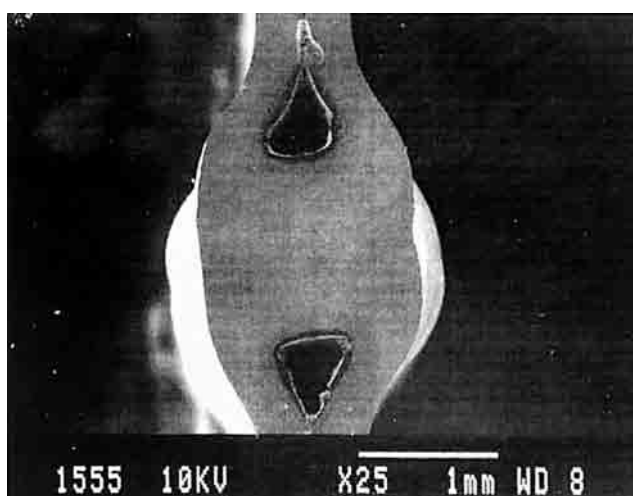


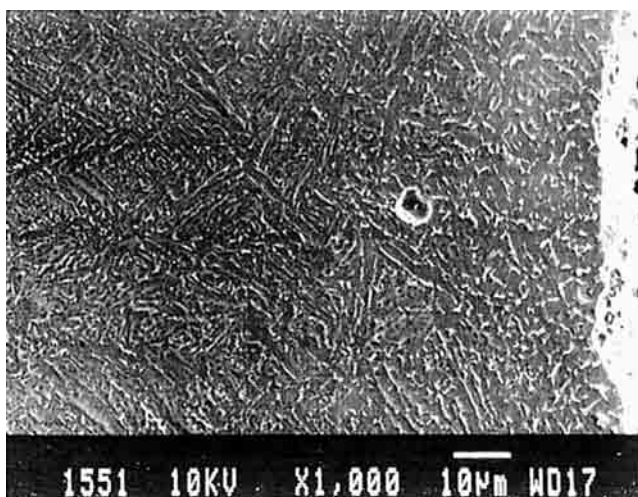
Рис. 3. Участок стенки наполнителя, включающий шов, в образце № 3

ние формируемой заготовки в этом месте, приводящее к разрыву, в работе [5] предусмотрен прием, заключающийся в уменьшении ширины сварного шва. Однако анализ причин разрывов показывает, что заготовка должна деформироваться вблизи сварного шва и локализация деформации в листовой заготовке не должна приводить к разрыву.

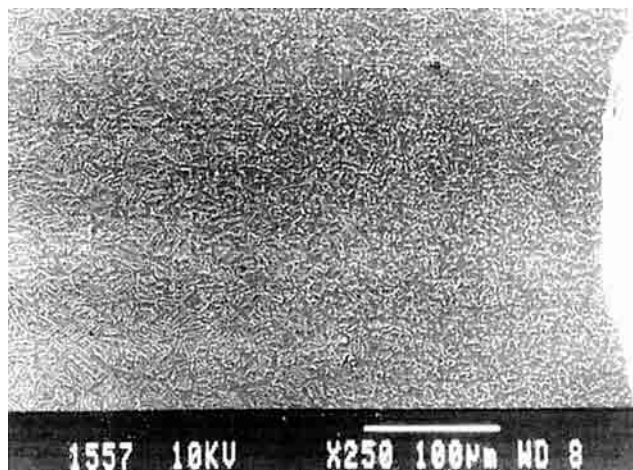
*Литая зона уменьшена и в пределе отсутствует.* В этом случае не обеспечивается требуемая для СПФ прочность соединения.

Таким образом, приемлемым вариантом сварного соединения листовых заготовок наполнителя, выполняемого ШКС, для изготовления многослойной ячеистой конструкции является такой, когда вокруг литого ядра присутствует уплотнительный пояс, т. е. зона соединения листовых заготовок наполнителя находится в пластическом состоянии и материал заготовки способен пластически деформироваться. Ширина уплотнительного пояса долж-

Номер образца	Размер литой зоны, мм	Ширина уплотнительного пояса, мм	Ширина зоны схватывания, мм	Результат формовки
1	2,748	0,121	0,395	Разрыв
2	2,278	0,207	0,396	Выступ в стенке
3	1,511	0,251	0,476	Плавный переход
4	—	0,371	0,768	Разрушение



а)



б)

Рис. 4. Микроструктура сварного соединения шва, соответствующая рис. 2, а и рис. 3, б

на составлять  $(0,3—0,5)s$  ( $s$  — исходная толщина листовой заготовки). В этом случае листовые заготовки наполнителя будут деформироваться без разрыва, кроме того, будет обеспечен плавный переход по сечению стенки ячейки.

Полученные результаты применяли при изготовлении модели полой лопатки. Модель лопатки получали из четырех листов в виде ячеистой конструкции с продольными ребрами жесткости. Материал листовых заготовок — титановый сплав ВТ6 толщиной 0,8 мм со средним размером зерен 0,5 мкм. ШКС заготовок наполнителя осуществляли на мягком режиме, ширина уплотнительного пояса составляла 0,25—0,35 мм. Для изготовления модели (рис. 5) применяли штамп, включающий фигурные матрицы, которые фиксировали с

помощью клинового соединения. Процесс СПФ/СД проводили в электронагревательной печи "Nabertherm" Mod. N161/13 при температуре  $790 \pm 10$  °С.

## ВЫВОДЫ

1. Для изготовления многослойных ячеистых конструкций с высотой ячейки меньше ее ширины из титановых сплавов с размером зерен менее 1 мкм шовную контактную сварку листовых заготовок наполнителя следует выполнять на режиме, обеспечивающем образование уплотнительного пояса вокруг литого ядра шириной, выбираемой из диапазона  $(0,3—0,5)s$  ( $s$  — исходная толщина листовой заготовки).

2. При высоте ячейки больше ее ширины значение ширины уплотнительного пояса из указанного диапазона необходимо скорректировать в сторону увеличения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сверхпластическая формовка конструкционных сплавов* / Под ред. Н. Пейтона, К. Гамильтона; Пер. с англ. М.: Металлургия, 1985. 312 с.
2. *Валиев Р. З., Корзников А. В., Мулюков Р. Р.* Структура и свойства металлических материалов с субмикроструктурной структурой // ФММ. 1992. № 4. С. 70—86.
3. *Гуревич С. М.* Справочник по сварке цветных металлов. Киев: Наукова думка, 1981. 608 с.
4. *Сверхпластическая формовка многослойных конструкций* / О. А. Кайбышев, А. А. Круглов, А. Р. Таюпов и др. // Кузнечно-штамповочное производство. 1990. № 9. С. 20—21.

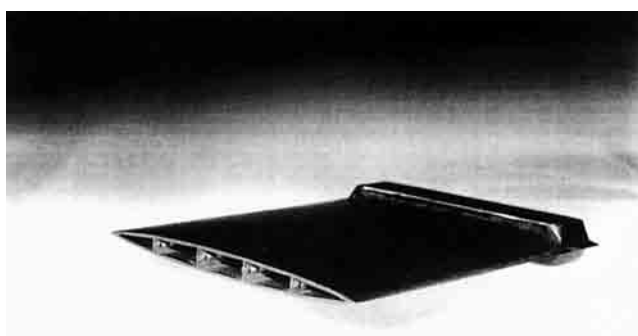


Рис. 5. Модель полой лопатки

**А. А. МИХЕЕВ, д-р техн. наук**  
(Сибирский федеральный университет),  
**С. В. ПРОКОПЬЕВ, канд. техн. наук**  
(Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. акад. Н. Ф. Решетнева)

## Формирование переходной зоны при диффузионной сварке пьезокерамики с металлами

Пьезокерамические материалы так же, как и магнитострикционные сплавы, в сочетании с различными металлами (сталями, медью, титаном, алюминиевыми сплавами) широко применяются в приборостроении, радиоэлектронике, устройствах автоматики, вычислительной, измерительной и медицинской технике [1]. С их использованием разработаны приводные устройства различного назначения с поступательным, вращательным и сложным видами движений. Пьезоэлементы также широко применяют в качестве преобразователей энергии сигналов в системах различного назначения.

Высоким требованиям к качеству соединений этих материалов, в первую очередь по таким параметрам, как механическая прочность присоединения к электроду и акустический контакт, в наибольшей степени отвечает диффузионная сварка, обеспечивающая получение прочного соединения пьезокерамики с металлами с сохранением исходных пьезоэлектрических и механических свойств пьезоэлементов.

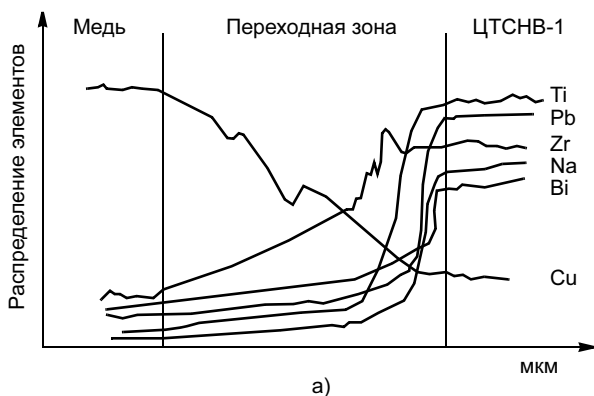
Разработка новых материалов с пьезострикционным эффектом, а также конструкций с использованием данных материалов, обуславливает необходимость изучения процессов формирования их соединений с металлами, влияния режимов сварки на эти процессы и технологий их получения.

В данной работе исследовали физико-химические процессы на границе раздела соединения пьезокерамика — металл, влияние параметров диффузионной сварки на формирование переходной зоны и механическую прочность этих соединений при статическом растяжении, а также на пьезоэлектрические характеристики пьезодатчиков. Качество пьезодатчиков оценивали по механическим и пьезоэлектрическим характеристикам. В качестве критерия оценки пьезоэлектрических характеристик принимали напряжение резонанса  $U_p$  и напряжение антирезонанса  $U_{ap}$ . Эти параметры являются одними из основных, влияющих на чувствительность пьезоэлемента.

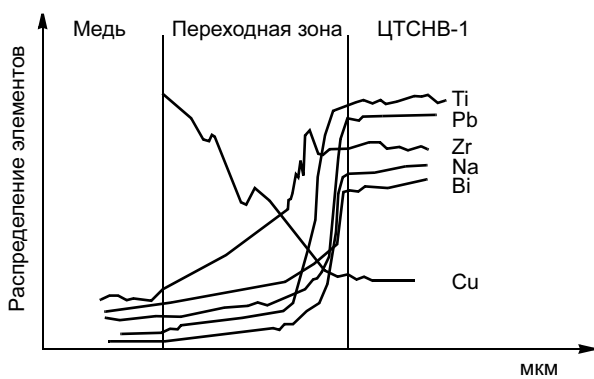
При экспериментальных исследованиях сегнетомягкую пьезокерамику ЦТСНВ-1 сваривали с медным электродом. Сварку образцов проводили на установке СДВУ-50, модернизированной как для сварки в вакууме, так и в защитном газе, с радиационным нагревом в специальном приспособлении. Для проведения микроанализа переходной зоны сварных соединений изготавливали микрошлифы размером  $5 \times 5 \times 5$  мм из образцов соединения медь М1 + пьезокерамика ЦТСНВ-1. Исследования переходной зоны проводили на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором РЭММА 202. Перед исследованием образцы механически полировали и для избежания накопления заряда на исследуемую поверхность напыляли тонкое электропроводное покрытие меди. Исследовали концентрационное распределение Cu, Zr и Ti в переходной зоне соединения.

На концентрационных кривых распределения элементов в переходной зоне (рис. 1) наблюдается увеличение содержания циркония в переходной зоне, которая составляет около 50—70 мкм. Содержание меди в переходной зоне постепенно снижается. Это можно объяснить диффузией меди по границам зерен в пьезокерамику. Содержание остальных элементов снижается и приближается к нулю.

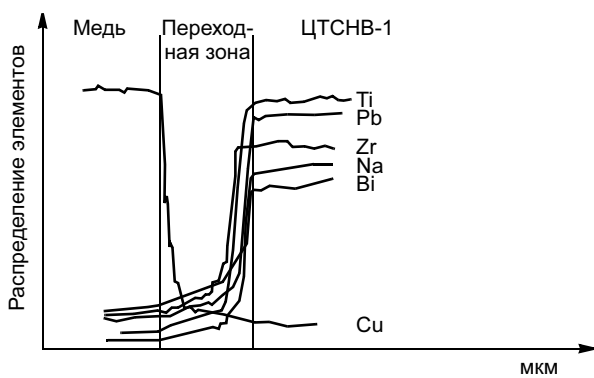
В работе [3], посвященной исследованию взаимодействия пьезокерамики ЦТС-19 с алюминиевым сплавом АМг6, авторы также отмечают, что интенсивность диффузии по границам зерен выше, чем по самому зерну. В то же время при наблюдении под микроскопом в светлом поле обнаружено, что в процессе сварки диффузия происходит не только по границам зерен керамики, но и в объеме кристаллов, о чем свидетельствует темная полоса в зоне сварки, видимая в поляризованном свете. Отмеченные на концентрационных кривых всплески магния связаны с тем, что диффузия магния по границам зерен керамики происходит более интенсивно и на большую глубину.



а)



б)



в)

Рис. 1. Распределение элементов в зоне соединения пьезокерамики ЦТСНВ-1 с медью ( $\tau = 40$  мин): а —  $T = 1103$  К;  $p = 7$  МПа;  $\sigma_{\text{раст}} = 15$  МПа; б —  $1103$  К,  $4$  МПа,  $10$  МПа; в —  $1063$  К,  $7$  МПа,  $8$  МПа

Коэффициенты взаимной диффузии, определенные графическим методом Матано по концентрационным кривым распределения элементов в переходной зоне сварного соединения медь — пьезокерамика, приведены в таблице.

Более высокие значения коэффициентов взаимной диффузии при повышении сварочного давления обусловлены увеличением объемов и скорости приповерхностной пластической деформации, что приводит к повышению контактных температур на сопрягаемых поверхностях.

Металл	Коэффициент взаимной диффузии $\check{D}$ , $\text{см}^2/\text{с}$ , при режиме сварки		
	$T = 1063$ К $p = 7$ МПа $\tau = 40$ мин	$T = 1103$ К $p = 4$ МПа $\tau = 40$ мин	$T = 1103$ К $p = 7$ МПа $\tau = 40$ мин
Cu в ЦТСНВ-1	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$
Ti в Cu	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
Zr в Cu	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$1,03 \cdot 10^{-7}$

В диффузионном массообмене при образовании соединения пьезокерамики ЦТСНВ-1 с медью участвуют все исследуемые элементы, в то же время переходная зона формируется преимущественно за счет взаимной диффузии Cu, Zr и Ti. В зависимости от режимов сварки ее ширина составляет от 20 до 60 мкм. Зависимость прочности сварного соединения от ширины переходной зоны приведена на рис. 2.

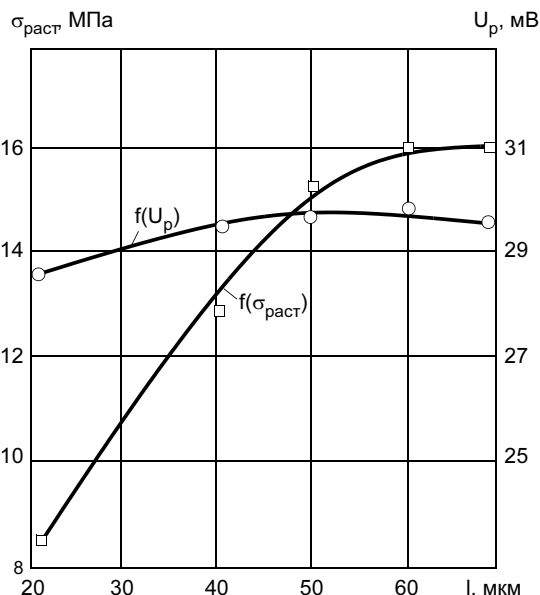


Рис. 2. Зависимость прочности соединения на растяжение и напряжения при резонансе от ширины переходной зоны

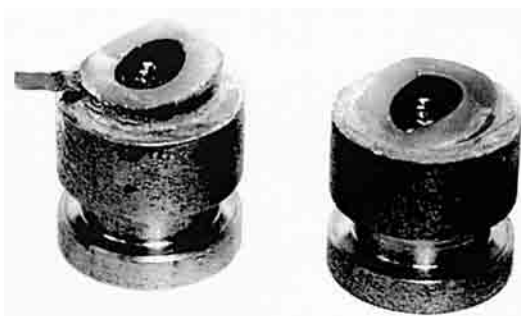


Рис. 3. Образцы после испытания на растяжение ( $T = 1103$  К;  $p = 7$  МПа;  $\tau = 40$  мин;  $\sigma_{\text{раст}} = 16$  МПа)

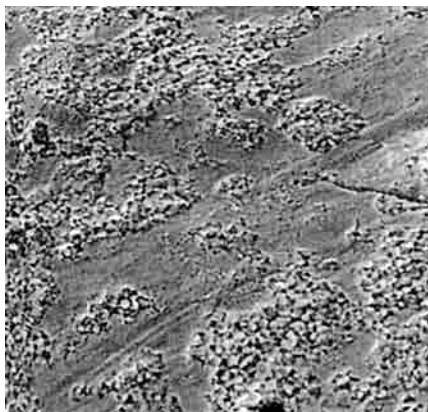


Рис. 4. Поверхность пьезокерамики после отрыва слоя меди.  $\times 1000$

Исследование влияния параметров сварки на механическую прочность соединения позволило определить параметры режима, при которых получены сварные соединения, практически равнопрочные пьезокерамике. При испытаниях соединений

на прочность их разрушение происходило как по керамике (рис. 3), так и границе контакта керамика — металл (рис. 4). При этом значения прочности соединения отличались незначительно. На керамике при разрыве по границе керамика — медь остается около 70—80 % меди.

## ВЫВОД

Диффузионная сварка пьезокерамики с металлами обеспечивает получение прочного соединения с сохранением исходных пьезоэлектрических и механических свойств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеев А. А. Композиционные диффузионные соединения. М.: СИП РИА, 1998. 112 с.
2. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах. М.: Metallurgy, 1978. 248 с.
3. Екимов А. И., Кириченко В. Я., Нырков Н. М. Взаимодействие пьезокерамики ЦТС-19 с алюминиевым сплавом АМг6 при диффузионной сварке // Сварочное производство. 2002. № 4. С. 22—25.

УДК 621.791.3.05:620.17

**М. В. ШИБАЛОВ**, канд. техн. наук, **А. Я. КУФАЙКИН**, канд. техн. наук  
**ФГУП "НПО им. С. А. Лавочкина"**

## Снижение дефектности паяных швов при изготовлении форсуночной головки

В данной работе рассмотрены технологические трудности, возникшие при освоении технологии пайки форсуночных головок (ФГ), которые следует рассматривать как типичные для подобных объектов. ФГ представляет трубчатый теплообменник, состоящий из жесткого корпуса 1 с двумя днищами и топливных форсунок 2, продетых в отверстия днищ и спаянных с ними (рис. 1). В одной ФГ может быть несколько сотен паяных швов. Основным техническим требованием к качеству изделия является обеспечение межполостной герметичности, т. е. герметичности паяных швов.

Процесс пайки ФГ включает следующие основные технологи-

ческие операции. Перед сборкой изделия на поверхность форсунок и днищ наносят слой гальванопокрытия, обычно никеля, для обеспечения смачивания паяемых поверхностей расплавом

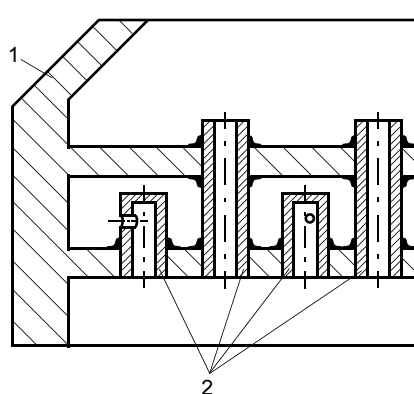


Рис. 1. Паяные швы форсуночной головки

припоя и затекания его в зазоры. Припой в виде колец вводят при сборке ФГ под пайку. Пайку выполняют в вакуумно-компрессионных или шахтных печах. В последнем случае ФГ помещают в жесткий контейнер, в котором крышка крепится к корпусу сваркой через тонкие обечайки. Анализ происхождения дефектов и способов их устранения может представлять интерес при изготовлении аналогичных паяных конструкций.

При выполнении опытно-конструкторских работ в процессе освоения технологии возникали следующие характерные дефекты, приводящие к нарушению герметичности паяных швов или геометрии ФГ.

**Неравномерное формирование паяных швов во внешних и внутренних рядах форсунок.** Например, в центре днища имеет место вытекание припоя из соединительного зазора, а во внешних рядах форсунок формируются галтели неправильной формы, иногда наблюдается неполное расплавление припоя. Причинами образования подобных дефектов являются недогрев периферии ФГ и перегрев ее центра. Казалось бы, из-за близости к нагревателям печи периферийные форсунки должны быть более горячими, чем центральные, но этого не наблюдается из-за значительно большей массы толстостенного корпуса ФГ по сравнению с массой тонкостенного днища. Для создания необходимой равномерности температурного поля потребовалось уменьшить скорость нагрева, а также применить тепловые экраны, защищающие днище от излучения.

**Образование нерасплавившейся корки припоя.** Уменьшение скорости нагрева может быть сопряжено с протеканием нежелательных физико-химических процессов, в результате которых образуется нерасплавившаяся корка припоя. Это связано с тем, что содержащиеся в припое некоторые элементы-депрессанты, понижающие его температуру плавления, имеют высокое парциальное давление насыщенного пара и интенсивно испаряются в процессе нагрева, особенно в условиях вакуума. Обедненные элемент-депрессантом поверхностные слои припоя остаются нерасплавленными при температуре пайки и образуют оболочку, из которой вытекает расплавившаяся внутренняя часть припоя, которая затекает в соединительный зазор и формирует паяный шов с галтелями уменьшенного радиуса. Такое явление не наблюдается при пайке в защитной

газовой атмосфере. Эффективным способом борьбы с ним является повышение температуры пайки, а также комбинирование вакуума на начальном этапе нагрева с газовой защитой при температуре пайки.

**Коробление днища.** Этот дефект проявляется в виде выпуклости, образующейся вследствие неравномерности температурного поля ФГ. Днище, находясь при более высокой температуре, чем корпус, в свободном состоянии имело бы большее температурное расширение. Но свободному температурному расширению днища препятствует контактирующий с ним корпус, что является причиной возникновения в корпусе растягивающих напряжений, а в днище — сжимающих. При некоторой неравномерности температуры сжимающие напряжения в днище достигают критической величины, при которой образуется выпуклость. Допустимую разность температуры днища и корпуса подбирают экспериментально и поддерживают с помощью экранов, регулирования скорости нагрева и др.

**Окисление паемых деталей.** На образование этого дефекта влияет недостаточная чистота защитной среды, что в свою очередь зависит от исходной чистоты применяемых газов и полноты удаления из контейнера атмосферных и десорбированных газов. При применении защитных газов в подготовительный период чередуют продувку с вакуумированием для сокращения времени очистки и повышения восстановительных свойств защитной среды.

При вакуумной пайке следует обеспечить соответствие скорости нагрева и скорости откачки из контейнера десорбированных газов и паров воды. Десорбция происходит интенсивно при температуре около 150 °С и сопровождается

снижением вакуума. В это время скорость нагрева необходимо уменьшить до восстановления исходной характеристики вакуума, а затем увеличить.

Однако указанный способ мало эффективен, если происходит натекание воздуха из-за потери герметичности сварных швов контейнера (как правило, сварных швов обечаек). Причем, если разгерметизация произошла при выгрузке контейнера из печи, то окисление паяного узла может не сопровождаться ухудшением качества паяных швов, как это имело бы место в случае разгерметизации при загрузке. Для уменьшения температурных напряжений в сварных швах в момент загрузки и выгрузки контейнера из печи на обечайках контейнера выполняли кольцевые зиги (выступы). Это существенно повысило термическую стойкость конструкции контейнера. Для дальнейшего повышения восстановительных свойств защитной среды в контейнере использовали геттеры в виде титановой губки или стружки, которые абсорбируют кислород из окружающей среды.

**Заплавление тангенциальных отверстий, скопление припоя между форсунками** (рис. 2). Причины образования этих дефектов несколько: введение в зону пайки избыточного количества припоя, превышение заданной температуры пайки из-за инерции нагрева, чрезмерная продолжительность выдержки при температуре пайки, некачественное



Рис. 2. Скопление припоя между форсунками

крепление термодпары и др. Иногда скопление припоя между форсунками удается устранить повторной пайкой.

Для стабилизации качества ФГ по этому виду дефектов при нанесении гальванопокрытия на форсунки их поверхность вблизи отверстий покрывали лаком, препятствующим осаждению гальванопокрытия. Поверхность форсунки без покрытия плохо смачивается расплавленным припоем, что препятствует поступлению расплава припоя к отверстиям и скоплению его между форсунками.

Эффективным способом защиты отверстий от проникновения в них расплава припоя является заполнение их при сборке под пайку быстротвердеющей пастой и последующее растворение ее в воде после пайки.

**Межполостная негерметичность** ФГ вызывается характерной группой дефектов. Причины их многообразны, вплоть до отсутствия кольца припоя при сборке ФГ под пайку. Отсутствие герметичности обычно визуально не обнаруживается. При металлографическом исследовании фиксируют причину: отсутствие припоя в так называемом нулевом зазоре, который в свою очередь образуется вследствие несоосности отверстий в днищах, перекоса форсунок, неравномерности толщины слоя гальванопокрытия, пористости металла паяного шва и др. На рис. 3 приведена рентгенограмма паяного шва с неравномерной шириной соединительного зазора. В нем пористость сосредоточена в области широкого зазора.

Литая структура металла паяного шва в широком зазоре также может способствовать появлению усадочной пористости и потере герметичности (рис. 4).



Рис. 3. Рентгенограмма паяного шва с неравномерной шириной зазора



Рис. 4. Усадочная пористость в широком зазоре

Стабилизация структуры и свойств паяных швов достигнута при изготовлении форсунок с винтовыми или аксиальными канавками на паяемых поверхностях. Нанесение накатки позволило повысить качество паяных швов, сделать их менее чувствительными к колебаниям ширины соединительного зазора, перекосам форсунок вследствие несоосности отверстий в днищах. Капиллярная сила, увлекающая расплав припоя в соединительный зазор, выше при нанесении накатки: система замкнутых капилляров лучше удерживает рас-

плавленный припой, чем плоский капилляр.

Наличие накатки не исключает образования усадочной пористости, но накатка дробит лабиринтную систему пор, которая могла быть в плоском зазоре, и уменьшает скорость натекания. Соотношение объема галтели и замкнутого капилляра, образованного одной ячейкой накатки, превосходит соответствующее отношение в паяном шве с гладким цилиндрическим зазором, поэтому галтель является более эффективным питателем для паяного шва с накаткой.

Для улучшения питания затвердевающих паяных швов форсунок успешно использовали повышение газового давления в конце выдержки при вакуумной пайке. Этот прием, кроме того, делает нечувствительным качество пайки к разгерметизации контейнера от термического удара при выгрузке из печи.

Иногда потеря межполостной герметичности происходит после стыковки ФГ с изделием под действием сварочных напряжений. Опасные радиальные и тангенциальные сварочные деформации в первом и втором рядах форсунок выявлены прямым наблюдением с помощью тензодатчиков, укрепленных на днище.

Реже причиной негерметичности является адсорбционное понижение прочности металла в присутствии расплавленного припоя. Основным способом борьбы с этим видом брака является создание условий, снижающих растягивающие напряжения в зоне контакта с расплавленным припоем, и предотвращение чрезмерного растекания припоя по поверхности изделия или оснастки в район, где такие напряжения присутствуют.

УДК 621.791:338.45

**Ю. В. БУДКИН, д-р техн. наук**  
**"МАТИ"-РГТУ им. К. Э. Циолковского**

## Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов в сварочном производстве

Цель инновационной программы как механизма реализации инвестиционно-инновационной политики состоит в установлении и поддержании в действующем состоянии процедур, обеспечивающих эффективное достижение целевых показателей. Содержание программы учитывает изменяю-

щиеся потребности и ожидания заинтересованных сторон.

Концепция Федеральной программы "Национальная технологическая база" на 2007—2011 гг. направлена на создание баланса инновационного развития и удовлетворения потребностей отечественной наукоемкой промыш-

ленности в новых базовых технологиях, обеспечивающих новые функциональные качества и конкурентоспособность производимой продукции с учетом обеспечения технологических аспектов национальной безопасности страны, независимости при реализации энергетической стратегии, стратегий развития промышленности и других основополагающих документов.

Программа должна стать катализатором коммерциализации результатов научно-технических процессов и повышения уровня капитализации предприятий и организаций разработчиков новой технологии за счет введения результатов научно-технических процессов в хозяйственный оборот.

Мероприятия программы ориентированы на обеспечение реализации, в том числе с созданием новых центров управления крупными комплексными проектами, требования к которым вытекают из анализа задач социально-экономического развития страны, обеспечения национальной безопасности и потребностей бизнеса.

Формирование структуры программы требует, с одной стороны, определения границ и структуры объекта программного планирования и управления, с другой — вы-



№. Структурные объекты. Исполнители подпрограмм			
1. Фундаментальные исследования	2. Разработка промышленных технологий	3. Регулирование инновационных процессов	4. Поддержка технических решений
Государственные научно-исследовательские учреждения	Государственные, частные организации — разработчики технологий	Федеральные ведомства, региональные департаменты	Государственно-частное партнерство

**Принципы и формы структуризации отраслевой инновационной программы развития сварочного производства**



Уровень управления	Принцип формирования политики управления	Инновационная программа	Определение функций управления	Способ воздействия на результат управления
Государственный заказчик — координатор программы	Исследование проблемы институциональных условий инновационного развития	Ведомственная отраслевая подпрограмма	Создание определенных институциональных условий. Совершенствование нормативно-правовой базы	Предоставление нормативно-правовой базы, регулирующей использование хозяйственного механизма
Государственные разработчики программы	Разработка схемы развития отрасли. Совершенствование механизмов государственного содействия в коммерциализации результатов научных разработок для социально-экономического развития, обеспечения национальной безопасности, удовлетворение потребности бизнеса	Ведомственная отраслевая подпрограмма	Разработка механизма смешанного финансирования с гибко настраиваемой величиной доли участия	Предоставление грантов (ресурсное обеспечение). Предоставление бюджетного кредита (ресурсное обеспечение). Предоставление лизинга (ресурсное обеспечение). Компенсация части кредитной ставки
Организация сварочного производства — разработчик новой технологии	Анализ исходной проблемы и рассмотрения альтернатив. Обоснование необходимых ресурсов	Инновационные проекты	Разработка программ создания инновационных продуктов и усовершенствованных технологических процессов. Определение ресурсов программ	Выбор стратегии и доли участия в инновационной программе
Бизнес-сообщество — инвесторы	Разработка схемы распределения ресурсов	Коммерческие проекты. Способ воздействия на результат управления	Разработка механизма возврата инвестиций. Разработка механизма распределения инвестиций в зависимости от технологического фона. Разработка смешанного финансирования	Проведение дискретного конкурса для выделения определенного ресурса

деления тех организационно-обособленных структур предприятия и организации производственных процессов, которые необходимы для создания объекта достижения целей программы<sup>1</sup>.

Как объект программного планирования отраслевая программа развития сварочного производства имеет многоуровневую структуру (см. рисунок).

В работе предложен механизм реализации отраслевой инновационной программы развития в сварочном производстве по принципам оперативного управления и хозяйственного ведения. Принцип оперативного управления отраслевой инновационной программы применяется в случае:

- если преобладающая или значительная часть производимой инновационной продукции, выполняемых работ, оказываемых услуг предназначена для федеральных государственных нужд, нужд субъекта РФ или муниципального образования;
- необходимости осуществления производственных процессов по разработке инновационных технологий, выполнению работ, оказанию услуг, реализуемых по установленным государством ценам в целях решения социальных задач;

<sup>1</sup> Мильнер Б. З., Евенко Л. И., Раппопорт В. С. Системный подход к организации управления. М.: Экономика, 1983. 224 с.

- необходимости разработки и производства отдельных видов инновационной продукции, обеспечивающей безопасность РФ;
- необходимости осуществления отдельных дозируемых видов инновационных процессов и ведения убыточных научно-исследовательских производств;
- необходимости осуществления инновационных процессов, предусмотренной федеральными законами исключительно для государственных предприятий.

Структурными объектами комплексной инновационной программы при использовании механизма оперативного управления являются государственный заказчик и государственный разработчик программы, организация-разработчик новой технологии, инвестор.

Оперативное управление инновационными процессами заключается в субсидиарной ответственности по обязательствам, принятым государственным заказчиком и государственным разработчиком.

Принцип хозяйственного ведения отраслевой инновационной программы применяется в случае, близком к случаю применения принципа оперативного управления.

Хозяйственное ведение инновационными процессами заключается в распоряжении имуществом без согласия собственника дирекции программы.

Таблица 2

Уровень управления	Принцип формирования политики управления	Инновационная программа	Определение функций управления	Способ воздействия на результат управления
Дирекция программы — ГУП	Содействие в проведении государственной политики. Развитие инновационной инфраструктуры. Разработка финансовых механизмов поддержки и развития инновационных процессов	Разработка механизма рыночных отношений в научно-технической сфере. Привлечение финансовых ресурсов, контроль за целевым, эффективным использованием. Содействие созданию рабочих мест. Поддержка в освоении и внедрении новых технологий. Привлечение отечественных и иностранных инвесторов в реализации государственных научно-технических программ	Разработка механизма достижения социально-экономического эффекта на территории реализации программы. Поддержка технического уровня развития отрасли	Налоговые поступления от реализации проектов. Увеличение числа малых предприятий. Создание рабочих мест. Долевое финансирование. Вовлечение в хозяйственный оборот интеллектуальной собственности. Конкурентоспособность. Проведение непрерывных конкурсов для выделения наименьшего ресурса
Организация сварочного производства — разработчик новой технологии	Анализ исходной проблемы и рассмотрения альтернатив. Обоснование необходимых ресурсов	Инновационные проекты	Разработка программ создания инновационных продуктов усовершенствованных технологических процессов. Определение ресурсов программы	Выбор стратегии и участия в инновационной программе
Бизнес-сообщество — инвесторы	Разработка схемы распределения ресурсов	Коммерческие проекты	Разработка инвестиционной составляющей финансирования. Разработка механизма распределения дохода в зависимости от размера инвестиций и дохода инвестора. Разработка механизма распределения затрат инвесторов от предполагаемых доходов	Принятие решения о выборе механизма финансирования на основе экспертной информации. Принятие решения о перераспределении рисков между инвесторами

При этом дирекция программ выполняет комплексную инновационную программу в интересах собственника — государственного заказчика.

Распределение основных функций структурных объектов комплексной инновационной программы при использовании механизмов оперативного управления и хозяйственного ведения приведено соответственно в табл. 1 и 2.

Из табл. 1, 2 следует, что по способу воздействия на результат управления предпочтительной инновационной программой в модели управления эффективностью инновационных процессов в сварочном производстве является программа, основанная на хозяйственном ведении. При механизме хозяйственного ведения социально-экономический результат от реализации инновационной программы более существенный.

В работе рассмотрены возможные стратегии инновационного развития организации сварочного производства. С этой целью выделены три этапа (стадии) жизненного цикла инновации:

1. Базовые технологические направления в исследованиях;
2. Разработка и производство продукта под контролем усовершенствованной технологии;
3. Опытно-промышленное освоение технологии, создание новых производств с капитальными вложениями инвесторов.

Таблица 3

Стратегия	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Номер стратегии
Начало	1	1	1	1
	1	1	0	2
	1	0	1	3
	1	0	0	4
	0	1	1	5
	0	1	0	6
	0	0	1	7
	0	0	0	8
Примечание. "1" соответствует реализации этапа, "0" — не реализации.				

Таблица 4

Стратегия инновационного развития организации сварочного производства			
Непрерывная			Разрывная (3)
Базовая (1, 4)	Промежуточная (2, 6)	Производственная (1, 5, 7)	

Соответственно получаем восемь стратегий, приведенных в табл. 3.

Организация может реализовать или не реализовать каждый из трех этапов. Отметим следующие общие свойства. Если организация реализует некоторый этап, то, согласно предложенным принципам и формам структуризации отраслевой инновационной программы развития сварочного производства, организация должна либо самостоятельно реализовывать предыдущий этап (за исключением случая, когда рассматриваемый этап является первым — наличие базовых технологических направлений), либо использовать заимствованные результаты предыдущего этапа, приобретая их у других организаций; в социально-экономической системе должны существовать потребители результатов реализации этого этапа — либо сама организация (за ис-

ключением случая, когда рассматриваемый этап является последним — опытно-промышленное освоение технологии — и потребитель может быть только внешним), либо другие организации.

Конечно, организация не ограничивается одной инновацией, однако стратегия инновационного развития организации отражает, какого рода инновации для нее наиболее типичны (какова инвестиционно-инновационная политика организации).

Отметим, что редкими бывают "разрывные" стратегии, т. е. те, в которых имеются пропуски в реализуемых организацией этапах. Достаточно массовой является "непрерывная" стратегия, заканчивающаяся производством. Назовем такую стратегию "производственной стратегией". Различные производственные стратегии отличаются числом последовательно реализуемых этапов.

Другая крайность — базовые технологические направления в исследованиях — непрерывные стратегии, начинающиеся с накопленных за предыдущие, длительные периоды существования организации технических решений и отличающиеся числом последовательно реализуемых этапов.

Также среди непрерывных можно выделить промежуточные стратегии (не заканчивающиеся производством). В промежуточных стратегиях этапы реализуются последовательно.

Таблица 5

№ стратегии	Характеристика инновационной программы
111	Непрерывная производственная стратегия, в рамках которой организация самостоятельно выполняет инновационную программу. Примерами служат крупные корпорации со своими исследовательскими лабораториями и КБ
110	Непрерывная промежуточная стратегия, заключающаяся в исполнении инновационной программы по разработке инновационного продукта. Типовые примеры — высокотехнологичные фирмы (как правило, небольшого размера), реализующие результаты своих разработок промышленным организациям и крупным корпорациям. Один из самых распространенных случаев на западе и практически полностью отсутствующий в современной России. Именно такие фирмы (проекты) финансируются инновационными венчурными фондами
101	Разрывная и редко встречающаяся на практике
100	Чистая стратегия, заключающаяся в выполнении инновационных программ для прикладных исследований
011	Непрерывная производственная стратегия, в рамках которой производственная организация самостоятельно выполняет инновационную программу по разработке и внедрению усовершенствованной технологии. Типовой пример — высокотехнологичная фирма
010	Чистая стратегия, заключающаяся в выполнении инновационной программы только по разработке инновационного продукта. Типовой пример — КБ. В некоторых странах существуют целые отрасли, где группируются организации, покупающие "разработки-незавершенки", не готовые к внедрению. Эти организации доводят разработки до состояния патента и продают. Другие организации внедряют патенты через организационные договоры. При этом выгода заключается в доведении исследования до конечной продукции с высокой добавленной стоимостью
001	Чистая производственная стратегия. Пример — промышленная фирма, не занимающаяся разработкой усовершенствованной технологии
000	Вырожденная стратегия

В данной работе предложена следующая система классификаций. Стратегии инновационного развития фирмы подразделяются на стратегии непрерывные и разрывные. Непрерывные стратегии в свою очередь подразделяются на стратегии базовые, производственные и промежуточные.

Классификация стратегий инновационного развития организаций сварочного производства приведена в табл. 4.

Непрерывные стратегии можно упорядочить, во-первых, по "степени фундаментальности" — в порядке убывания: базовые, промежуточные, производственные; во-вторых — по длине реализуемого этапа: стратегии 1, 2, 4; стратегии 6, 7; стратегии 1, 5 (см. табл. 3).

На приведенном рисунке на горизонтальной шкале показано влияние субъектов инновационной среды на инновационные процессы организации. Завершив описание системы классификаций, рассмотрим последовательно все восемь стратегий инновационного развития организации сварочного производства и выделим типичные стратегии реализации инновационных программ (табл. 5).

Исходя из перечисленных типовых стратегий инновационного развития организации, можно ставить и решать задачи стратегического выбора уровня подпрограммы и формы ее участия в отраслевой инновационной программе развития сварочного производства.

УДК 621.791:658.5.011.46

**В. М. ГРИШАГИН, канд. техн. наук, Д. Н. НЕСТЕРУК, инж.**  
**Юргинский технологический институт (филиал)**  
**Томского политехнического университета**

## Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ

В настоящее время большинство рекомендаций по оценке эффективности сварочных работ основаны на расчете снижения себестоимости работ в связи с сокращением затрат времени и количества используемых сварочных материалов. При этом не учитывается социальный фактор, определяющий качество выполненных работ в условиях конкретного производства. В большинстве случаев учет социальных факторов сводится к определению влияния опасных и вредных производственных факторов на производительность труда. Обоснованность этого подтверждена статистикой.

В целом по промышленности, а также в большинстве ее отраслей, наиболее распространенными вредными производственными факторами за последние 20 лет являлись сварочные аэрозоли. За период 1997—2001 гг. 25 % профессиональной заболеваемости в машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности составляют профессиональные заболевания от воздействия сварочных аэрозолей (пневмокониозы, неосложненный силикоз, силикотуберкулез, силикатозы, хронический бронхит, тотальные дистрофические заболевания верхних дыхательных путей).

Согласно ГОСТ 12.3.003—86, к наиболее существенным вредным производственным факторам относятся:

- химические (сварочные аэрозоли);
- физические (запыленность, загазованность, повышенная температура воздуха рабочей зоны, уровень шума на рабочем месте, опасный уровень напряжения в электрической цепи, уровень электромагнитных излучений, повышенная яркость света, повышенный уровень инфракрасной радиации);
- психофизиологические (физические и нервные перегрузки).

Для учета этих факторов в дополнение к традиционной методике<sup>1</sup> предлагается использовать интегральный коэффициент потерь рабочего времени по причине неблагоприятных условий  $K_{\text{Н}}^{\text{ИНТ}}$ .

Согласно стандарту, наиболее опасной с точки зрения количества возможных неблагоприятных факторов является дуговая сварка в защитных газах. Ниже приведена методика расчета годового

<sup>1</sup> Федько В. Т. Технология, теоретические основы и средства снижения трудоемкости при сварке в углекислом газе: Учебник. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2004. 398 с.

экономического эффекта от использования дуговой сварки в защитных газах с применением защитных покрытий.

Годовой экономический эффект от применения защитных покрытий можно определить, используя известную формулу для расчета экономической эффективности нового технологического процесса

$$\mathcal{E} = (C_1 + E_H K_1) - (C_2 + E_H K_2), \quad (1)$$

где  $C_1, C_2$  — затраты на производство годового объема сварочных работ по зачистке поверхности изделий от налипания брызг расплавленного металла соответственно по сравниваемым вариантам на один сварочный пост в год, руб.;  $E_H$  — нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности;  $K_1, K_2$  — капитальные вложения на производство годового объема сварочных работ по зачистке изделий от брызг соответственно по сравниваемым вариантам, руб.

Затраты на производство годового объема сварочных работ по зачистке изделий от брызг расплавленного металла по сравниваемым вариантам с учетом применения защитных покрытий

$$C = \sum_{i=1}^m C_i l_i n_i, \quad (2)$$

где  $C_i$  — себестоимость зачистки 1 м шва  $i$ -го типоразмера, руб.;  $l_i$  — протяженность шва  $i$ -го типоразмера, м;  $n_i$  — количество швов  $i$ -го типоразмера.

Себестоимость зачистки сварного шва определяется по калькуляционным статьям затрат по каждому из сравниваемых вариантов сварочного производства. Затраты на материалы, применяемые при зачистке изделий от сцепления брызг, складываются из затрат на основные и вспомогательные материалы (сырье, полуфабрикаты, электроэнергию, виброинструмент и сжатый воздух):

$$C_M = \sum_{1}^m \sum_{i=1}^n P_{Mi} U_i, \quad (3)$$

где  $m$  — количество типоразмеров сварных швов;  $n$  — количество видов основных и вспомогательных материалов;  $P_{Mi}$  — расход основных и вспомогательных материалов, г;  $U_i$  — стоимость единицы  $i$ -го вида основных и вспомогательных материалов, руб.

Расход основных и вспомогательных материалов  $P_{Mi}$  производят по установленным нормам и фактическому расходу, при этом необходимо учитывать уменьшение потерь материалов в результате внедрения новых технологий. Стоимость покупных, основных и вспомогательных материалов  $U_M$  определяется на основе действующих оптовых цен

с учетом транспортно-заготовительных расходов, а стоимость основных материалов собственного производства — исходя из плановой или фактической себестоимости.

Расход сварочной проволоки на сварную конструкцию (изделие) в общем виде определяется по формуле

$$P_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n H_{pi} L_i K_{pi}, \quad (4)$$

где  $H_{pi}$  — норматив расхода проволоки на 1 м шва  $i$ -го типа при данной толщине свариваемого металла, кг;  $L_i$  — длина шва  $i$ -го типа, м;  $K_{pi}$  — коэффициент расхода сварочной проволоки данного вида на 1 кг наплавленного металла, установленный экспериментально с применением и без применения покрытий для защиты поверхности свариваемых изделий от налипания брызг. Этот коэффициент учитывает потери на угар, испарение, окисление и разбрызгивание.

Стоимость проволоки

$$C_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} U_{\text{пр}}, \quad (5)$$

где  $U_{\text{пр}}$  — стоимость 1 кг проволоки, руб.

Стоимость израсходованного газа на один сварочный пост в год

$$C_{\text{газ}} = F_{\text{CO}_2} U_{\text{газ}} = P_{\text{пр}} K_{\text{CO}_2} U_{\text{газ}}, \quad (6)$$

где  $F_{\text{CO}_2}$  — расход газа на один сварочный пост в год, кг;  $U_{\text{газ}}$  — стоимость 1 кг  $\text{CO}_2$ , руб.;  $K_{\text{CO}_2}$  — коэффициент расхода  $\text{CO}_2$  на 1 кг сварочной проволоки.

Затраты на защитные покрытия

$$C_{\text{пок}} = R_{\text{пок}} U_{\text{пок}} = r_{\text{пок}} L U_{\text{пок}}, \quad (7)$$

где  $R_{\text{пок}}$  — расход защитных покрытий на один сварочный пост в год, кг;  $r_{\text{пок}}$  — расход покрытий на 1 м шва, кг;  $L$  — протяженность сварных швов, м;  $U_{\text{пок}}$  — стоимость покрытий на 1 м шва, руб.

Зачистку сварных швов и ОШЗ производят виброинструментом (пневмомолотком, зубилом), следовательно, необходимо определить также затраты на используемый виброинструмент:

$$C_{\text{ин}} = \frac{\tau}{\delta_M} U_M + \frac{\tau}{\delta_3} U_3, \quad (8)$$

где  $\tau$  — трудоемкость зачистки поверхности изделий на один сварочный пост в год, ч;  $\delta_M$  — средняя стойкость пневмомолотка, ч (по данным ЮМЗ, 190 ч);  $\delta_3$  — средняя стойкость зубила (ЮМЗ — 8 ч);  $U_M$  — стоимость пневмомолотка, руб.;  $U_3$  — стоимость зубила, руб.

Трудоемкость  $\tau$  определяется с учетом трудоемкости  $\tau'$  на зачистку 1 м шва без применения защитного покрытия и длины сварного шва  $L_{\text{ш}}$ .

Трудоемкость в результате снижения набрызгивания в зависимости от применяемых защитных покрытий

$$\tau_0 = \frac{K_3 \tau}{K}, \quad (9)$$

где  $K_3$  — коэффициент набрызгивания в зависимости от применяемого защитного покрытия, %;  $K$  — коэффициент набрызгивания без применения защитного покрытия, %.

Общая трудоемкость зачистки поверхности изделия от налипших брызг после сварки с учетом применения защитных покрытий на один сварочный пост

$$\tau' = \tau_0 + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{сн}}, \quad (10)$$

где  $\tau_{\text{н}}$  — трудоемкость нанесения защитных покрытий, ч, равная  $\tau''_{\text{н}} L/60$  ( $\tau''_{\text{н}}$  — трудоемкость нанесения защитных покрытий на 1 м, мин);  $\tau_{\text{сн}}$  — трудоемкость снятия защитных покрытий перед нанесением лакокрасочных покрытий, ч, равная  $\tau''_{\text{сн}} L/60$  ( $\tau''_{\text{сн}}$  — трудоемкость снятия защитных покрытий перед нанесением лакокрасочных покрытий на 1 м, мин).

Трудоемкость сварки на один сварочный пост в год

$$\tau_{\text{св}} = K_{\text{п}} \tau, \quad (11)$$

где  $K_{\text{п}}$  — коэффициент расхода сварочной проволоки с учетом применения защитного покрытия.

Затраты на сжатый воздух  $C_{\text{в}}$  определяют исходя из трудоемкости на зачистку изделий от налипших брызг, т. е. время работы виброинструмента

$$C_{\text{в}} = P_{\text{в}} \underline{L}_{\text{в}} = \tau \gamma_{\text{в}} \underline{L}_{\text{в}},$$

где  $P_{\text{в}}$  — расход сжатого воздуха при работе виброинструмента, м<sup>3</sup>/ч;  $\underline{L}_{\text{в}}$  — стоимость 1000 м<sup>3</sup> сжатого воздуха, руб.

Заработная плата рабочих, занятых на зачистке поверхности свариваемых изделий от налипших брызг,

$$C_{\text{з.п}} = \tau_{\text{св}} \underline{C}_{\text{р}} + \frac{\tau_{\text{св}} \underline{C}_{\text{р}} (H_{\text{з.д}} + H_{\text{с.ст}} + H_{\text{р}})}{100}, \quad (12)$$

где  $\underline{C}_{\text{р}}$  — средняя часовая тарифная ставка соответствующего разряда, руб.;  $H_{\text{з.д}}$  — процент дополнительной заработной платы за отчетный период, %;  $H_{\text{р}}$  — процент отчислений на социальное страхование, %;  $H_{\text{п}}$  — районный коэффициент, %.

Заработная плата сварщика в пересчете на один сварочный пост в год

$$C_{\text{з.п}} = \tau_{\text{св}} \underline{C}_{\text{р}} + \frac{\tau_{\text{св}} \underline{C}_{\text{р}} (H_{\text{з.д}} + H_{\text{с.ст}} + H_{\text{р}})}{100}, \quad (13)$$

где  $\underline{C}_{\text{р}}$  — средняя тарифная ставка соответствующего разряда на сварку, руб.

Годовой экономический эффект на один сварочный пост зачистки поверхности изделий от брызг с применением защитных покрытий

$$\begin{aligned} \Delta = & (C_{\text{з.п}} + C_{\text{св}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{газ}} + C_{\text{ин}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{в}} + \\ & + C_{\text{пок}} + E_{\text{н}} K_1) - (C'_{\text{з.п}} + C'_{\text{св}} + C'_{\text{пр}} + C'_{\text{газ}} + \\ & + C'_{\text{ин}} + C'_{\text{эл}} + C'_{\text{в}} + C'_{\text{пок}} + E_{\text{н}} K_2). \end{aligned} \quad (14)$$

Воздействие социально-экономических факторов (социально-экономические условия на пред-

Таблица 1

Сварка	$K_{\text{ок}}$	$K_{\text{оф}}$	$K_{\text{оп}}$
Ручная дуговая:			
с подогревом	1	0,7	0,5
без подогрева	1	0,9	1,0
Дуговая под флюсом:			
механизованная	1	0,4	1,0
автоматическая	1	0,2	0,5
с подогревом или многопроходная	1	0,5	0,5
Дуговая в защитных газах:			
с подогревом	1	0,9	1,0
без подогрева	1	0,9	1,0
механизованная	1	0,9	1,0
механизованная с подогревом	1	0,9	1,0
автоматическая	1	0,7	0,5
Электрошлаковая	1	0,7	0,5
Контактная:			
точечная	1	0,5	0,5
шовная	1	0,5	0,5
стыковая	1	0,8	0
рельефная	1	0,5	0

Таблица 2

Значение $\alpha_i$	Характер вредного воздействия
0	Не превышает допустимого значения
0,1	Превышает не более чем на 10 %
0,2	То же, на 20 %
0,3	То же, на 30 %
0,4	То же, на 40 %
0,5	То же, на 50 %
0,6	То же, на 60 %
0,7	То же, на 70 %
0,8	То же, на 80 %
0,9	То же, на 90 %
1,0	То же, на 100 %
2,0	Превышение допустимого значения более чем в 2 раза

приятии или касающиеся комфортных условий работников) на производительность труда рассчитываются следующим образом.

Потери рабочего времени

$$\mathcal{E}_{\text{рв}}^{\text{б}} = \Phi_{\text{б}} \cdot \mathcal{C}_{\text{р}} \cdot \mathcal{U} \cdot \mathcal{H}_{\text{вр}}^{\text{н}} \quad (15)$$

где  $\Phi_{\text{б}}$  — среднее число дней, пропущенных рабочим по болезни (за период);  $\mathcal{C}_{\text{р}}$  — численность рабочих;  $\mathcal{U}$  — удельный вес рабочих в общей численности ПП;  $\mathcal{H}_{\text{вр}}^{\text{н}}$  — среднесуточная норма времени работы, нормо-ч.

Для учета неблагоприятных условий работы вводят коэффициент  $K_{\text{н}}^{\text{инт}}$ .

Потери рабочего времени по причине неблагоприятных условий работы

$$\mathcal{E}_{\text{рв}}^{\text{нб}} = \mathcal{E}_{\text{рв}}^{\text{б}} (1 + K_{\text{н}}^{\text{инт}}), \quad (16)$$

где  $K_{\text{н}}^{\text{инт}} = (1 + \alpha_1)K_{\text{ох}} + (1 + \alpha_2)K_{\text{оф}} + (1 + \alpha_3)K_{\text{оп}}$ .

Здесь  $K_{\text{ох}}$ ,  $K_{\text{оф}}$ ,  $K_{\text{оп}}$  — показатели значимости опасных и вредных производственных факторов в зоне пребывания рабочего в зависимости от применяемого вида сварки (химических, физических и психофизиологических соответственно) (табл. 1);  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_i$  — весовые коэффициенты, учитывающие характеристики технологического процесса на предприятии, определяются в зависимости от превышения соответствующего показателя предельно допустимого значения (табл. 2).

Влияние неблагоприятных производственных факторов на финансовый результат (убыток) по причине неблагоприятных условий работы

$$\mathcal{Y}^{\text{нб}} = \Phi_{\text{б}} \cdot \mathcal{C}_{\text{р}} \cdot \mathcal{U} \cdot \mathcal{H}_{\text{вр}}^{\text{нб}} \cdot K_{\text{н}} \cdot \mathcal{C}_{\text{ед}}, \quad (17)$$

где  $\mathcal{H}_{\text{вр}}^{\text{нб}}$  — среднесуточная норма выработки рабочего, ед.;  $\mathcal{C}_{\text{ед}}$  — стоимость единицы продукции (1 м сварного шва).



Финская фирма «Кемппи» изготавливает и воставляет на российский рынок

# СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

**для промышленного и бытового применения  
для MIG-, TIG-, MMA-сварки**

высококачественные, высокотехнологичные, трансформаторные и инверторные с синергетическим управлением, для роботизированной сварки

**сварочные горелки, запчасти, маски, аксессуары**

**ООО "Кемппи" — дочерняя фирма производителя**

127018, Москва, ул. Полковая, 1, стр. 6,

тел.: (495) 739-43-04, факс: (495) 739-43-05

e-mail: [info.ru@kemppi.com](mailto:info.ru@kemppi.com).

<http://www.kemppi.com>

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:061.2/4

## IV Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007"

С 5 по 7 декабря 2007 г. в Москве при поддержке Департамента науки и промышленной политики Москвы прошла IV Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007", организованная ООО "Компания МКМ ПРОФ". В работе выставки приняли участие более 70 научных организаций РАН, вузов, промышленных предприятий, фирм и компаний.

Ниже приведены организации и их новые разработки и инновационные проекты.

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

— новый класс наноструктурных электротехнических  $Cu-Nb$  проводов сверхвысокой прочности и электропроводности круглого и прямоугольного поперечных сечений. Области применения: микропровода — в устройствах резонансной передачи электроэнергии; индукторы — для магнитоимпульсных штамповки и сварки; фольга — в электронике для гибких печатных плат и проводов; крупные магнитные системы;

— нанокристаллические высокоемкие конденсаторные порошки тантала для изготовления высоконадежных танталовых конденсаторов для электронной аппаратуры. Впервые в России разработана технология получения данных порошков;

— производство (первое в России) нанокристаллических магнитотвердых материалов широкого назначения для радиоэлектроники, авиационной и автомобильной промышленности, атомной энергетики и др. Основные преимущества: управляемые прочностные характеристики, повышенная коррозионная стойкость, высокая точность геометрических размеров и др.;

— наночелночисточное оборудование нового поколения на основе наноструктурированных пористых металлов и сплавов для атомной, аэрокосмической, медицинской, биологической, пищевой, химической промышленности, в частности, фильтроэлементы патронные и трубчатые из пористых коррозионно-стойких стали, титана, циркония и других сплавов, мембранные фильтры высокой производительности и эффективной фильтрации до

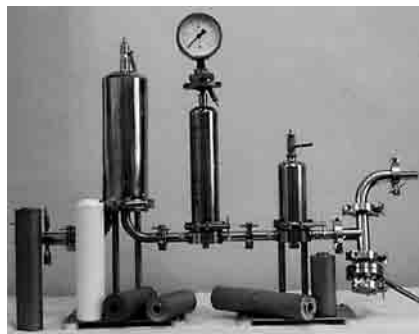


Рис. 1. Микрофильтрационная система

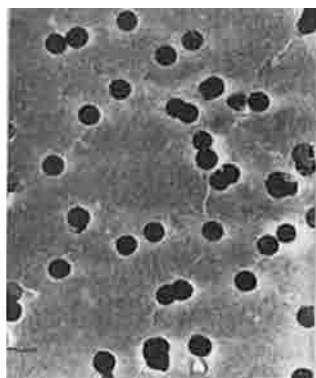
99,9995 %, сепарирующие трубки с тонкими капиллярно-пористыми стенками (рис. 1).

### **Институт кристаллографии РАН им. А. В. Шубникова (Москва):**

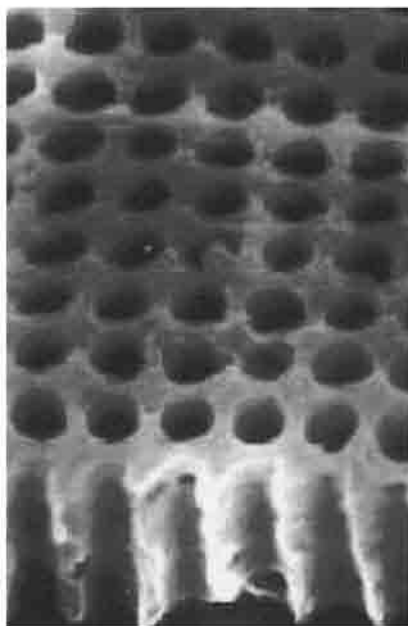
— получение одномерных нанокристаллов, размер которых в поперечном направлении определяется размером канала одностенных углеродных нанотрубок (ОСНТ) и составляет одну-две элементарные ячейки. Такие нанокристаллы существенно отличаются по свойствам от традиционных объемных кристаллических материалов;

— трековые наномембраны (тонкие, пористые пленки), получаемые в результате облучения исходных (непористых) полимерных пленок высокоэнергетическими частицами с последующим травлением их треков до образования сквозных пор (рис. 2). Диапазон размеров пор от 20 до 200 нм. Толщина мембран 5—50 мкм. Количество пор на  $1\text{ см}^2$  от  $10^5$  до  $10^{10}$ . Разброс размеров пор не выше 10 %. Область применения: очистка кристаллизационных растворов в производстве водорастворимых кристаллов; системы газодиффузионной очистки воздуха от пылевых, радиоактивных, бактериальных и вирусных частиц и др. Трековые мембраны с асимметричной структурой пор отличаются повышенной в 3—7 раз производительностью





а)



б)



в)

**Рис. 2. Трековая наномембрана:** а, б — поверхности обычной и регулярной трековой мембраны соответственно; в — нанострия на поверхности лейкосапфира, облученного высокоэнергетическими тяжелыми ионами

по сравнению с традиционными трековыми мембранами.

**Институт проблем химической физики РАН** (Черноголовка Московской обл.) — фотокаталитический очиститель воздуха "Нанолюкс"

для очистки воздуха в жилых и общественных помещениях от органических загрязнений бытового, промышленного и биологического происхождения. Работа прибора основана на фотокаталитическом окислении органических примесей на поверхности нанокристаллического диоксида титана под воздействием ультрафиолетового излучения.

Производительность по воздуху 30 м<sup>3</sup>/ч, потребляемая мощность 40 Вт, габаритные размеры 122 × 122 × 600 мм.

Прибор "Нанолюкс" награжден серебряной медалью на Международном салоне изобретений в Женеве в 2005 г.

**Вятский государственный университет** (г. Киров):

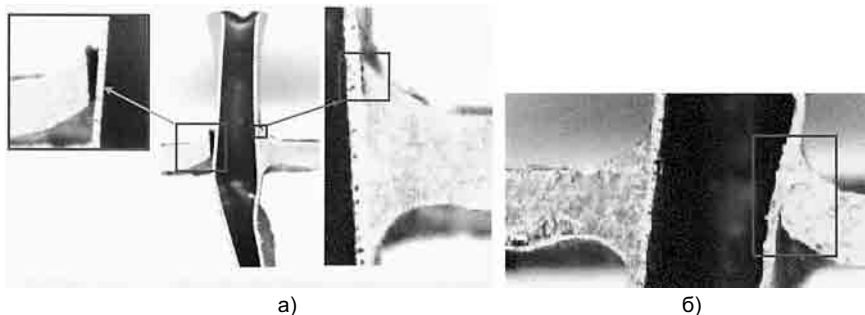
— виброшумопоглощающий высокотехнологичный наноструктурированный сплав на основе цинка—алюминия (сплав ЦА-26), который по своим параметрам (демпфирующей способности, прочности, плотности, пластичности и др.) превосходит лучшие зарубежные аналоги;

— лазерно-плазменное наноструктурирование поверхностных слоев материалов — лазерное воздействие на материалы с формированием приповерхностной плазмы от излучения лазера при атмосферных условиях. Применение данной технологии позволяет повысить механические, триботехнические свойства поверхностных слоев, а также

управлять их электрическими, магнитными, оптическими характеристиками, что повышает ресурс изделий в целом;

— технология устранения негерметичности радиаторов методом лазерной сварки-пайки. Для этого используется импульсный режим генерации лазерного излучения. Телевизионная система наблюдения позволяет точно наводить луч лазера на место дефекта, а волоконно-оптическая — производить легкий и быстрый переход с одного дефекта на другой. Высокая точность дозировки лазерной энергии (импульса) исключает образование прожогов (рис. 3).

**Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина** — нанодисперсные магнитные жидкости — уникальный искусственно синтезированный материал, обладающий одновременно текучестью и магнитными свойствами. Сочетание этих свойств обеспечило создание новых технологических устройств и технологий в различных областях науки, техники и производства. Область применения: магнитожидкостные уплотнения, очистка водных поверхностей от нефтепродуктов, магнито-управляемая смазка в узлах трения деталей машин и механизмов, тонкое разделение и сепарация материалов с различной плотностью. Разработки университета отмечены преми-



**Рис. 3. Технология устранения негерметичности радиаторов методом лазерной сварки-пайки:** а — поперечное сечение непропая радиаторной трубки; б — шлиф места дефекта, обработанного в режиме лазерной сварки-пайки

ей Правительства РФ в области науки и техники.

**Казанский государственный технологический университет:**

— технология получения композиционных наноструктурированных металлических и металло-оксидных порошков на основе элементного железа и его композиций с другими металлами (бинарные или более сложные системы), которые обладают особыми повышенными прочностными свойствами. На основе этой технологии методами порошковой металлургии можно создавать новые композиционные материалы и сплавы для различных отраслей промышленности (фильтры для очистки горючих и смазочных материалов, газов, катализаторы и др.);

— нанотехнология получения электропроводной полимерной композиции на основе полисульфидных олигомеров (высокомолекулярных соединений, например, многих смол, смазочных масел и др.), удельное сопротивление которой может изменяться в широких пределах (от диэлектриков до полупроводников). Температурная зависимость удельного объемного сопротивления материала носит ярко выраженный "металлический" характер, температурный коэффициент сопротивления больше, чем у металлов. Эти свойства полимерных композиций могут быть использованы при разработке проводящих покрытий, температурных датчиков, тепловыделяющих элементов. Саженаполненные композиции на основе полисульфидных олигомеров могут служить основой для создания материала греющего элемента.

Тепловыделяющий материал заполняет пространство между двумя токоведущими электродами. При приложении электрического напряжения каждый элемент объема материала выделяет теплоту. Одновременно в зави-

симости от температуры и условий теплоотдачи поверхность элемента рассеивает некоторое количество теплоты в окружающую среду. Материал нагревается и достигается тепловой баланс. Область применения: саморегулирующиеся тепловыделяющие элементы в виде покрытий или кабеля для поддержания рабочего температурного режима технологического оборудования.

**Инженерно-медицинский центр (ИМЦ) "МАТИ-Медтех" "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского** (Москва) — разработки новых биологически и механически совместимых с тканями человека материалов функционального назначения и спецматериалов для медицинского инструмента, в том числе наноструктурных материалов (имплантантов, эндопротезов различного назначения, фиксаторов саморегулирующихся, полуфабрикатов из никелида титана, эндоскопических инструментов для хирургии и др.) (рис. 4).



**Рис. 4.** Фиксатор саморегулирующийся для укрепления связочно-хрящевых структур суставов части руки человека

**ЗАО "Институт прикладной нанотехнологии"** (Москва—Зеленоград):

— наноматериалы для повышения экологических, энергосберегающих и эксплуатационных свойств моторных топлив (добавки к маслам и смазкам, которые повышают несущую способность масляной пленки, формируют на поверхности трения детали тонкие защитные (противоизносные

и антифрикционные) наноструктурированные слои;

— технология и организация производства получения экологически чистых нанокomпонентов красок и покрытий, обеспечивающих высокие бактерицидные, антикоррозионные и ресурсные свойства различных изделий.

**Научно-исследовательский институт точного машиностроения — НИИТМ** (Москва—Зеленоград) — технологическое оборудование в области нанотехнологии: "Наномагна" — вакуумная установка магнетронного нанесения каталитических слоев наноструктур, "Наноалмаз" — вакуумная установка плазмохимического осаждения наноструктур, "Наноплазма" — вакуумная установка ионно-плазменного травления наноструктур, "Отжиг" — электропечь для обработки наноматериалов в водороде. Данное оборудование применяется для производства наноприборов.

**ЦНИИ конструкционных материалов "ПРОМЕТЕЙ"** (Санкт-Петербург):

— разработка и организация производства прогрессивных металлических, неметаллических, композиционных и функциональных наноструктурированных материалов для различных отраслей науки, техники и промышленного производства (судостроения, машиностроения, атомной энергетики, медицины и др.);

— сварочные материалы (электроды, проволока, флюсы) и технологии (лазерного упрочнения, упрочнения методом комплексной ионно-плазменной обработки и др.), а также оборудование для сварки и нанесения защитных покрытий.

**ФГУП "Горно-химический комбинат"** (Железногорск, Красноярский край) — инвестиционный проект "Развитие производства полупроводникового кремния" реализуется в рамках конверсии оборонного производства

и имеет федеральное значение. Ввод в эксплуатацию — II кв. 2008 г. Объем готовой продукции — поликристаллического кремния (ПКК) — составит 200 т/год.

**ФГУП "Сибирский химический комбинат"** (ЗАТО "Северск" Томской обл.):

— технология изготовления керамических изделий из диборида циркония  $ZrB_2$ . Синтез порошка осуществляется с использованием полученного на комбинате плазмохимического порошка диоксида циркония. Керамические изделия получают методом порошковой металлургии (горячим прессованием);

— плазмохимическая технология получения порошков простых и сложных оксидов, в том числе оксидных порошков с нанокристаллической структурой. Применение плазменных нанопорошков позволяет улучшить потребительские свойства изделий, создаваемых с использованием порошковых и керамических технологий. На комбинате имеются соответствующие установки для выпуска порошков более 20 т в год. Получаемые порошки обладают нанокристаллической структурой: оксиды  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , модифицированные различными добавками (V, Se, Ca, Mg), ферриты различных составов, литированные оксиды и др. с широким спектром размерных характеристик частиц порошков от 12 до 800 нм. Область применения: керамические изделия, магнитопроводы, катоды, добавки к шихтовым смесям, защитные покрытия и др.

**ФГУП "Уральский электрохимический комбинат"** (Новоуральск Свердловской обл.):

— разработка новейших технологий в области электрохимии, порошковой металлургии, катализа (катализатор топливных элементов, катализатор для нейтрализации выхлопных газов);

— инновационный проект "Совершенствование нейтрализаторов выхлопных газов — сни-

жение содержания драгметаллов за счет внедрения нанотехнологий";

— разработка энергоустановок с использованием нанотехнологий: электрохимический генератор тока на водород-кислородных (воздушных) топливных элементах (электрохимический генератор "Фотон-МВК" и "Фотон-МВВ" соответственно для автомобиля "Нива" ВАЗ-2131 и ВАЗ-2111. На рис. 5 приведен электрохимический генератор "Фотон-МВВ" для автомобиля ВАЗ-2111. Характеристики: мощность 45 кВт, напряжение 240 В, реагенты — водород, кислород, давление 0,4 МПа, масса 145 кг.

**ООО "НЬЮМЕРИКАЛ ВИЖИОН"** (Москва):

— производство интерференционных датчиков перемещения IDS-4-LD (пороговая чувствительность 0,05 нм, скорость перемещения образца до 1 мм/с, автоматическая настройка, малые габаритные размеры) (рис. 6). Область применения: измерение размеров нанообъектов в исследовательских целях, точное позиционирование инструмента в нанотехнологических установках, высокоточное измерение температуры, давления, массы, ускорения, скорости и др.;

— безлинзовый цифровой голографический микроскоп IDHM-4 (разрешение по высоте 3 нм, ра-



Рис. 5. Электрохимический генератор "Фотон-МВВ" для автомобиля ВАЗ-2111



Рис. 6. Малогабаритный датчик наноперемещения IDS-4-LD

бота в отраженном свете, размер поля до  $200 \times 200$  мкм, малые габаритные размеры). Область применения: измерение высоты объектов с нанометровым разрешением, контроль состояния биочипов, контроль толщины напыления или глубины канавок и др. В отличие от классического оптического микроскопа цифровой голографический микроскоп IDHM-4 не содержит объективов, имеет возможность дополнительного распределения фазы волны в плоскости объекта и реконструкции по полученной фазе распределения высоты.

**ООО "НПП "Нанокompакт"** (Томск):

— технология изготовления функциональных, конструкционных изделий заданных формы и размеров без дополнительной обработки порошков (керамических, композитных, металлических), в том числе из нанопорошков для получения наноструктурированных материалов. Область применения: электроника, автомобильная, атомная, нефтегазовая промышленность и др.

Стадия разработки — лабораторный уровень (производительность до 30 кг изделий в месяц). Проект создания опытно-промышленного производства производительностью до 10 т изделий в год. Для организации опытного производства требуются инвестиции в объеме до 25 млн руб. Разработка защищена патентами РФ, США, Украины, а также Евразийским патентом.

**Компания "Нанотехнология — МДТ"** (Москва—Зеленоград):

— оборудование для нанотехнологических исследований: "ИНТЕГРА Спектра" — объединение сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) и конфокальной (имеющей общий фокус) микроскопии (спектроскопии), что позволяет одновременно прово-



Рис. 7. Учебно-исследовательская установка роста углеродных нанотрубок CVDomna

дить исследования физических и химических свойств поверхности;

— сверхвысоковакуумная модульная нанотехнологическая платформа "НАНОФАБ-100" для проведения исследований, разработки и производства различного рода наноструктур, наноэлементов и устройств на их основе.

На выставке широко были представлены научные центры по проблемам в области наноиндустрии: **Центр нанотехнологий и наноматериалов Федерального агентства по атомной энергии, ОАО "НИЦВП"** (стандартизация "Нанотехнологии и наноматериалы"), **Научно-образовательный центр "Нанотехнологии" Южного федерального университета (Таганрог), РХТУ им. Д. И. Менделеева, ООО "РПСЛ"** — Совет молодых ученых и специалистов Зеленограда, **Информационно-аналитический центр "Наноматериалы и нанотехнологии" МИСиС, Томский политехнический университет, НП "Нижегородский региональный центр наноиндустрии" (НРЦН), Наноцентр МЭИ (ТУ)** и др.

**ООО "РПСЛ"** (МИЭТ, Зеленоград) представило учебно-исследовательскую установку роста углеродных нанотрубок CVDomna, предназначенную для обучения студентов технических университетов по общим основам нанотехнологии и наноматериалов (рис. 7).

Необходимо отметить коллективную экспозицию **Регионального центра наноиндустрии Удмуртской Республики** (Ижевск).

**Институт прикладной механики УрО РАН** демонстрировал термомеханическую обработку металлических изделий с формированием наноструктуры рабочего слоя для производства деталей машин и инструмента с новыми физико-механическими свойствами, повышающими их эксплуатационную стойкость. Разработка основана на совмещенных процессах термической и деформационной обработки в одном технологическом цикле с регламентированными температурно-временными и деформационными режимами, позволяющими управлять формированием нано-

структуры металла по сечению изделия. Требуемые инвестиции для завершения проекта — 50 млн руб.

**ОАО "ЭЛЕКОНД"** (Сарапул) продемонстрировало суперконденсатор (ионистор) для гибридной энергетической установки автотранспорта нового поколения. Суперконденсаторы (ионисторы) относятся к классу конденсаторов, использующих энергию заряда, сосредоточенного в двойном электрическом поле. Напряжение одного суперконденсатора составляет 1,8—3,0 В, номинальная емкость до 5000 Ф, масса до 1 кг, габаритные размеры 61 × 61 × 160 мм. Энергия, запасаемая ионисторами, достигает 50—60 Дж/г, мощность — 10 кВт/кг и выше. Стадия разработки — лабораторный образец.

**Физико-технический институт УрО РАН, ОАО "Научно-исследовательский институт металлургической технологии"** представили перспективные наноконпозиционные материалы на основе инновационных металлургических процессов и технологий.

Основные виды продукции — стали и сплавы с высоким содержанием азота; стали и сплавы, модифицированные наноразмерными частицами; стали и сплавы, обладающие памятью формы, получаемые методом интенсивной пластической деформации; металлокерамические материалы; наномодифицированный высокопрочный чугун; нанобетонные примеси. Область применения: машиностроение, судостроительная, энергетическая, нефтегазовая, медицинская, электронная и другие отрасли промышленности. Требуемые инвестиции для завершения проекта — 220 млн руб.

**Компания "ВИСКЕР"** (Москва) продемонстрировала зонды но-

вого поколения для сканирующих зондовых микроскопов, специального инструмента для проведения исследований в области нанотехнологий.

**ООО "Системы для микроскопии и анализа"** (Москва) — авторизованное агентство американской фирмы FEI Company в России, СНГ и Балтии — представило современное оборудование в области оптической и электронной микроскопии (на наноуровне) и рентгенофлуоресцентного анализа.

**ООО "НПО "КвинТех"** (Москва) — официальный представитель фирмы BENEQ (Финляндия) — продемонстрировало лабораторное и промышленное оборудование и технологии для синтеза функциональных покрытий на основе технологии осаждения слоя из горячего аэрозоля на стекло и керамику и технологии послойного атомарного осаждения в виде тонких пленок на материалы (рис. 8).

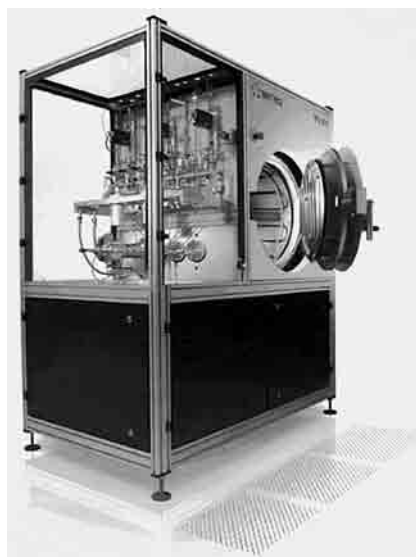


Рис. 8. Лабораторно-промышленная система TFS500 для формирования тонких пленок на основе ALD-технологий

**Сеть иранских нанотехнологических компаний — СИНК** (Россия—Иран):

— наноматериалы различного функционального назначения (наночастицы серебра, наноуглероды, нанокислород, нанокислород, наномедь, нановолокна, нанополимеры и др.);

— композиты и разнообразные добавки (наноэмульсионные добавки в бензин для экономии топлива, наноалмазы и добавки в моторные масла для уменьшения трения в двигателе), наночастицы, полимерные наноконпозиции и др.;

— электронные микроскопы (торговое название "Намо");

— программное обеспечение, связанное с нанотехнологией.

**Компания "НАНО-ВИТА"** (торговое представительство СИНК в РФ) — новые проекты в производстве нанопродуктов: световые технологии, очистка воды, солнечные батареи, продление срока сохранения бетона, улучшение основы асфальта, упаковка сельскохозяйственных продуктов.

В рамках выставки состоялась насыщенная деловая программа — семь круглых столов, презентационная сессия молодых инновационных проектов в области нанотехнологий, награждение участников выставки (применение нанотехнологий и наноматериалов в различных областях науки, техники и промышленного производства), обзор состояния и перспектив развития наноиндустрии как в России, так и за рубежом с участием ведущих ученых, представителей органов государственной власти и промышленных предприятий Москвы и др.

**Ан. А. СУСЛОВ,**  
канд. техн. наук

# 1-я Международная школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений"

Уже на международном семинаре "Контроль напряженно-деформированного состояния промышленного оборудования и металлоконструкций при определении остаточного ресурса", прошедшем в декабре 2005 г. в Москве, было подчеркнуто, что в настоящее время ведущие диагностические центры мира занимаются проблемами измерения напряжений и деформаций металлических конструкций, при этом особое значение приобретает эффективность контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) металлических конструкций при оценке их ресурса, так как старение оборудования значительно опережает темпы технического перевооружения.

Интерес к данной теме все более возрастает. В августе 2007 г. состоялась международная конференция в Колорадо (США). Основными вопросами, обсуждаемыми на конференции, являлись общие проблемы определения напряженно-деформированного состояния, а также эффективность различных методов неразрушающего контроля (НК) напряженно-деформированного состояния. Подчеркивалось, что игнорирование измерения напряжений в процессе строительства и эксплуатации металлоконструкций является причинами многих разрушений. Прогнозируемая долговечность (остаточный ресурс) — функция вероятностная и с увеличением объема проводимого неразрушающего контроля вероятность повышается. Проблема определения напряженно-деформированного состояния становится все более актуальной в связи с увеличением нагрузок и утяжелением условий работы оборудования.

В Сочи (Лазаревское) 1—6 октября 2007 г. на базе ООО "НУЦ "Качество" проведена 1-я школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений", организаторами которой явились Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), Научно-промышленный союз "Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг" (РИСКОМ) и ООО "НУЦ "Качество" при поддержке Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и Центрального органа Единой системы оценки соответствия на объектах Ростехнадзора

(НТЦ "Промышленная безопасность") совместно с Белорусской ассоциацией НКиТД, Институтом прикладной физики НАН, ООО "НПФ Диагностика".

Открыла работу школы-семинара член президиума РОНКТД, генеральный директор ООО "НУЦ "Качество" Н. П. Бирюкова, отразив в своем выступлении актуальность, цели, задачи и программу семинара. С приветственным словом к участникам школы-семинара обратились начальник Черноморского отдела по техническому надзору Северо-Кавказского межрегионального управления по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора К. М. Иванов, начальник лаборатории ОАО "НТЦ "Промышленная безопасность" В. П. Шевченко, заведующий лабораторией, главный конструктор Института прикладной физики НАН Белоруссии В. Л. Венгринович. С приветствием от имени президента РОНКТД чл.-кор. РАН, д-ра техн. наук В. В. Ключева выступил ученый секретарь ЗАО "НИИИИ МНПО "Спектр" В. Т. Бобров. Председатель правления НПС "РИСКОМ", генеральный директор ООО "НТЦ Нефтегаздиагностика" В. В. Лещенко зачитал приветственное письмо президента НПС "РИСКОМ" чл.-кор. РАН, д-ра техн. наук Н. А. Махутова.

В процессе работы школы-семинара были заслушаны 20 докладов.

С обзорным докладом о состоянии проблемы контроля остаточных напряжений в конструкциях по материалам 1-й международной конференции в Колорадо выступил д-р техн. наук В. Л. Венгринович. Докладчик дал характеристику типов напряжений, привел перечень технологических операций обработки металлов, в процессе проведения которых возникают напряжения (термическая обработка, закалка, неоднородные деформации, прокатка, шлифование, сварка и др.). По материалам лекций известных американских ученых Р. Б. Томпсона и К. О. Руда докладчик дал обзор и характеристику методов НК напряжений: акустических, на основе эффекта Баркгаузена, нейтронной дифракции, позитронной аннигиляции, термической эмиссии, оптических и др.

Генеральный директор ООО "Энергодиагностика" А. А. Дубов в своем выступлении изложил содержа-

ние ГОСТ Р 52330—2005 "Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования" и "Оценка напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкции с использованием метода магнитной памяти". Данная тема вызвала острую дискуссию.

С докладами, посвященными расчетным методам определения НДС с примерами конкретных объектов, выступили А. С. Куркин, МГТУ им. Н. Э. Баумана (сварные швы), Е. Л. Муравин, НТЦ "Диатекс", (подземные магистральные трубопроводы), Г. П. Батов, ООО "НУЦ "Качество" (влияние на скорость роста усталостных трещин), Ю. В. Житняков, ООО "Интеркор Рус" (трубопроводы при проектировании и эксплуатации). Обзор современных методов и стандартов по неразрушающему контролю напряжения представил В. Л. Венгринович, уделив внимание вопросу снижения неопределенности НДС.

Оценке надежности линейной части трубопроводов, оптимизации НДС металла трубопроводов пара и горячей воды, остаточного ресурса трубопроводов, контактирующих с наводороживающими средствами, и др. были посвящены доклады В. Д. Лебеда (НПП "Политест"), Н. В. Рязановой (ЗАО "НТЦ "Диагностика. Экспертиза. Безопасность") и В. М. Кушнарченко ("Технопарк ОГУ").

Большой интерес вызвали сообщения авторов докладов "Анализ причин повреждаемости устьевых подогревателей на газопромысловых скважинах" (М. А. Шуваев, ООО НТЦ "Диатекс"), "Учет взаимосвязи деградации механических свойств и напряженно-деформированного состояния при оценке остаточного ресурса технических устройств и сооружений" (В. М. Горицкий, ЦНИИПСК им. Мельникова), "Прибор для измерения напряжений лазерно-интерференционным методом" (В. П. Головин, ОАО НППС "ЭКОС"), "Новейшие технологии внутритрубной диагностики и контроля морских трубопроводов" (В. В. Лещенко), "Достоверности оценки прогнозирования и условий безопасной эксплуатации оборудования" (С. Г. Кулаков, ООО "ГРЕЙ").

С интересными докладами, посвященными оценке влияния электрохимических свойств грунтов на распространение коррозии в магистральных трубопроводах и объемности НДС на скорость роста усталостных трещин, выступили представители новейшей генерации ученых и специалистов (А. С. Бачерников, ТюмГНГУ).

Под оригинальным названием доклада В. И. Иванова (НОУ УЦ "Самара") "Системный мультитестинг", как оказалось, скрывается многопараметровый контроль ответственных объектов, что совпадает с мнением многих исследователей о том, что возникающие вопросы по контролю и оценке напряженно-деформированного состояния и определению

его влияния на прогнозирование остаточного ресурса, можно решить с помощью комплекса методов и приборов.

Значительное внимание было уделено вопросу подготовки специалистов в области контроля напряженно-деформированного состояния. В версии 2005 г. в международный стандарт ISO-9712 "Не разрушающий контроль. Классификация и сертификация персонала неразрушающего контроля" введен метод контроля напряженно-деформированного состояния.

Система СДСПНК РОНКТД также расширила область методов неразрушающего контроля на метод "Определение напряженно-деформированного состояния".

ООО "НУЦ "Качество" совместно с рядом ведущих специалистов в этой области разработали "Программу подготовки и сертификации специалистов по методу НДС", а затем и всю необходимую документацию для ее реализации. О содержании и методических особенностях программы подготовки и сертификации специалистов по методу "Определение напряженно-деформированного состояния" рассказал С. Г. Копытов (ООО "НУЦ "Качество"). Программа включает определение понятий необходимого объема теоретических вопросов, программного обеспечения, методических расчетов и методов неразрушающего контроля, практических знаний по курсу, обзор нормативно-методических документов.

Уже ведется курс подготовки и сертификации специалистов по НДС в ООО "НУЦ "Качество" с выдачей сертификата СДСПНК РОНКТД. Программа одобрена участниками школы-семинара.

Своеобразным подведением итогов дискуссий в ходе выступлений докладчиков стало проведение круглого стола "Проблемы и задачи определения НДС и расчета ресурса".

Заключительное заседание участников школы-семинара было посвящено подведению итогов и принятию решения, в котором отражены вопросы целесообразности ежегодного проведения школы-семинара и определены задачи перспективного развития методов оценки напряженно-деформированного состояния, а также необходимость и актуальность процесса подготовки и сертификации персонала по определению напряженно-деформированного состояния. Особо отмечены высокий уровень докладов, их интересно подобранная тематика и организация работы школы-семинара.

**Г. П. БАТОВ**, инж.,  
**Н. П. БИРЮКОВА**, канд. техн. наук,  
**А. А. ЕРМОЛАЕВ**, инж.  
ООО "НУЦ "Качество"

# БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

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

### **RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA** (An. LIX, N 3, 2007, Италия)

**Отчет** Итальянского института сварки за 2006 г. и прогнозы на 2007 г. Р. 319—333.

**Molinari O.** Применение упрочненных и конструкционных сталей согласно итальянским техническим нормам и определение их механических и химических свойств. Р. 335—338.

**Murgia M.** Руководство Европейской сварочной федерации (ЕСФ) для аттестации сварщиков-подводников. Р. 341—346.

**Peri F. et al.** Опыт Итальянского института сварки в области контроля эксплуатирующихся наземных трубопроводов. Р. 349—360.

**Boschini M., Magnabosco B.** Важное значение технических газов при сварке легких сплавов. Р. 363—368.

**Martinello S.** Количественная оценка состояния разрушений мостов при техосмотре. Р. 371—389.

**Hasegawa K.** Краткое описание и сравнение правил пригодности к эксплуатации конструктивных компонентов на мировом уровне. Р. 391—397.

**Специальные** процессы сварки. Ч. 1. Сварка трением и взрывом. Р. 399—409.

(An. LIX, N 4, 2007, Италия)

**Volpone L. M., Mueller S.** Разные методы сварки алюминиевых сплавов – пределы возможного. Р. 471—484.

**Maggi S., Murgia M.** Введение в определение металлургических характеристик новейших высокопрочных сталей, используемых в автомобильной промышленности. Р. 487—495.

**De Petris C. et al.** Акустическая эмиссия — анализ результатов, полученных за первые 5 мес. использования методики акустической эмиссии IPESL. Р. 497—505.

<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).

**Esposito V., Nocchia S.** Техобслуживание и ремонт итальянских железнодорожных подвижных составов. Р. 509—516.

**Lazzarin P. et al.** Два подхода к оценке усталостной прочности сварных соединений: один — на основе фиктивного радиуса надреза, другой — на основе плотности энергии деформации в конечном объеме. Р. 519—525.

**Pettersson C. O. et al.** Коррозионные испытания сварных швов — обзор методов. Р. 529—552.

**Специальные** процессы сварки. Ч. 2. Диффузионная сварка, высокочастотная и термитная сварка. Р. 555—564.

### **SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN** (№ 7—8, 2007, Германия)

**Рынок** промышленных роботов вырос на 30 %. S. 366—367.

**В июне** 2008 г. профессор Ульрих Дилтай займет пост президента МИСа. S. 368—369.

**Лазерный** луч позволяет "видеть" дефекты. S. 373.

**Cramer H. u. a.** Расчет и измерение внутренних напряжений в алюминиевых сварных соединениях. S. 380—386.

**Nitschke-Pagel T., Dilger K.** Внутренние напряжения в сварных соединениях. Ч. 3. Снижение внутренних напряжений. Посвящается 70-летнему юбилею Г. Вольфарта. S. 387—395.

**Füssel U. u. a.** Возможности экспериментального анализа дуги при сварке вольфрамовым электродом в защитном газе. S. 396—403.

**Webs A.** Динамическое взаимодействие асинхронного двигателя переменного тока и машины для контактной точечной и рельефной сварки. S. 404—414.

**Müller-Lux A. u. a.** Применение новых методов исследования ранней диагностики заболеваний дыхательных путей вследствие сварки. S. 415—419.

**Ahrens T. u. a.** CSP-паяные соединения, выполненные припоем без свинца – пористость и надежность. S. 420—425.



**Zwätz R.** Можно ли на стальных деталях толщиной 50 мм варить стыковые швы сплошной плавящейся проволокой в активных газах? S. 426—428.

**О работе** службы информации — обзор литературы. S. 428—433.

**Queren-Lieth W.** Возможность уменьшить вложение энергии при сварке в смеси защитных газов. S. 435—438.

## SUDURA

(An. XVII, N 4, 2007, Румыния)

**Dilthey U., Willms K.** Variowire — новый вариант дуговой сварки алюминия плавящимся электродом в защитном газе. P. 5—12.

**Himmelbauer K.** Высокая производительность наплавки благодаря использованию двух электродных проволок. P. 14—22.

**Sitte G.** Точечная пайка с контактным нагревом и смешанная пайка (пайка и клеевое соединение) — возможность выполнения нахлесточных соединений на видимых поверхностях. P. 23—25.

**Rusch H.-J.** Точечная контактная сварка в автокузовных цехах. P. 28—32.

**Sheikhi Sh., dos Santos J.** Возможности сварки трением с перемешиванием. P. 33—35.

**Aichele G., Undi T.** ТИГ-сварка горячей проволокой — используется при сварке в узкий зазор и орбитальной сварке. Ч. 1. P. 36—40.

**Brune E.** Технология сварки титана. P. 41—45.

## WELDING AND CUTTING

(№ 4, 2007, Германия)

**Dilthey U.** et al. Характеристики ползучести тонколистовых материалов и стальных тонколистовых материалов из NiCr25FeAlY-стали, сваренных лазером при разной термической обработке и режимах сварки при температуре 650 °С. P. 203—207.

**Mücklich S.** et al. Смешанные магниевые соединения. Сравнительные исследования между пайкой, клеевым и механическим соединениями. P. 210—214.

**McMillan G., Spiegel-Ciobanu V. E.** Накопление марганца, болезнь Паркинсона и вдыхание марганца сварщиками. Ч. 2. Марганец — нейротоксикологический риск для сварщиков. P. 220—229.

**McKeown D.** Дым и пары, образующиеся при сварке — как обеспечить защиту рабочего места. P. 230—233.

## WELDING JOURNAL

(Vol. 86, N 4, 2007, США)

**Dickinson D. W.** Проект поддержки студентов при выборе инженерной карьеры. P. 28—30.

**Vaidya V., George B.** Применение принципов экономии при выполнении сварочных работ. P. 32—37.

**Профсоюзы** предлагают комплексное обучение сварщиков. P. 38—39.

**Adonyi Y.** Исследования, выполняемые аспирантами в области сварки в университете г. ЛеТурно. P. 44—45.

**Компания** решает проблему нехватки сварщиков путем открытия школы по сварке. P. 46—49.

**Homburger R.** Обеспечение точной температуры предварительного подогрева. P. 104—107.

**Li Z.** et al. Влияние качества поверхности тонколистового материала на срок службы электродов при точечной сварке алюминия. P. 81-s—89-s.

**Xue J. X.** et al. Новая система с зарядовой связью, разработанная для слежения за стыком при дуговой сварке плавящимся электродом в защитном газе. P. 90-s—96-s.

**Record J. H.** et al. Статистическое определение ответственных параметров процесса сварки трением с перемешиванием. P. 97-s—103-s.

**Nage J. H., Raja V. S.** Исследование образования трещины в кратере сварных швов на аустенитной азотсодержащей коррозионно-стойкой стали. P. 104-s—112-s.

## ZVARANIE — SVAROVANI

(Roc. 56, N 1, 2007, Словакия)

**Barborka J.** et al. Дуговая наплавка вольфрамовым электродом в инертном газе внутренних сторон цилиндра. S. 3—8.

**Fortain J. M.** et al. Усовершенствованный способ дуговой сварки вольфрамовым электродом в инертном газе TOPTIG как альтернатива для сварки и пайки очень тонких листовых материалов. S. 9—17.

(Roc. 56, N 2, 2007, Словакия)

**Juhas P.** Определение прочности и стойкости конструкционных сталей и материалов на основе испытаний. S. 39—48.

**Staufer H.** Исследование гибридной лазерно-дуговой сварки и пайки применительно к автомобильной промышленности. S. 49—55.

**Kálna K.** Проектирование и выполнение сварных конструкций. S. 56—59.

(Roc. 56, N 3, 2007, Словакия)

**Brziak P.** et al. Трещинообразование типа IV в зоне термического влияния сварных соединений мартенситных сталей, стойких против ползучести. S. 71—76.

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

**Способ изготовления корпуса электромагнитного клапана** включает выполнение в монолитной заготовке корпуса кольцевого канала в виде ванночки, размещение в нем кольца из немагнитного материала с соединением его со стенками кольцевого канала пайкой и осуществление механической обработки корпуса с получением со стороны его торца внутренней поверхности под якорь электромагнита. Отличается тем, что используют кольцо из немагнитного материала, предварительно разделенное на равные части, которые при размещении в кольцевом канале жестко фиксируют и соединяют в кольцо сваркой, затем выверяют равномерно одинаковые зазоры между соединяемыми поверхностями кольца и стенками кольцевого канала и соединяют их вакуумной пайкой путем одновременной заливки припоя в зазоры кольцевого канала по всему его периметру. 2286236 (С2). М. М. Михнев (RU), А. В. Потапов (RU), Ю. Л. Лубнин (RU) и др. ФГУП "НПО прикладной механики им. акад. М. Ф. Решетнева" (RU). [30].

**Устройство для отвода теплоты из зоны наплавки изделия** содержит медную пластину, контактирующую с наплавляемым изделием. Отличается тем, что медная пластина имеет каналы для циркуляции воды и расположена вертикально относительно наплавляемого изделия с обеспечением плотного прилегания к наплавляемому изделию в месте контакта. 57658 (U1). П. Н. Архипов (RU), В. Н. Кусков (RU). Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). [30].

**Устройство для изменения напряженности магнитного поля металлического изделия** содержит разъемные секции, соединенные в электрическую обмотку, подключенную к выходам источника постоянного тока. Отличается тем, что секции

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

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

обмотки закреплены как минимум на одной гибкой конструкции, причем на обмотку подают ток, соответствующий ее характеристикам. 57659 (U1). А. Ю. Котоломов (RU), В. Е. Секацкий (RU), С. А. Вылегжанин (RU). [30].

**Устройство для аргонодуговой сварки кольцевых торцевых соединений анкерных гаек с панелями** содержит сварочную головку с неплавящимся электродом, центратор для установки головки, механизм перемещения головки вдоль стыка, аппаратуру управления и источник питания дуги. Отличается тем, что в корпусе головки соосно ему установлен шнек, с торца которого, обращенного к зоне сварки, расположен радиатор, на радиаторе установлен неплавящийся электрод с возможностью отклонения от оси головки на угол 30—60°, центратор выполнен в виде штока с осевым каналом для подвода аргона к зоне сварки, на торце штока со стороны зоны сварки закреплен изолированный боек, вводимый в отверстие в анкерной гайке, между шнеком и штоком расположена изоляционная гайка, а корпус снабжен тремя шаровыми опорами с изоляционными опорными цилиндрами для размещения на поверхности панели. 57660 (U1). В. В. Овчинников (RU), А. И. Лопаткин (RU), С. В. Смирнов (RU). ФГУП "Российская самолетостроительная корпорация "МиГ" (RU). [30].

**Фланец** с центральным проходным отверстием и конической поверхностью, образующая которой расположена к оси фланца под острым углом, включает втулку с цилиндрической поверхностью, установленную во внутреннем отверстии и жестко соединенную с фланцем. Отличается тем, что со стороны внутренней и наружной поверхностей втулки нанесено защитное покрытие с диапазоном эксплуатационных температур от -60 до 150 °С, а зона покрытия сварного соединения ограничена до участка сварного шва. 57661 (U1). Ю. А. Гордеев (RU). ООО "ЦЕЛЕР" (RU). [30].

**Способ обработки поверхностей** заключается в образовании в рабочем органе смесового жидкого рабочего тела, его испарении, подаче паров в разрядную камеру, нагреве паров в электрическом дуговом разряде с самостоятельным подводом электрического тока, получении плазменной струи и выносной электрической дуги, совмещенной с плазменной струей, и последующем нагреве обрабатываемых поверхностей вы-

носной электрической дугой, совмещенной с плазменной струей. Отличается тем, что смесевое жидкое рабочее тело включает воду и окислитель, причем в качестве окислителя используют пероксид водорода при следующем соотношении компонентов (%): 0,1—65 пероксида водорода; остальное — вода. 2286866 (С1). В. С. Тверской (RU), А. В. Тверской (RU). ООО "ПЛАЗАРИУМ" (RU). [31].

**Способ обработки поверхностей** заключается в подаче в рабочий орган смесового жидкого рабочего тела, его испарении, подаче паров в разрядную камеру, нагреве паров в электрическом дуговом разряде с самостоятельным подводом электрического тока, получении плазменной струи, обогащенной газами-восстановителями, и последующем нагреве обрабатываемых поверхностей плазменной струей. Отличается тем, что смесевое жидкое рабочее тело состоит из горючего и окислителя, причем в качестве горючего используют углеродсодержащее топливо, а в качестве окислителя — водный раствор пероксида водорода при следующем соотношении компонентов (%): 10—60 углеродсодержащего топлива; остальное — водный раствор пероксида водорода. 2286867 (С1). В. С. Тверской (RU), А. В. Тверской (RU). ООО "ПЛАЗАРИУМ" (RU). [31].

**Способ обработки поверхностей** заключается в образовании в рабочем органе смесового жидкого рабочего тела, его испарении, подаче паров в разрядную камеру, нагреве паров в электрическом дуговом разряде с самостоятельным подводом электрического тока, получении плазменной струи, обогащенной газами-восстановителями, и выносной электрической дуги, совмещенной с плазменной струей, с последующим нагревом обрабатываемых поверхностей выносной электрической дугой, совмещенной с плазменной струей. Отличается тем, что смесевое жидкое рабочее тело состоит из горючего и окислителя, причем в качестве горючего используют углеродсодержащее топливо, а в качестве окислителя — водный раствор пероксида водорода при следующем соотношении компонентов (%): 10—60 углеродсодержащего топлива; остальное — водный раствор пероксида водорода. 2286868 (С1). В. С. Тверской (RU), А. В. Тверской (RU). ООО "ПЛАЗАРИУМ" (RU). [31].

**Способ изготовления многослойных полых металлических изделий** включает подготовительные операции по изготовлению заготовок слоев и их одновременную вытяжку в штампе. Отличается тем, что в качестве материала для наружных слоев используют тонколистовой металл, а для промежуточного слоя — сетку из металла или неметаллических материалов, одновременную вытяжку всех заготовок осуществляют в два этапа, на первом из ко-

торых осуществляют вытяжку в штампе эластичным пуансоном с получением полуфабриката с неразъемным соединением верхнего и промежуточного слоев при условии, что материал заготовки при образовании пуклевки не заходит на всю глубину сетки, а на втором этапе — в штампе эластичной матрицей полученного полуфабриката по пуансону с его формой, при этом подготовительные операции повторяют в соответствии с числом слоев в изделии. 2286869 (С2). В. М. Плеханов (RU), А. В. Севастьянов (RU). [31].

**Устройство для сварки** включает раму с кронштейнами для присоединения к подвеске трактора, продольные и поперечные швеллеры натяжное устройство, сварочный генератор, выполненный с возможностью вращения от вала отбора мощности трактора, с регулирующим элементом, карданный вал, кинематически связанный через ось с ведущим шкивом клиноременной передачи, ведомый шкив которой кинематически связан с валом сварочного генератора. Отличается тем, что два продольных и четыре поперечных швеллера расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях, при этом поперечные швеллеры с одного торца жестко закреплены на раме, а с другого — к ним приварены пластины с отверстием для натяжного устройства, которые выполнены в виде шпильки с резьбой и гайкой с одной стороны и приваренной пластины с отверстием с другой стороны; в средней части стенок продольных швеллеров выполнены отверстия в виде щели для стяжного болта для крепления к нему продольного швеллера через натяжное устройство, причем на продольные швеллеры, размещенные параллельно раме вдоль ее длины устанавливается сварочный генератор. 58060 (U1). А. В. Захаров (RU). [31].

**Однофазный выпрямитель инверторного типа для дуговой сварки** содержит соединенные последовательно блок защиты и блок плавного пуска, предназначенный для подключения к сети, сетевой выпрямитель, преобразователь инверторного типа с силовым блоком, выполненным на базе силового трансформатора, выходной выпрямитель с дросселем. Отличается тем, что сердечники силового трансформатора и дросселя выполнены из феррита в форме тора, причем в радиальных плоскостях тора выполнено по меньшей мере два зазора, различных по своей высоте относительно оси тора и в которых установлены диэлектрические вставки. 58061 (U1). Е. Н. Михеева (RU), А. Н. Авдеев (RU). ОАО "АО Спецэлектрод" (RU). [31].

**Резак для кислородной резки металла на жидком горючем** содержит головку, в которой размещен смеситель, сопряженный с головкой по конической поверхности, и выполнены отверстия со-

ответственно подачи подогревающего и режущего кислорода и жидкого горючего, наружный мундштук, закрепленный на головке накидной гайкой, соосно установленный в нем внутренний мундштук, который выполнен со шлицами, сопряжен со смесителем и образует с наружным мундштуком на выходе смесителя кольцевой зазор, а на выходе резака — шлицевые каналы подачи горючей смеси, соосно расположенный между мундштуками испаритель, вход которого связан со смесителем через кольцевой зазор, причем выходы выполненных в головке отверстий подачи подогревающего кислорода и жидкого горючего сообщены с соответствующими входами смесителя, выход отверстия подачи режущего кислорода — с последовательно соединенными центральными каналами смесителя и внутреннего мундштука, а входы выполненных в головке отверстий соответственно сообщены с трубкой подачи режущего кислорода и со средством подачи подогревающего кислорода и жидкого горючего, в котором канал для жидкого горючего выполнен со шпindelным регулятором и размещен в канале подогревающего кислорода. 2287412 (С1). А. К. Никитин (RU), А. Г. Корниенко (RU), Л. В. Бакулин (RU), О. Ф. Ерин (RU). ФГУП "Судоремонтный завод "Нерпа" (RU). [32].

**Электродный узел электродуговой установки** для электродуговой резки металлов содержит перемещающееся в вертикальном и горизонтальном направлениях подвижное основание с закрепленными на нем электрододержателем, электродом и изолятором. Отличается тем, что снабжен опорами в виде прямоугольных шайб, вертикальными пластинами, зажимными винтами, держателями, планками, в каждой из которых выполнена продольная выемка, болтовыми соединениями и дополнительными электрододержателем, электродом и изолятором, при этом в подвижном основании выполнены два взаимно перпендикулярных непересекающихся выреза, в которые вставлены болты на опорах с вертикальными пластинами, соединенными болтовыми соединениями с держателями, в которых закреплены изоляторы с зажимными винтами, стягивающими планки с продольными выемками, шарнирно соединенные с вертикальными пластинами, причем один из держателей снабжен электрической ручкой, его крепежный болт — втулкой для поворота держателя вокруг оси, а в электрододержателях выполнены отверстия под кабели питания. 2287413 (С2). В. Г. Арсеньев (RU), Е. П. Беляев (RU), И. П. Беляева (RU) и др. [32].

**Способ лазерной модификации поверхности металла или его сплава** включает воздействие на модифицируемую поверхность перемещае-

мым относительно поверхности излучением лазера и последующее охлаждение поверхности в кислородсодержащей газовой среде. Отличается тем, что предварительно строят градуировочную кривую зависимости цвета модифицированной поверхности образца заданного металла или его сплава от удельной мощности падающего на поверхность излучения при монотонном возрастании удельной мощности от  $10^{-10}$  Дж/(см<sup>2</sup> · с) до величины, при которой модифицированная поверхность приобретает черный цвет, и последующее воздействие на модифицируемую поверхность ведут при удельной мощности лазерного излучения, соответствующей заданному цвету модифицированной поверхности. 2287414 (С1). С. Г. Горный (RU), М. И. Патров (RU), К. В. Юдин (RU). ООО "Лазерный Центр" (RU). [32].

**Устройство для диффузионной сварки** содержит установленные в вакуумной камере опору, нагреватель и прижимной шток, введенный в камеру через уплотнение в ее крышке. Отличается тем, что для повышения производительности на прижимной шток свободно надето кольцо, в штоке выполнены расположенные в одной поперечной плоскости радиальные гнезда, в которых установлены подпружиненные кнаружи пальцы, а на внутренней поверхности кольца выполнены расположенные в одной поперечной плоскости радиальные гнезда, соответствующие гнездам штока, при этом соосно гнездам кольца со стороны его наружной поверхности установлены отжимные винты, а внутри камеры смонтирован регулируемый упор для ограничения осевого перемещения кольца относительно штока. 1769470 (А1). В. Г. Ломоносов, А. И. Исаев. НПО "Наука". [32].

**Способ пайки алюминия и алюминиевых сплавов, композиции для пайки алюминия и алюминиевых сплавов.** 1. *Способ пайки* алюминия и алюминиевых сплавов осуществляют с применением композиции, содержащей фторсиликат щелочного металла. Отличается тем, что в композицию дополнительно вводят фторсиликат алюминия при следующем соотношении компонентов композиции (%): 2—98 фторсилката щелочного металла; 2—98 фторсилката алюминия. 2. *Композиция для пайки* алюминия и алюминиевых сплавов включает фторсиликат щелочного металла. Отличается тем, что дополнительно содержит фторсиликат алюминия при указанном соотношении компонентов. 2288079 (С1). А. В. Полторыбатько (RU), Д. А. Шаклеин (RU), В. Е. Задов (RU). [33].

**Н. Посметная**

# Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.01:536.2

**О тепловом балансе сварочной ванны.** Гуревич В. И. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 3—6.

Приведен расчет теплового баланса при сварке мощным быстродвижущимся источником теплоты. Получены расчетные формулы для определения общего теплосодержания и максимальной температуры сварочной ванны, производительности процесса наплавки и соотношения между максимальными площадями наплавленного металла и проплавления. Ил. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.791.75

**Расчет температуры электродных капель при дуговой сварке плавящимся электродом с помощью метода конечных элементов.** Черных А. В., Черных В. В. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 6—7.

Рассмотрено распределение температуры в сечении жидкой металлической капли при механизированной сварке под флюсом. Использован метод конечных элементов. Предлагаемая математическая модель хорошо согласуется с экспериментальными результатами. Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 5.

УДК 621.791.048

**Методика выбора плавящихся флюсов при сварке перлитно-ферритных сталей.** Н. Н. Потапов, С. И. Феклистов, Ю. С. Волобуев. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 8—11.

Предложена простая методика выбора (подбора) сварочных плавящихся флюсов на основе их металлургических свойств по показателю химической активности, связанному, с одной стороны, с основностью флюса, с другой — с содержанием во флюсе термически непрочных оксидов при температурах сварочной ванны. Табл. 3. Ил. 5. Библиогр. 3.

УДК 621.791:621.001.57

**Управление качеством сварных конструкций на основе системно-процессного моделирования.** Бербасова Н. Ю., Куликов В. П., Основский В. А., Тарасенко С. И. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 12—18.

Рассмотрена возможность разработки системы менеджмента качества сварочного производства с применением системно-процессного моделирования по методологии IDEF0. Разработана мето-

дика проектирования информационно-аналитической системы сварочного производства на основе сети процессов, позволяющая результативно определять направления для реинжиниринга процессов производства с целью улучшения управления качеством сварочного производства. Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 621.3.032.5

**Методика определения сопротивления пластической деформации присадочной проволоки при электроконтактной наплавке.** Нафиков М. З. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 19—22.

Разработаны методики определения температуры нагрева присадочной проволоки при электроконтактной наплавке валов и определения сопротивления пластической деформации присадочного металла. Методики основаны на измерениях относительной деформации присадочной проволоки при ее наплавке на исследуемом режиме. Установлено, что режимы наплавки с повышенным тепловыделением, т. е. низкими усилиями на ролике и большими деформациями присадочной проволоки, являются благоприятными для большинства основных и присадочных материалов. Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 621.791.724

**Опыт и перспективы разработки оборудования для сварки, пайки и термической обработки световым лучом (обзор).** Завалихин Д. В., Фролов В. А., Федоров С. А. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 26—31.

Обобщены и систематизированы исследования по параметрам режима светового луча и разработке светолучевого оборудования. Рассмотрены типы и конструктивные особенности короткодуговых ксеноновых ламп сверхвысокого давления отечественного производства и их применение при сварке, пайке и термической обработке. Проанализированы результаты исследований энергетических параметров различных модулей лучистого нагрева и эффективности светового луча в областях нагрева. Рассмотрены светолучевые технологические установки, разработанные в МАТИ, с применением оптических фокусирующих систем на базе моноэллипсоидных, комбинированных и расщепленных отражателей. Сделан вывод о перспективе применения светолучевого технологического оборудова-

ния для решения технологических задач по тепловой обработке материалов. Ил. 3. Библиогр. 21.

УДК 621.791.4

**Контактная сварка заготовок из субмикрористаллического титанового сплава ВТ6 для изготовления многослойных ячеистых конструкций.** Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я., Мухаметрахимов М. Х. и др. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 31—34.

Приведены рекомендации по выбору режима контактной шовной сварки для соединения листовых заготовок из субмикрористаллического титанового сплава ВТ6, обеспечивающего формообразование ячеек наполнителя без разрыва деформируемых заготовок при изготовлении многослойных конструкций методом совмещения сверхпластической формовки со сваркой давлением. Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. 4.

УДК 621.791.4:539.378.3

**Формирование переходной зоны при диффузионной сварке пьезокерамики с металлами.** Михеев А. А., Прокопьев С. В. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 35—37.

Рассмотрены особенности формирования переходной зоны соединения при диффузионной сварке пьезокерамики ЦТОНВ-1 с медью М1. Установлено, что применение диффузионной сварки обеспечивает получение прочного соединения с сохранением специального комплекса свойств. Приведены результаты исследований. Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791.3.05:620.17

**Снижение дефектности паяных швов при изготовлении форсуночной головки.** Шибалов М. В., Куфайкин А. Я. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 37—39.

При выполнении опытно-конструкторских работ и освоении технологии пайки форсуночных головок возникали следующие характерные дефекты: не-

равномерное формирование паяных швов в рядах форсунок, образование нерасплавившейся корки припоя, коробление днища, заплывание тангенциальных отверстий, скопление припоя между форсунками, межполостная негерметичность и др. Проведен анализ причин образования дефектов, предложены технологические приемы, предотвращающие их образование. Ил. 4.

УДК 621.791:338.45

**Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов в сварочном производстве.** Будкин Ю. В. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 40—44.

Предложен механизм реализации отраслевой инновационной программы развития в сварочном производстве по принципам оперативного управления и хозяйственного ведения. Показано, что при механизме хозяйственного ведения социально-экономический результат от реализации инновационной программы более существенный. Рассмотрены возможные стратегии инновационного развития организации сварочного производства. Исходя из перечисленных типовых стратегий инновационного развития организации, можно ставить и решать задачи стратегического выбора уровня подпрограммы и формы ее участия в отраслевой инновационной программе развития сварочного производства. Табл. 5. Ил. 1.

УДК 621.791:658.5.011.46

**Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ.** Гришагин В. М., Нестерук Д. Н. — Сварочное производство. 2008. № 3. С. 44—47.

Разработана методика расчета экономической эффективности производства сварочных работ, в частности дуговой сварки в защитных газах, с учетом влияния сварочного аэрозоля и других вредных факторов сварочного производства. Табл. 2. Библиогр. 1.

## *Внимание! Информация*

В соответствии с программой обмена научно-технической информацией  
ОАО "Институт сварки России" (ВНИИЭСО)  
24–25 апреля 2008 г. проводит семинар

**"Современные восстановительные технологии. Напыление и наплавка".**

Справки по тел.: (8 1 2) **292 8374**, факс: (8 1 2) **295 2342**.

E-mail: [sert@rossvarka.ru](mailto:sert@rossvarka.ru)

# Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, № 3

## **Weld pool-main metal thermal interaction.**

Gourevich V. I. P. 3—6.

Heat calculation is given for welding by a high-speed powerful source of heat. Design formulae are obtained to determine general heat content and maximal temperature of the weld pool, welding deposition efficiency and correlation between maximal areas of the added metal and penetration.

**Electrode drops temperature estimate at consumable electrode arc welding by the finite elements method.** Chernykh A. V., Chernykh V. V. P. 6—7.

Temperature distribution in the liquid metal drop section at machine submerged arc welding is considered. The finite elements method is applied. The offered mathematical model quite coincides with the experimental results.

**Methodology of fused flux choice at pearlite-ferritic steel welding.** Potapov N. N., Feklistov S. I., Volobuyev Yu. S. P. 8—11.

A simple fitting methodology of welding fused flux on the base of their metallurgical properties according to the chemical activity factor related to the flux basing, on the one hand, and to the content of thermally weak oxides, on the other hand, at the temperatures of the weld pool.

**Welded construction refinement on the base of the welding engineering system modelling.** Berbasova N. Yu., Kulikov V. P., Osnovsky V. A., Tarasenko S. I. P. 12—18.

A possibility of welding production quality management system development using IDEFO system modelling is considered. Welding engineering information-analytical system design technique is developed on the base of a process system, which allows for efficient determining trends for re-engineering production processes aimed at improving welding production quality management.

**Filler wire plastic resistance determination technique at electrocontact weld deposition.** Nafikov M. Z. P. 19—22.

Determination techniques of filler wire heat temperature at shafting electrocontact weld deposition and of filler metal plastic resistance are developed. These

procedures are based on the filler wire relative deformation measurements at its welding under tested conditions. It is established that welding conditions with increased heat generation, i.e. low roller forces and high deformation of the filler wire, are advantageous to most main and filler materials.

**Designing practice and prospect of process equipment for welding, soldering and thermal treatment by the light beam of the xenon arc lamps: A Review.** Zavalikhin D. V., Frolov V. A., Fiodorov S. A. P. 26—31.

Researchers are generalized and classified according to the light beam behaviour characteristics and light-beam equipment designing. Classes and design features of the xenon ultrahigh pressure short-arc lamps made in Russia and lamps usage at welding, soldering and thermal treatment are considered. Power characteristics research results of different modules for radiant heating and light beam efficiency in the heating zone are analyzed. Light-beam process installations designed by MATI are covered. These units use optical focusing system on the base of monoellipsoide, combined and split reflectors. A conclusion is drawn on the prospect of the light-beam process installations application to solve process tasks on materials heat treatment.

**Contact welding of the BT6 submicrocrystal titanium preform for multilayered cellular constructions.** Krouglov A. A., Loutfullin R. Ya., Mookhametrahimov M. Kh., Roudenko O. A., Safiullin R. V. P. 31—34.

Recommendations are given on contact seam welding conditions choice to join blanks from the BT6 submicrocrystal titanium alloy, which enables filler cellulars formation without rupture of the deformed blanks at multilayered constructions manufacture by combination of superplastic forming and pressure welding.

**Interface region forming at piezoelectric ceramics-metal diffusion welding.** Mikheyev A. A., Prokopyev S. V. P. 35—37.

Special features of forming interface region at diffusion welding of ЛТСНВ-1 piezoelectric ceramics and М-1 cuprum. It is established that diffusion welding application provides firm joint preserving properties special complex. Research results are given.

**Soldered seam imperfection reduction at sprayer head manufacturing.** Shibalov M. V., Koufaykin A. Ya. P. 37—39.

While carrying out development work and practicing sprayer heads soldering techniques the following characteristic defects occur: inhomogeneous formation of soldered seams in a number of sprayers, infused solder crust formation, bottom distortion, tangential orifice burn-off, solder clumping between the sprayers, inter-cage nonhermeticity, et al. Analysis of defect formation causes is carried out, process technology is offered, which prevents their formation.

**Innovative production processes development mechanism and strategy in welding engineering.** Boudkin Yu. V. P. 40—44.

Implementation mechanism for the industry innovative plan for expansion of welding production by day-to-day management and business conduct princi-

ples is suggested. It is shown that following the business conduct mechanism the social and economic result of the innovative programme implementation is more significant. Possible strategies of the welding production organizing innovative development are considered. On the basis of the ranked typical strategies of the innovative development organization one can set and solve problems of the strategic choice of a subprogramme level and of the form of its participation in the industry innovative plan for expansion of welding production.

**Procedure of taking into account social factor at determining welding cost-efficiency.** Grishaguin V. M., Nesterook D. N. P. 44—47.

Design procedure of welding cost-efficiency is developed, particularly that of gas-shielded arc welding, taking into consideration effect of the welding aerosol and other harmful factors of welding production.

## *Внимание! Информация*

Вышел из печати очередной информационно-статистический сборник "SVESTA—2007. Welding. Robots. Steel" (В. Н. Бернадский, О. К. Маковецкая / Под ред. К. А. Ющенко, Л. М. Лобанова. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2007. 109 с. — англ.), подготовленный ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины при содействии Международного института сварки (IIW) и Европейской сварочной федерации. В сборнике "SVESTA—2007" представлена систематизированная экономико-статистическая информация о современном состоянии и тенденциях развития производства и потреблений сварочной техники, а также мировом и национальных рынках технологических сварочных роботов и стали — основного материала сварных изделий и конструкций.

Структура сборника предусматривает группирование информации в целом по миру и отдельным странам-членам МИСа таких регионов, как ЕС (27), СНГ, Америка и Азия. Вся информация представлена в виде таблиц и графиков с указанием источников ее получения. Такая форма подачи материала наиболее удобна для последующего анализа и использования в виде справочных данных.

Статистическая информация основных индикаторов состояния и роста мирового и национальных сварочных производств, а также их существенного вклада в мировую экономику и внешнюю торговлю, как отметил в предисловии к сборнику президент IIW Chris Smallbone, входит в число основных факторов формирующих исходные приоритеты для ученых, исследователей, разработчиков и производителей прогрессивной сварочной техники. Он также заметил, что издание нового сборника "SVESTA" и его содержание отвечают целям и вносят несомненный вклад в разработку комплексного проекта IIW "Глобальное улучшение качества жизни на основе оптимального применения сварочных технологий", подготовку которого поддерживают большинство стран-членов IIW.

**Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"**

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 14.01.2008. Подписано в печать 19.02.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 10,27. Заказ 5/08.

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".