



Сварочное производство

5 (870)
Май

2007

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

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

Редакционная коллегия:

Гл. редактор **В. А. Казаков**
Зам. гл. редактора **Н. В. Посметная**

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

Редакция:

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

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

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.
Для корреспонденции:
129626, Москва, а/я 78,
ОАО "Издательство "Машиностроение"
(для журнала "Сварочное производство").
Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;
редакция — (495) 682 3856.
Факс: (495) 687 6316.
E-mail: svarka@mashin.ru
Http://www.mashin.ru

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

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

При перепечатке материалов ссылка на журнал
"Сварочное производство" обязательна.
В случае обнаружения полиграфического брака ре-
дакция журнала просит обращаться в типографию.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств массо-
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-7778.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Попков А. М. — Методика расчета параметров режима дуговой сварки толстых листов встык двусторонними швами _____	3
Сахно Л. И., Федоров П. Д., Сахно О. И. — Двухмостовой сварочный выпрямитель с однофазным многообмоточным трансформатором _____	4
Климов А. С., Герасимов А. А., Анциборов А. Н., Гончаров М. С. — Обеспечение качества контактной точечной сварки за счет стабилизации вторичного тока при износе сварочных электродов _____	10
Константинов В. М., Губанов А. С. — Влияние легирующих элементов стальной проволоки на структуру и свойства покрытий при электродуговом напылении _____	13

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Лукина Н. Ф., Аниховская Л. И., Дементьева Л. А., Петрова А. П., Тюменева Т. Ю. — Клеи и клеящие материалы для изделий авиационной техники _____	19
Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О., Кровяков К. С. — Применение электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении _____	27
Бажанов А. В., Федоров С. А., Пронин Н. С., Фролов В. А. — Низкотемпературная пайка узлов радиоэлектронной аппаратуры сфокусированным световым лучом _____	31
Матвеев Н. В. — Получение несплошных износостойких покрытий в вакууме с применением формирующего сепаратора _____	35
Волков С. С. — Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс _____	38
Новиньков Н. Н. — Пневмогидравлическая система управления промышленным адаптивным сварочным роботом _____	44

ИНФОРМАЦИЯ

Коротков В. А. — 2-я Уральская конференция "Сварка — реновация — трибо-техника" _____	51
Иванов А. Н. — 12-я Международная специализированная выставка "Металлэкспо — 2006" _____	52
Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных технологий _____	57

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке _____	58
Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки _____	60
Рефераты опубликованных статей _____	62

Обращение Союза работодателей машиностроения России к предприятиям и организациям машиностроительного комплекса РФ (открытое письмо) _____	64
---	----



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

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

Editorial board:

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

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

Editorial staff:

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

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

Address of the editorial office:
Prospekt Mira, 106, Moscow.

For correspondence:
"Mashinostroenie" Publishers,
P.O.B. 78, Moscow, 129626, Russia
(for "Svarochnoe Proizvodstvo").
Phones: (495) 687 6316 — Editor-in-Chief;
682 3856 — Editorial office.

Fax: (495) 687 6316.
E-mail: svarka@mashin.ru
Http://www.mashin.ru

In case of printing waste you should appeal to the printing establishment.
Reprinting of materials from "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is possible with writing permission of editorial staff.
Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

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

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ N 77-7778.

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

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Popkov A. M. — Parameters calculation procedure of the thick sheets double joint butt arc welding conditions _____ 3
- Sakhno L. I., Fiodorov P. D., Sakhno O. I. — Two-bridge rectifier welder with single-phase multiwinding transformer _____ 4
- Klimov A. S., Guerasimov A. A., Antsiborov A. N., Goncharov M. S. — Resistance spot welding quality guarantee due to secondary current regulation at welding electrode deterioration _____ 10
- Konstantinov V. M., Gubanov A. S. — Steel wire alloying element effect on the coatings structures and properties at arc spraying _____ 13

PRODUCTION SECTION

- Lukina N. F., Anikhovskaya L. I., Demytyeva L. A., Petrova A. P., Tyumeneva T. Yu. — Adhesives and adhesive materials for the aeronautical engineering ware _____ 19
- Radchenko M. V., Radchenko V. G., Shevtsov Yu. O., Krovyakov K. S. — Application practice of electron-beam welding, strengthening and building-up techniques in Diesel engineering _____ 27
- Bazhanov A. V., Fiodorov S. A., Pronin N. S., Frolov V. A. — Electronic units' subambient in-focus light beam soldering _____ 31
- Matveyev N. V. — Unfilled wear-resistant coatings vacuum production applying formative separator _____ 35
- Volkov S. S. — Primary processes and features of heterogeneous plastics welding _____ 38
- Novinkov N. N. — Industrial adaptive welding robot pneumohydraulic control system _____ 44

INFORMATION

- Korotkov V. A. — The 2nd Urals conference "Welding—Renovation—tribology" _____ 51
- Ivanov A. N. — The 12th International specialized exhibition "MetalExpo—2006" _____ 52

BIBLIOGRAPGY

- Contents of the foreign journals in the field of welding _____ 58
- RF patents, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____ 60
- Abstracts of the published articles _____ 63

УДК 621.791.75.01

А. М. ПОПКОВ, д-р техн. наук

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)

Методика расчета параметров режима дуговой сварки толстых листов встык двусторонними швами

При производстве сварных толстолистовых конструкций соответствующие ГОСТы (например ГОСТ 14771—76) рекомендуют применение стыковых соединений (в том числе и без скоса кромок) с двусторонними швами (рис. 1). При этом глубина зоны проплавления h каждого шва должна составлять $2/3$ толщины листа S . В данной работе приведена инженерная методика расчета параметров процесса дуговой сварки, основанная на принципе суперпозиции [1 и др.]. При этом поверхности толстых листов считают адиабатическими, а для учета влияния отраженной от них теплоты на нагрев таких листов вводят фиктивные источники теплоты в точках O_2 , O_3 и т. д. (рис. 2). Тогда температура нагрева металла, например в точке A , расположенной по оси Z , будет равна сумме трех (как минимум) слагаемых

$$T_A = T_1 + T_2 + T_3. \quad (1)$$

Этого в большинстве случаев инженерных расчетов вполне достаточно [1]. Расчет по предлагаемой методике заключается в определении погонной энергии сварки

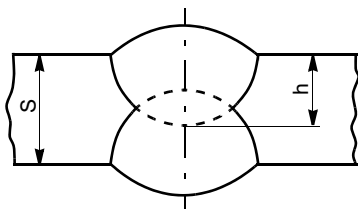


Рис. 1. Вид сварного соединения с двусторонними швами

$q_n = q_w/v$, обеспечивающей заданную глубину проплавления $h = 2/3S$, когда температура T_m нагрева металла в точке A , равная температуре его плавления T_n , становится максимальной в момент времени t_{1m} достижения температурой T_1 максимального значения T_{1m} . Тогда вместо равенства (1) получим

$$T_n = T_{1m} + T_2 + T_3. \quad (2)$$

Если, используя принцип суперпозиции, рассматривать нагрев массивного (бесконечного) тела мощными быстро движущимися источниками теплоты (реальным в точке O_1 и мнимыми в точках O_2 и O_3), то для определения T_{1m} , T_2 , T_3 и t_{1m} получим следующие уравнения [2]:

$$T_{1m} = \frac{2q_n}{\pi e c \gamma r_1^2}; \quad (3)$$

$$T_2 = \frac{q_n}{2\pi\lambda t_{1m}} \exp\left(-\frac{r_2^2}{4at_{1m}}\right); \quad (4)$$

$$T_3 = \frac{q_n}{2\pi\lambda t_{1m}} \exp\left(-\frac{r_3^2}{4at_{1m}}\right); \quad (5)$$

$$t_{1m} = r_1^2/4a. \quad (6)$$

Здесь T_{1m} — максимальная температура нагрева металла в точке A теплотой реального источника, находящегося в точке O_1 ; T_2 , T_3 — температура дополнительного нагрева металла в точке A от мнимых источников теплоты, действующей в точках O_2 и O_3 в течение времени t_{1m} соответствен-

но; t_{1m} — время наступления максимальной температуры T_{1m} в точке A , отсчитываемое с момента прохождения источником теплоты плоскости, в которой находится точка A (в любой другой момент времени $T_A < T_n$); q_n — погонная энергия процесса сварки; r_1 — r_3 — расстояние до точки A от точек O_1 — O_3 , равное $2/3S$, $4/3S$ и $5/3S$ соответственно; λ , $c\gamma$ — теплопроводность и объемная теплоемкость металла; a — коэффициент температуропроводности, равный $\lambda/c\gamma$.

Решая систему уравнений (1)—(6) относительно T_n , после соответствующих преобразований получим

$$T_n = 0,55 \frac{q_n}{c\gamma S^2}. \quad (7)$$

Решая уравнение (7) относительно q_n , получим

$$q_n = 1,82 c\gamma T_n S^2. \quad (8)$$

Погонная энергия сварки зависит от физических характери-

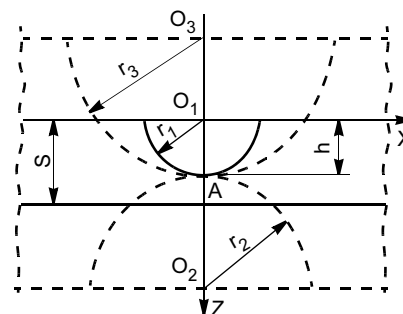


Рис. 2. Схема применения принципа суперпозиции при расчете нагрева толстой пластины

Источник данных	S, см	h, см	v, см/с	I, А	U, В	q _п , Вт/см, по формуле	
						(8)	(9)
Эксперимент [5]	0,8	0,67S	0,555	300	28	8350	11 300
	0,8		1,675	450	38	8350	7750
	1,0		0,555	320	29	8350	12 600
	1,0		1,250	450	38	13 100	10 300
	1,4		0,417	380	33	25 400	22 100
	1,4		0,700	500	40	25 400	21 600
Эксперимент [4]	1,0	0,70	0,833	490	32	13 100	14 150
Расчет	1,0	0,67	0,833	500	32,5	13 100	14 700
Эксперимент [4]	1,0	0,65	0,833	536	27	13 100	13 000
Расчет	1,0	0,67	0,833	505	32	13 100	14 500

Примечание. c_γ = 4,8 Дж/(см³·°С); λ = 0,4 Дж/(см·с·°С); T_п = 1500 °С; η_и = 0,75.

стик металла пластины и ее характерного размера — толщины. С другой стороны, q_п можно определить по уравнению

$$q_p = \frac{h_{и}}{v} IU, \quad (9)$$

связывающему между собой технологические характеристики источника теплоты — сварочной дуги (ток I и напряжение дуги U).

При совместном решении уравнений (8) и (9) с уравнением

$$U = 0,04I + 26 - 10\sqrt{d_3} \quad (10)$$

(при сварке в защитном газе) или с уравнением

$$U = 0,02I + 29 - 2,5d_3 \quad (11)$$

(при сварке под флюсом) получим уравнение для определения сварочного тока [3]:

$$I = \frac{-n + \sqrt{n^2 + 4mp}}{2m}, \quad (12)$$

в котором m, n, p — коэффициенты, зависящие от способа сварки [3]. При сварке в защитном газе

$$m_r = 0,04, \quad n_r = (26 \div 10 \sqrt{d_3}), \quad p_r =$$

$$= \frac{1,82}{\eta_{иr}} c_{\gamma} T_p v S^2, \quad \text{при сварке под}$$

$$\text{флюсом } m_{\phi} = 0,02, \quad n_{\phi} =$$

$$= (29 \div 2,5 d_3), \quad p_{\phi} = \frac{1,82}{\eta_{и\phi}} c_{\gamma} T_p v S^2$$

(η_и — эффективный КПД нагрева изделия теплотой дуги (зависит от способа сварки); d₃ — диаметр электродной проволоки).

Затем по уравнению (10) определим напряжение сварочной дуги, горящей в защитном газе, а

по уравнению (11) — напряжение дуги, горящей под флюсом. Данные, приведенные в таблице, подтверждают удовлетворительную сходимость экспериментальных [4, 5] и расчетных величин.

ВЫВОД

Разработанная методика расчета параметров режима дуговой сварки толстых листов встык двусторонними швами, основанная на принципе суперпозиции, позволяет получить уравнение для определения погонной энергии. Используя полученные данные, в зависимости от способа сварки определяют сварочный ток и напряжение дуги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория сварочных процессов / Под ред. В. В. Фролова. М.: Высшая школа, 1988. 560 с.

2. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. Теория сварочных процессов. Киев: Высшая школа, 1976. 424 с.

3. Попков А. М. Расчет параметров режима двухдуговой сварки угловых и стыковых швов // Сварочное производство. 1998. № 7. С. 3—5.

4. Размеры и форма швов при сварке в углекислом газе на режимах с минимальным разбрызгиванием / А. М. Попков, В. А. Пирогова, В. М. Клящицкая и др. // Вопросы сварочного производства. Челябинск: ЧПИ, 1975. 198 с.

5. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 240 с.

УДК 621.791.75.03—52

Л. И. САХНО, канд. техн. наук, П. Д. ФЕДОРОВ, инж.
(Институт сварки России),

О. И. САХНО, канд. техн. наук

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

Двухмостовой сварочный выпрямитель с однофазным многообмоточным трансформатором

Однофазный двухмостовой выпрямитель для ручной дуговой сварки (рис. 1, а) содержит трехобмоточный трансформатор с первичной 1 и двумя вторичными обмотками 2 и 3, соединенными соответственно с мостами 4 и 5. Выходы мостов парал-

лельно подключены к дуговому промежутку 6. Напряжение холостого хода обмотки 2 равно 60—80 В, а обмотки 3 — приблизительно в 1,5 раза меньше. Обмотка 2 с мостом 4 служат для зажигания и поддержания устойчивого горения дуги, обмотка 3 с

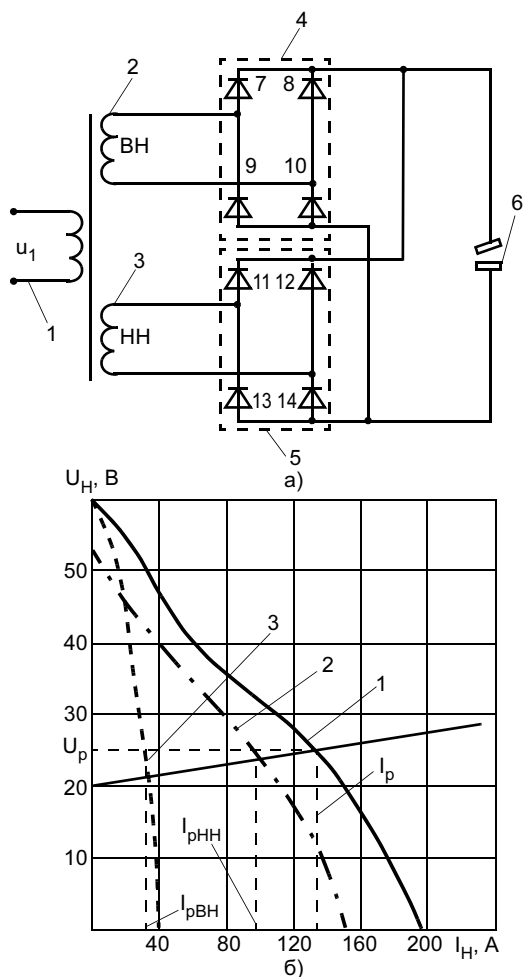


Рис. 1. Электрическая схема (а) и внешние ВАХ (б) двухмостового сварочного выпрямителя

мостом 5 — для обеспечения основной части рабочего тока. Для удобства изложения назовем обмотку 2 обмоткой высокого напряжения (ВН), обмотку 3 — низкого напряжения (НН), обмотку ВН с подключенным к ней мостом 4 — выпрямителем ВН, а обмотку НН с мостом 5 — выпрямителем НН. На рис. 1, б приведены статическая внешняя ВАХ $U_H(I_H)$ (кривая 1) двухмостового сварочного выпрямителя и внешние ВАХ выпрямителей НН $U_{НН}(I_{НН})$ (кривая 2) и ВН $U_{ВН}(I_{ВН})$ (кривая 3), полученные при их совместной работе для одного из разработанных двухмостовых сварочных выпрямителей. Рабочий ток I_p складывается из рабочего тока соответственно выпрямителя ВН $I_{pВН}$ и выпрямителя НН $I_{pНН}$. Осциллограммы выпрямленного тока (i_H) и выходных токов выпрямителей ВН ($i_{ВН}$) и НН ($i_{НН}$) приведены на рис. 2. Мгновенное значение выпрямленного тока i_H в однофазном двухмостовом сварочном выпрямителе не уменьшается до нуля за счет сдвига фаз токов $i_{ВН}$ и $i_{НН}$ выпрямителей ВН и НН. Это позволяет исключить из электрической

схемы выпрямителя сглаживающий дроссель. Поскольку основную часть рабочего тока выпрямителя создает выпрямитель НН с низким напряжением холостого хода, эквивалентный коэффициент трансформации тока двухмостового выпрямителя больше, чем у традиционного одномостового. Это приводит к уменьшению удельного электропотребления и массы двухмостового выпрямителя по сравнению с традиционным одномостовым [1].

Наиболее трудной задачей при создании двухмостового сварочного выпрямителя является разработка трансформатора. Это связано с тем, что помимо основных функций, а именно, разделения силовой и сварочной цепи, понижения напряжения сети до необходимого для сварки значения, регулирования сварочного тока, трансформатор в двухмостовом выпрямителе должен самостоятельно без дополнительных устройств обеспечить требуемую статическую ВАХ. Кроме того, для устойчивого горения дуги минимальное мгновенное значение выпрямленного тока за период i_{min} должно быть не меньше 10 % среднего значения выпрямленного тока I_H . Это условие выполняется за счет сдвига фаз токов выпрямителей ВН и НН. Эксперименты показали, что для выполнения перечисленных функций трансформатора в двухмостовом выпрямителе его вторичные обмотки следует разбить на секции. Взаимное расположение секций и их электрическое соединение влияют на вид статической ВАХ выпрямителя и сдвиг фаз токов выпрямителей ВН и НН, которые в свою очередь влияют на устойчивость горения электрической дуги.

В данной работе сравниваются два варианта исполнения вторичных обмоток трансформатора. В первом варианте обмотка ВН выполнена в виде одной секции, а обмотка НН — в виде двух секций (рис. 3, а), во втором — каждая вторичная обмотка выполнена в виде двух секций, причем эти обмотки

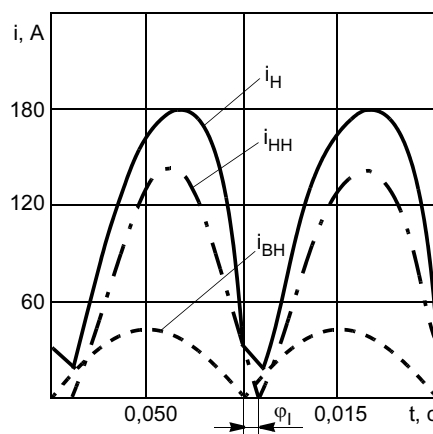


Рис. 2. Осциллограммы токов двухмостового сварочного выпрямителя

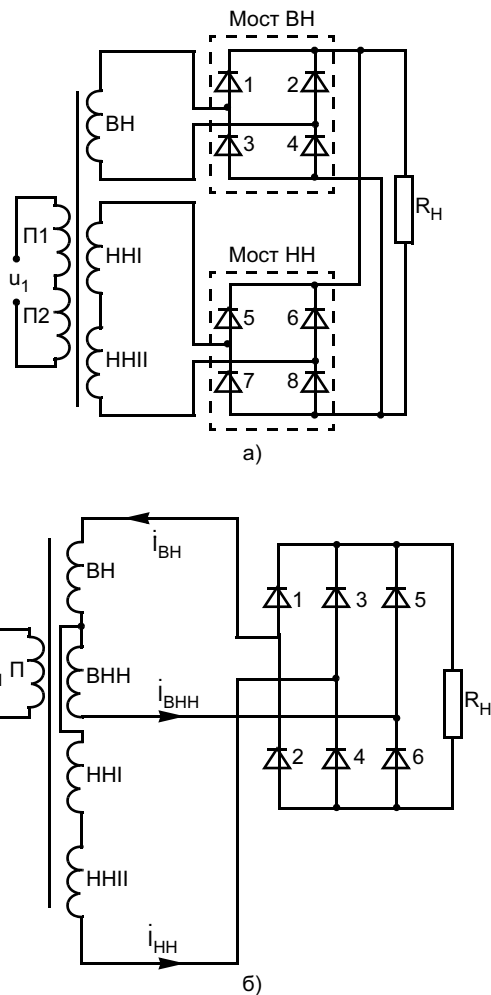


Рис. 3. Электрические схемы двухмостового сварочного выпрямителя

имеют электрическое соединение (рис. 3, б). Поскольку каждую секцию вторичных обмоток трансформаторов на рис. 3 следует рассматривать как отдельную обмотку, для теоретического исследования этих вариантов необходима схема замещения многообмоточного трансформатора. Однако известные схемы не позволяют сохранить реальное соединение вторичных обмоток в исследуемом трансформаторе, поскольку основаны на приведении уравнений равновесия эдс трансформатора к первичной обмотке [2]. Предлагаемая в работе схема замещения многообмоточного трансформатора позволяет воспроизводить при расчете любые сложные соединения вторичных обмоток.

Схема замещения трансформатора. При получении схемы замещения трансформатора воспользуемся методикой, изложенной в работе [3], согласно которой режим работы n -обмоточного трансформатора можно представить в виде наложения режимов работы $(n - 1)$ -двухобмоточных трансформаторов, взаимное влияние которых осуществ-

ляется через их поля рассеяния. Тогда уравнения равновесия эдс n -обмоточного трансформатора в комплексной форме можно представить в виде

$$\begin{aligned}
 \dot{E}_{XX2} &= (j\omega L''_{\sigma 12} + r''_{12}) \dot{I}_2 + \frac{r_1}{k_{12}k_{13}} \dot{I}_3 + \dots + \\
 &+ \frac{r_1}{k_{12}k_{1p}} \dot{I}_p + \dots + \frac{r_1}{k_{12}k_{1n}} \dot{I}_n + j\omega M_{\sigma 123} \dot{I}_3 + \\
 &+ \dots + j\omega M_{\sigma 12p} \dot{I}_p + \dots + j\omega M_{\sigma 12n} \dot{I}_n + Z_{H2} \dot{I}_2; \\
 \dot{E}_{XX3} &= (j\omega L''_{\sigma 13} + r''_{13}) \dot{I}_3 + \frac{r_1}{k_{13}k_{12}} \dot{I}_2 + \dots + \\
 &+ \frac{r_1}{k_{13}k_{1p}} \dot{I}_p + \dots + \frac{r_1}{k_{13}k_{1n}} \dot{I}_n + j\omega M_{\sigma 123} \dot{I}_2 + \\
 &+ \dots + j\omega M_{\sigma 13p} \dot{I}_p + \dots + j\omega M_{\sigma 13n} \dot{I}_n + Z_{H3} \dot{I}_3; \\
 &\dots \\
 \dot{E}_{XXn} &= (j\omega L''_{\sigma 1n} + r''_{1n}) \dot{I}_n + \frac{r_1}{k_{1n}k_{12}} \dot{I}_2 + \dots + \\
 &+ \frac{r_1}{k_{1n}k_{1p}} \dot{I}_p + \dots + \frac{r_1}{k_{1n}k_{1(n-1)}} \dot{I}_{n-1} + \\
 &+ j\omega M_{\sigma 1n2} \dot{I}_2 + \dots + j\omega M_{\sigma 1np} \dot{I}_p + \dots + \\
 &+ j\omega M_{\sigma 1n(n-1)} \dot{I}_{n-1} + Z_{Hn} \dot{I}_n,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где ω — круговая частота; \dot{E}_{XXn} — эдс холостого хода n -й обмотки; \dot{I}_n — ток n -й обмотки; $r''_{1n} = \frac{r_1}{k_{1n}^2} + r_n$ — индуктивность рассеяния и активное

сопротивление двухобмоточного трансформатора с обмотками 1 и n , приведенные к n -й обмотке; $L_{\sigma 1}$, $L_{\sigma n}$ — индуктивности рассеяния первичной и n -й обмоток; r_1 , r_n — активные сопротивления первич-

ной и n -й обмоток; $k_{1n} = \frac{w_1}{w_n}$ — коэффициент транс-

формации двухобмоточного трансформатора с обмотками 1 и n (w_1 , w_n — число витков первичной и n -й обмотки); $M_{\sigma 1n(n-1)}$ — коэффициент взаимной индукции по полям рассеяния двухобмоточных трансформаторов с первичной обмоткой 1 и вто-

ричными обмотками n и $n - 1$; $\frac{r_1}{k_{1n}k_{1(n-1)}} \dot{I}_{n-1}$ — зависимая эдс; Z_{Hn} — сопротивление нагрузки, подключенной к n -й обмотке.

Уравнениям (1) может соответствовать электрическая схема на рис. 4, в которой помимо актив-

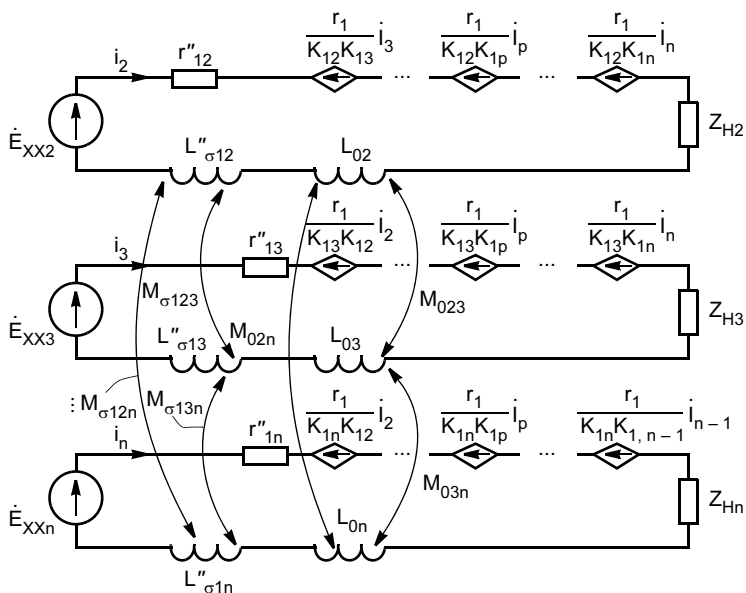


Рис. 4. Схема замещения n -обмоточного трансформатора

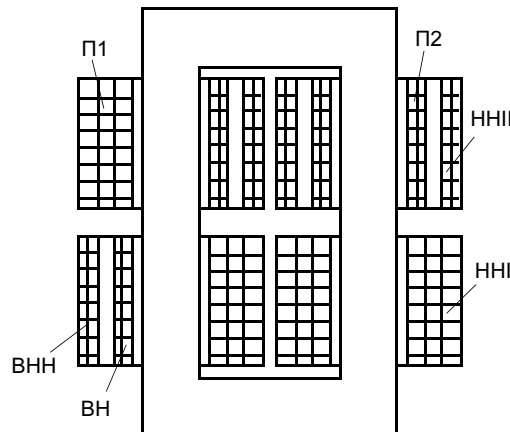


Рис. 5. Конструкция трансформатора

ных сопротивлений, индуктивно связанных элементов и независимых источников эдс имеются за-

висимые источники эдс: $\frac{r_1}{k_{12}k_{13}} \dot{I}_2, \frac{r_1}{k_{12}k_{13}} \dot{I}_3, \dots$

$\frac{r_1}{k_{1p}k_{1n}} \dot{I}_p, \dots, \frac{r_1}{k_{1n}k_{1(n-1)}} \dot{I}_{n-1}$. В этой схеме ветви

с элементами $\dot{E}_{XXn}, r_{1n}, L_{\sigma 1n}, \frac{r_1}{k_{1n}k_{12}} \dot{I}_2, \dots$

$\frac{r_1}{k_{1n}k_{1(n-1)}} \dot{I}_n$, замещающие вторичные обмотки

трансформатора, могут быть соединены в соответствии с любой сложной электрической схемой устройства, содержащего n -обмоточный трансформатор.

Определение параметров схемы замещения.

В схему замещения входят параметры короткого замыкания двухобмоточных трансформаторов, которые могут быть получены из экспериментов короткого замыкания. В каждом из этих экспериментов одна из обмоток является питающей, другая замкнута накоротко, а остальные разомкнуты. Для расчета этих параметров можно воспользоваться аналитическими или численными методами расчета параметров короткого замыкания двухобмоточных трансформаторов, которые достаточно хорошо разработаны [4]. Выбор метода зависит от конструкции трансформатора. Коэффициенты взаимной индукции $M_{\sigma 1n(n-1)}$ между n -й и $(n-1)$ -й обмотками и коэффициенты при зависимых эдс, которые входят в схему замещения и являются новыми в теории трансформаторов, можно найти на основании значений параметров короткого замыкания двух-

обмоточных трансформаторов по формулам работы [3]:

$$M_{\sigma 1n(n-1)} = \frac{L''_{\sigma 1(n-1)} + L''_{\sigma 1n} - L''_{\sigma n(n-1)}}{2};$$

$$\frac{r_1}{k_{1n}k_{1(n-1)}} = \frac{r''_{1(n-1)} + r''_{1n} - r''_{n(n-1)}}{2}. \quad (2)$$

Анализ влияния электрического соединения секций вторичных обмоток ВН и НН на устойчивость горения дуги в двухмостовом выпрямителе на основе предложенной схемы замещения.

Трансформаторы в двух схемах однофазного двухмостового сварочного выпрямителя (см. рис. 3) имеют двухстержневой магнитопровод и две последовательно и согласно соединенные секции первичной обмотки П1 и П2 (рис. 5). Каждую секцию вторичных обмоток при расчете следует рассматривать как отдельную обмотку, поэтому трансформатор на рис. 3, а является четырехобмоточным, а на рис. 3, б — пятиобмоточным. При использовании предлагаемой в работе схемы замещения четырехобмоточный трансформатор следует заменить тремя двухобмоточными трансформаторами с обмотками 1-ВН, 1-ННI и 1-ННII ("1" — первичная обмотка), а пятиобмоточный — четырьмя трансформаторами с обмотками 1-ВН, 1-ВНН, 1-ННI, 1-ННII. На рис. 6 приведена схема замещения четырехобмоточного трансформатора, полученная в соответствии с уравнениями (1) и схемой замещения на рис. 4. Индексы параметров этой схемы соответствуют обозначениям секций обмоток. Например, ко-

эффициент трансформации $k_{ВН} = \frac{w_1}{w_{ВН}}$ ($w_{ВН}$ — чис-

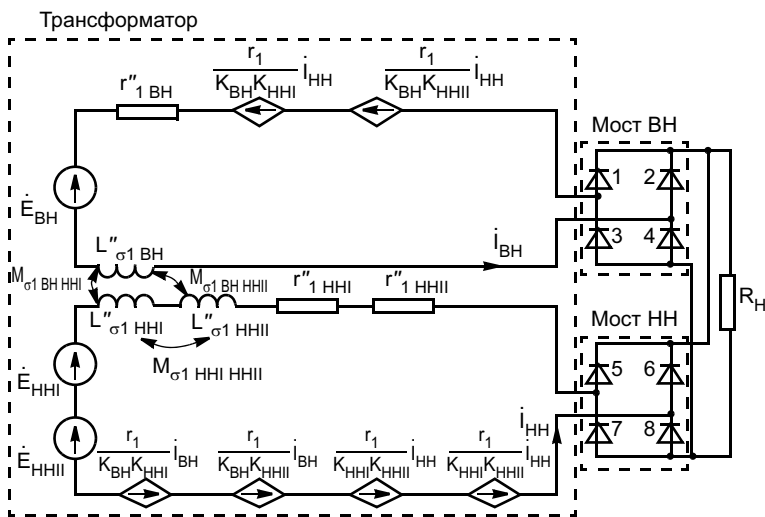


Рис. 6. Расчетная модель двухмостового выпрямителя с четырехобмоточным трансформатором для схемы на рис. 3, а

ло витков обмотки ВН) — коэффициент трансформации двухобмоточного трансформатора с первичной обмоткой, состоящей из секций П1 и П2, и обмоткой ВН. Параметры схемы замещения $r''_{1ВН}$, $L''_{\sigma 1ВН}$, $r''_{1НН}$, $L''_{\sigma 1НН}$, $M_{\sigma 1ВН НН I}$, $M_{\sigma 1ВН НН II}$, $M_{\sigma 1НН I НН I}$

определяли экспериментально. Активное сопротивление первичной обмотки и коэффициенты трансформации двухобмоточных трансформаторов, необходимые для задания зависимых эдс в схеме замещения на рис. 6, также определяли экспериментально.

Схему замещения на рис. 6 можно существенно упростить, принимая во внимание, что секции НН I и НН II соединены последовательно и согласно. В этом случае в схеме замещения четырехобмоточного трансформатора на рис. 6 эдс двух трансформаторов 1-НН I и 1-НН II можно объединить в одну. Кроме того, можно объединить зависимые эдс этих трансформаторов, поскольку справедливо следующее равенство:

$$\frac{r_1}{k_{ВН}k_{НН}} = \frac{r_1}{k_{ВН}k_{НН I}} + \frac{r_1}{k_{ВН}k_{НН II}} \quad (3)$$

Эксперименты показали, что для исследуемого трансформатора выполняются условия

$$M_{\sigma 1ВН НН II} \ll M_{\sigma 1ВН НН I} \text{ и } M_{\sigma 1НН I НН II} \ll M_{\sigma 1ВН НН I} \quad (4)$$

Учитывая наличие последовательно соединенных эдс и соотношения между коэффициентами взаимной индукции отдельных секций обмоток (4), схему замещения четырехобмоточного трансформатора можно представить в виде, приведенном на рис. 7, а. Упрощенная схема замещения пятиобмоточного трансформатора на рис. 3, б в соответствии с уравнениями (1) и с учетом выражений (3), (4) приведена на рис. 7, б.

Расчет электромагнитных процессов в схемах на рис. 3 осуществлялся численным методом. Главной целью расчетов являлось определение сдвига фаз токов $i_{ВН}$ и $i_{НН}$ выпрямителей ВН и НН. Расчеты показали, что в схеме на рис. 3, а сдвиг фаз токов $i_{ВН}$ и $i_{НН}$ однозначно определяется основными параметрами выпрямителя — рабочим током выпрямителя, напряжениями холостого хода выпрямителей ВН и НН, рабочими токами этих выпрямителей и крутизной внешней ВАХ. В диапазоне изменения рабочего тока выпрямителя от 80 до 200 А сдвиг фаз составляет не более 5° . Минимальное мгновенное значение выпрямленного тока, которое определяется этим сдвигом, является недостаточным для устойчивого горения дуги при использовании некоторых типов электродов.

В таких случаях целесообразно использовать схему, приведенную на рис. 3, б. Варианты выполнения обмоток, для которых проводили расчеты электромагнитных процессов по схеме на рис. 7, б, приведены в табл. 1.

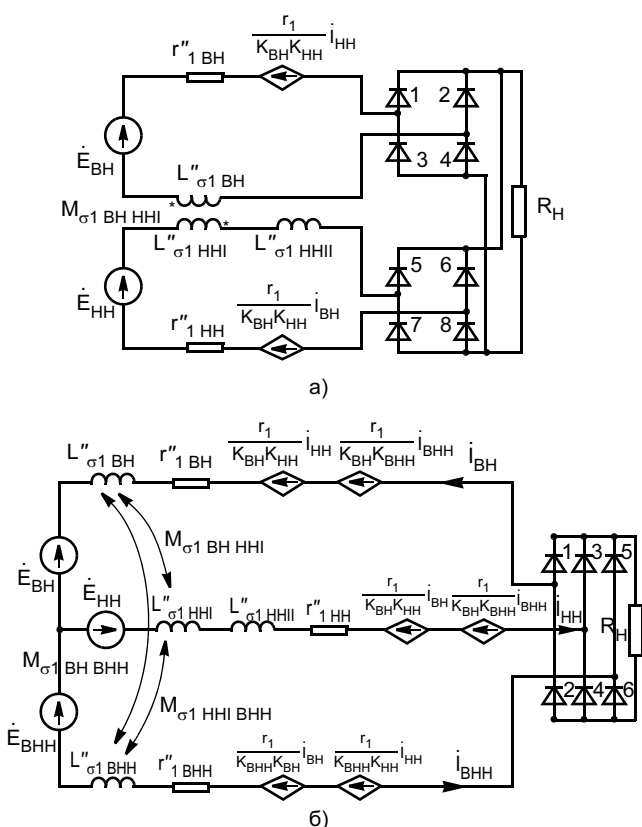


Рис. 7. Упрощенные расчетные модели двухмостового выпрямителя: а, б — для схем на рис. 3, а и б соответственно

Таблица 1

Вторичные обмотки	Номер варианта	Секции обмоток				Выпрямители	
		ВН	НН1	НН2	ВНН	ВН	НН
Число витков секции	1	81	33	17	—	81	50
	2	76	28		5		
	3	71	23		10		
	4	61	13		20		

В качестве примера на рис. 8 приведены осциллограммы токов в обмотках трансформатора для варианта 1 из табл. 1. Начало периода изменения этих токов обозначено как ωt_1 , а конец — ωt_8 . На оси времени указаны моменты переключения тока с одного диода на другой $\omega t_2, \omega t_3, \dots, \omega t_8$, которые делят период на семь промежутков, в каждом из которых ток проводят три диода. На основе этих осциллограмм получена информация о направлении токов в секциях вторичных обмоток трансформатора в зависимости от момента времени. Основная информация, обобщающая анализ работы выпрямителя, проведенный на основе осциллограмм токов в секциях вторичных обмоток, приведена в табл. 2.

В табл. 2 в столбце 4 указаны секции вторичных обмоток, выпрямленный ток в которых является током нагрузки, в столбце 5 — номера диодов, которые проводят ток в каждом из семи интервалов периода выпрямленного тока. Столбцы 6—8 дают информацию о структуре выпрямителя ВН — диодах, которые проводят ток, секциях вторичных обмоток, которые образуют выпрямитель, и действующем значении напряжения холостого хода этого выпрямителя. Столбцы 9—11 дают аналогичную инфор-

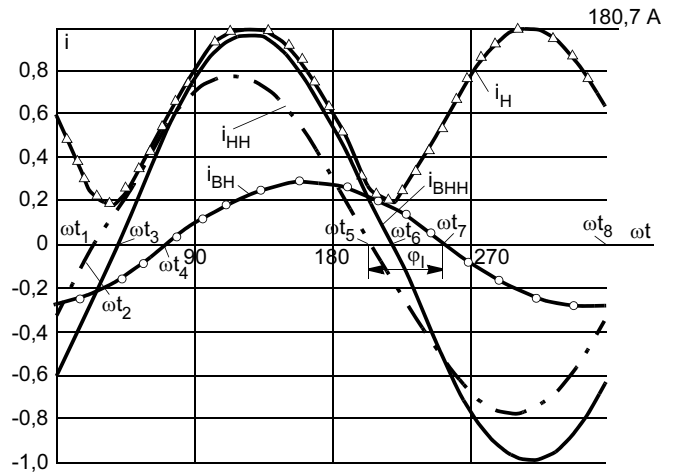


Рис. 8. Осциллограммы токов в секциях ВН, НН, ВНН для схемы на рис. 3, б

мацию о выпрямителе НН. Видно, что выпрямители ВН и НН в различные моменты времени образованы разными сочетаниями секций обмоток трансформатора, имеют разные действующие значения напряжения холостого хода (разница может составлять до 40 % для выпрямителя ВН и до 55 % для выпрямителя НН), а ток в этих выпрямителях проводят разные диоды. При этом большую часть периода (более 80 %) составляют интервалы $\omega t_4 - \omega t_5$ и $\omega t_7 - \omega t_2$. На этих интервалах выпрямитель ВН образован согласно и последовательно соединенными ветвями ВН и ВНН, а выпрямитель НН — согласно и последовательно соединенными ветвями НН и ВНН. Токи в ветвях ВН, НН и ВНН на этих интервалах не меняют свое направление, а ток нагрузки достигает максимального значения. На остальных интервалах, которые составляют около 20 % периода, происходит последовательное изменение направления токов в ветвях ВН, НН и ВНН. Мгновенные значения тока нагрузки на этих интервалах значительно меньше, чем на интервалах с неизменными направлениями токов в ветвях ВН, НН и ВНН. Ввиду небольших значений токов на этих интервалах и малой их длительности по сравнению с другими интервалами, можно пренебречь

Таблица 2

Номер интервала периода	Интервал периода тока нагрузки		Ветвь с суммарным током	ТД	Выпрямитель ВН			Выпрямитель НН		
	Начало—конец	$\Delta\omega t$, градус			ТД	$U_{XXВН}$, В	СВО	ТД	$U_{XXНН}$, В	СВО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$\omega t_7 - \omega t_2$	135	ВНН	2, 4, 5	2, 5	72,9	ВН, ВНН	4, 5	53,9	НН, ВНН
2	$\omega t_2 - \omega t_3$	15	ВН	2, 3, 5	2, 5	99,9	ВН, НН	2, 3	72,9	ВН, ВНН
3	$\omega t_3 - \omega t_4$	30	НН	2, 3, 6	2, 3	99,9	ВН, НН	3, 6	53,9	НН, ВНН
4	$\omega t_4 - \omega t_5$	135	ВНН	1, 3, 6	1, 6	72,9	ВН, ВНН	3, 6	53,9	НН, ВНН
5	$\omega t_5 - \omega t_6$	15	ВН	1, 4, 6	1, 4	99,9	ВН, НН	6, 1	72,9	ВН, ВНН
6	$\omega t_6 - \omega t_7$	30	НН	1, 4, 5	1, 4	99,9	ВН, НН	4, 5	53,9	НН, ВНН

Обозначения: ТД — токопроводящие диоды; СВО — секции вторичных обмоток.

Таблица 3

Номер варианта расчета	$\Delta\omega t$, градус	$\frac{i_{\min}}{I_H}$, %
1	3,0	6
2	7,5	9
3	22,0	18
4	50,0	32

их влиянием на энергетические характеристики выпрямителя¹.

Сравнение осциллограмм выпрямленных токов для схем на рис. 3, а и б показало, что электрическое соединение секций вторичных обмоток дает широкие возможности для увеличения минимального мгновенного значения выпрямленного тока i_{\min} и, соответственно, повышает устойчивость горения дуги. Это достигается за счет увеличения сдвига фаз токов в обмотках и за счет того, что на интервалах периода изменения выпрямленного тока, где его мгновенные значения достигают своего минимального за период значения, этот ток формируется под воздействием повышенных напряжений холостого хода выпрямителей по сравнению с теми, которые формируют выпрямленный ток на остальных интервалах периода. В связи с этим в схеме на рис. 3, б можно получить разные сдвиги фаз токов выпрямителей ВН и НН при одинаковых основных параметрах двухмостового выпрямителя за счет изменения соотношения числа витков в секциях ВН, НН1, НН2 и ВНН, что существенно отличает эту схему от схемы на рис. 3, а. В табл. 3 приведены ре-

¹ Патент 2265504 (РФ).

зультаты расчета сдвига фаз $\Delta\omega t$ токов обмоток ВН и НН и отношение минимального мгновенного значения выпрямленного тока i_{\min} к его среднему значению I_H для вариантов исполнения обмоток ВН и НН, приведенных в табл. 1.

Из табл. 3 следует, что перераспределение числа витков в секциях вторичных обмоток позволяет увеличить сдвиг фаз токов в обмотках ВН и НН до 50° и минимальное мгновенное значение выпрямленного тока до 32 А, что существенно повышает устойчивость горения дуги. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

ВЫВОДЫ

1. Электрическое соединение вторичных обмоток высокого и низкого напряжения позволяет расширить номенклатуру электродов, которые можно использовать без снижения устойчивости горения сварочной дуги при низком уровне электропотребления.

2. Разработанная схема замещения многообмоточного трансформатора дает широкие возможности для анализа электромагнитных процессов в электрических схемах с многообмоточными трансформаторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахно Л. И. Исследование двухмостовых выпрямителей с крутопадающими внешними характеристиками для питания электрической дуги // Электричество. 2002. № 2. С. 51—56.
2. Васютинский С. Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. Л.: Энергия, 1970. 432 с.
3. Сахно Л. И., Сахно О. И. Уравнения и схема замещения двухстержневого многообмоточного трансформатора // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2004. № 4. С. 8—15.
4. Лейтес Л. В. Электромагнитные расчеты трансформаторов. М.: Энергия, 1981. 392 с.

УДК 621.791.763.1

А. С. КЛИМОВ, канд. техн. наук, **А. А. ГЕРАСИМОВ**, аспирант,
А. Н. АНЦИБОРОВ, аспирант, **М. С. ГОНЧАРОВ**, студент
Тольяттинский государственный университет

Обеспечение качества контактной точечной сварки за счет стабилизации вторичного тока при износе сварочных электродов

Контактная точечная сварка на однофазных машинах переменного тока промышленной частоты сопровождается значительным количеством возмущающих факторов, таких как колебание напряжения питающей сети, внесение в сварочный контур ферромагнитных масс, нагрев элементов

вторичного контура и др. Использование этих систем управления дает хорошие результаты при контактной точечной сварке низкоуглеродистых сталей и легких сплавов [1]. Это делает необходимым использование систем автоматической стабилизации и регулирования процесса сварки. В настоя-

щее время применяют метод непосредственной стабилизации действующего тока во вторичном контуре контактной сварочной машины^{1,2}, который позволяет получать качественные сварные соединения в условиях воздействия возмущающих факторов.

Однако отношение исследователей к такому способу автоматического управления контактной сваркой неоднозначное. В ряде работ [2, 3] отмечается, что стабилизация действующего тока нарушает нормальное протекание процесса машинного саморегулирования контактной точечной сварки и приводит к повышению вероятности прожога или непровара при изменениях сопротивления на сварочном участке электрод—электрод. Так, вследствие износа электрода в процессе сварки происходит плавное уменьшение плотности тока и глубины проплавления, что может привести к возникновению стабильно повторяющегося непровара вследствие увеличения времени, необходимого для зарождения ядра сварной точки [4]. Этот отрицательный эффект наиболее опасен при сварке оцинкованных сталей, для которых ужесточены требования к геометрическим размерам сварной точки и заужен диапазон допустимых тепловых режимов [5, 6].

С учетом изнашивания сварочных электродов предложено ступенчато увеличивать сварочный ток по мере простановки сварных точек. Такое ступенчатое увеличение тока в простейшем случае может задаваться программно³, однако возможные неточности в прогнозе степени износа сварочного электрода могут привести к резкому уменьшению стабильности качества получаемых сварных соединений. Для учета действительного износа электрода предложено производить корректировку задаваемого сварочного тока исходя из результатов вычисления электрического сопротивления сварной точки с измерением тока и напряжения на электродах^{4,5}. Однако в этом случае необходимость измерения напряжения на участке электрод—электрод приводит к усложнению аппаратуры контроля, загромождению рабочего пространства вблизи сварочного контура. Получение точного значения падения напряжения на электродах затруднено по следующим причинам [3]: во-первых, измерение в некоторой близости от торцев электродов приводит к погрешности вследствие падения напряжения на самих электродах; во-вторых, закрепление датчиков на электродах приводит к появлению дополнительных контактов в измерительной цепи, сопротивление которых должно быть тщательно измерено

и по возможности учтено в результате измерений; в-третьих, значительные электромагнитные помехи, возникающие при сварке, вносят дополнительную погрешность в проводимые измерения.

Цель данной работы — повышение эффективности способа компенсации износа сварочных электродов при контактной точечной сварке за счет управления величиной действующего тока на основе исследований тепловых процессов на участке электрод—электрод.

Качество соединений, полученных контактной точечной сваркой, в основном определяется его геометрическими размерами — диаметром ядра и глубиной взаимного расплавления соединяемых листов, которые не должны быть менее определенных для заданной толщины соединяемых листов и материала свариваемых деталей. Основным условием получения сварной точки заданных размеров является вложение в зону сварки необходимого количества теплоты, контролируя которое, можно прогнозировать качество соединения. Необходимое для качественной сварки количество теплоты $Q_{э-э}$, выделяемой в промежутке электрод—электрод, ориентировочно может быть определено из закона Джоуля—Ленца:

$$Q_{э-э} = I_{св}^2 R_{э-э} t_{св}, \quad (1)$$

где $I_{св}$ — среднее за цикл сварки действующее значение сварочного тока; $R_{э-э}$ — среднее за сварочный цикл сопротивление промежутка электрод—электрод; $t_{св}$ — длительность сварочного цикла.

Из уравнения теплового баланса [2] контактной точечной сварки следует, что образующаяся при сварке теплота $Q_{э-э}$ расходуется на формирование сварного соединения $Q_{св}$, нагрев прилегающего металла $Q_{м}$ и электродов $Q_{эл}$:

$$Q_{э-э} = Q_{св} + Q_{м} + Q_{эл}. \quad (2)$$

При этом эффективный КПД процесса нагрева листов при контактной точечной сварке вычисляется как отношение количества теплоты $Q_{св} + Q_{м}$, оставшейся в образце к моменту выключения тока, к общей теплоте, выделившейся на сварочном участке цепи $Q_{э-э}$ [7]:

$$\eta_{н} = \frac{Q_{св} + Q_{м}}{Q_{э-э}}. \quad (3)$$

По мере изнашивания рабочих поверхностей сварочных электродов следует ожидать уменьшения эффективного КПД вследствие увеличения отвода теплоты в сварочные электроды. Экспериментально для листов толщиной (1 + 1) мм из стали 08Ю получены результаты отношения эффективного КПД $\frac{\eta_{н}''}{\eta_{н}}$ при сварке электродами с различными диаметрами рабочей поверхности (табл. 1).

¹ А. с. 1355409 (СССР).

² Патент 2291227 (Великобритания).

³ Патент 5449877 (США).

⁴ А. с. 1046051 (СССР).

⁵ Патент 61-078579 (Япония).

Таблица 1

$d_{эл}, \text{мм}$	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
$\frac{\eta_H''}{\eta_H'}$	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5

Система автоматического управления с компенсацией износа сварочных электродов исходя из анализа электрических сигналов, получаемых при сварке с заданным значением тока I_2' во вторичном контуре, должна определить износ сварочного электрода и задать новое значение тока I_2'' для выполнения условия

$$Q_M + Q_{св} = \text{const.} \quad (4)$$

Анализ уравнений (1)—(3) позволяет установить, что условие (4) будет выполняться при задании тока I_2'' согласно уравнению

$$\frac{I_2''}{I_2'} = \sqrt{\frac{\eta_H' R_{э-э}'}{\eta_H'' R_{э-э}''}}. \quad (5)$$

Экспериментально для листов толщиной (1 + 1) мм из стали 08Ю получены данные об изменении сопротивления участка электрод—электрод в последнем периоде сетевого напряжения сварочного импульса в зависимости от степени износа сварочных электродов. Сопротивление участка электрод—электрод определяли с использованием комплекса для исследования и управления процессами сварки [8] по следующей методике. Сварку выполняли на контактной машине МТПУ-300, для которой, согласно работе [9], определили активное R_2 и индуктивное X_2 сопротивления контура вместе с приведенными сопротивлениями первичной обмотки на данной ступени сварочного трансформатора: $R = 58$ мкОм, $X = 207$ мкОм. В качестве регулятора применяли РКМ-803 (ЗАО "Электрик-МИКС", С.-Петербург), настроенный на сварочный ток 8 кА и длительность импульса тока 0,14 с. Использовали электроды из бронзы БрХ с диаметром рабочей поверхности $d_{эл}$, равным 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 и 7 мм.

Измеряли угол открытия α и длительность λ включенного состояния тиристорov в последнем импульсе сварочного тока. Для приведенных выше значений диаметра сварочных электродов измеряли соответствующие значения α и λ : α равен 74, 80, 84, 88 и 90 эл. градуса соответственно; λ равна 149, 147, 145, 144 и 144 эл. градуса соответственно.

По аппроксимирующим зависимостям [10] определяли коэффициент мощности $\cos \varphi = f(\alpha, \lambda)$:

$$\begin{aligned} \cos \varphi(\lambda, \alpha) &\approx A_1(\alpha)\lambda + A_0(\alpha); \\ A_1(\alpha) &\approx -0,743\alpha^3 + 2,994\alpha^2 - 4,259\alpha + 1,359; \\ A_0(\alpha) &\approx 0,297\alpha^3 - 1,032\alpha^2 + 1,037\alpha + 2,352 \end{aligned} \quad (6)$$

и рассчитывали сопротивление участка электрод—электрод

$$R_{э-э}'' = \frac{\cos \varphi X_2}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}} - R_2. \quad (7)$$

Диаметр $d_{эл}$ рабочей поверхности сварочных электродов, соответствующие им измеренные значения α и λ , а также рассчитанные по формулам (6) и (7) значения $\cos \varphi$ и $R_{э-э}''$ приведены в табл. 2. При этом для диаметров $d_{эл} = 6$ мм и более получен непровар в виде объединения свариваемых листов без образования литого ядра.

Таблица 2

$\delta, \text{мм}$	(1 + 1) мм				
$d_{эл}, \text{мм}$	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
$\alpha, \text{эл. градус}$	74	80	84	88	90
$\lambda, \text{эл. градус}$	149	147	145	144	144
$\cos \varphi$	0,664	0,613	0,588	0,561	0,540
$R_{э-э}', \text{мкОм}$	126	103	91	77	66
$\frac{R_{э-э}''}{R_{э-э}'}$	1,00	0,82	0,72	0,61	0,52

Формулу (5) можно преобразовать следующим образом:

$$\frac{I_2''}{I_2'} = f\left(\frac{R_{э-э}'}{R_{э-э}''}\right), \quad (8)$$

где $f\left(\frac{R_{э-э}'}{R_{э-э}''}\right)$ — параметрическая функция, задаваемая таблично с учетом полученных экспериментальных данных (табл. 3).

Таблица 3

$\frac{R_{э-э}''}{R_{э-э}'}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$\frac{I_2''}{I_2'}$	1,0	1,1	1,25	1,4	1,7	2,0

Экспериментальная сварка листов из стали 08Ю толщиной (1 + 1) мм на машине МТПУ-300 с использованием полученных рекомендаций о коррекции вторичного тока (см. табл. 3) позволила получить качественные сварные соединения при изменении диаметра рабочей поверхности электродов от 5 до 7 мм.

ВЫВОДЫ

1. При контактной точечной сварке системы управления, работающие по принципу стабилиза-

ции тока во вторичном контуре, должны предусматривать автоматическое увеличение действующего вторичного тока в зависимости от износа электродов. При этом предпочтение перед ступенчатым увеличением на основе статистических исследований следует отдавать системам с адаптивным изменением действующего значения вторичного тока.

2. Коррекцию в зависимости от износа сварочных электродов значения действующего вторичного тока, задаваемого регулятором, работающим по принципу стабилизации сварочного тока, необходимо выполнять с учетом изменения сопротивления участка электрод—электрод и эффективного КПД сварки.

3. В качестве диагностического признака для определения изменения эффективного КПД процесса сварки при износе электродов может быть использовано изменение сопротивления участка электрод—электрод, информацию о котором можно получить прямыми измерениями или параметрически.

4. Показана возможность использования длительности включенного состояния тиристорных в качестве параметра обратной связи в системах со стабилизацией вторичного тока для его обоснованного ступенчатого увеличения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые разработки ЗАО "Электрик-МИКС" в области контроля и управления сварочными процессами / Ю. Е. Иоффе, В. В. Жданов, А. В. Котов и др. // Сварочное производство. 2002. № 4. С. 39—43.
2. *Технология* и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др.: Учебник для вузов. 2 изд. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
3. *Оборудование* для контактной сварки: Справочное пособие / Под ред. В. В. Смирнова. СПб.: Энергоатомиздат, 2000. 848 с.
4. Чакалев А. А., Казаков С. М., Ерофеев В. А. Саморегулирование процесса контактной сварки // Сварочное производство. 1986. № 8. С. 1—3.
5. Вакатов А. В. Особенности формирования сварных соединений при контактной точечной сварке оцинкованной стали // Сварочное производство. 2001. № 2. С. 20—21.
6. Чакалев А. А. Контактная сварка металлов с защитными покрытиями // Итоги науки и техники. Сер. Сварка. 1990. Т. 21. С. 48—61.
7. *Тепловые процессы* при контактной сварке // Сборник трудов лаборатории сварки металлов / Под ред. Н. Н. Рыкалина. М.: АН СССР, 1959. 278 с.
8. Компьютерный комплекс для исследования и управления процессами сварки / А. С. Климов, Н. П. Анциборов, А. А. Герасимов, М. С. Гончаров // Сварочное производство. 2006. № 3. С. 32—34.
9. Расчет составляющих комплексного сопротивления сварочного контура контактных машин / А. С. Климов, А. А. Герасимов, Н. П. Анциборов, М. С. Гончаров // Сварочное производство. 2006. № 8. С. 18—20.
10. Расчетное определение коэффициента мощности контактной сварочной машины при осуществлении автоматического управления процессом сварки / А. С. Климов, А. А. Герасимов, А. Н. Анциборов, М. С. Гончаров // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2006. № 1. С. 85—88.

УДК 621.791:621.795.4

В. М. КОНСТАНТИНОВ, канд. техн. наук, А. С. ГУБАНОВ, инж.
Полоцкий государственный университет

Влияние легирующих элементов стальной проволоки на структуру и свойства покрытий при электродуговом напылении

Процесс электродугового напыления (ЭДН) широко применяют при восстановлении деталей машин, что связано со значительным совершенствованием аппаратуры и технологии нанесения покрытий данным методом. ЭДН эффективнее других способов напыления по таким показателям, как производительность, термический КПД, себестоимость [1].

Несмотря на широкое применение ЭДН в ремонтном производстве, в качестве напыляемого материала зачастую используют проволоку, выпускаемую

для сварки и наплавки. Следует отметить, что процесс ЭДН значительно отличается условиями плавления материала от процессов сварки и наплавки. Поэтому при применении обычных сварочной и наплавочной проволоки происходит значительное выгорание легирующих элементов при напылении и снижение прочностных и адгезионных характеристик покрытий. Проволоки, предназначенные непосредственно для ЭДН и аналогичных методов, начали активно разрабатывать в последние десятилетия. В настоя-

щее время успешно применяют порошковые проволоки ПП-ТП-1 разработки ВНИИТУВИД "Ремдеталь" (Москва), НП1-НП4, ФМИ-2, разработанные в Физико-механическом институте им. Г. В. Карпенко (Львов). Однако стоимость порошковых проволок высока. Конкуренцию им могут составить проволоки, полученные путем диффузионного легирования различными флюсующе-упрочняющими элементами. Для этих проволок важным является оптимальное сочетание исходных легирующих элементов и диффузионно-введен-

ных. Анализ научно-технической литературы свидетельствует об отсутствии обобщенной информации о влиянии легирующих элементов в стальной проволоке на формирование и свойства покрытий при ЭДН. Наличие данной информации является основой системного проектирования сплавов для ЭДН.

Цель данной работы — установить влияние основных легирующих элементов, используемых для легирования различных проволок, на формирование и свойства покрытий при ЭДН.

Материалы и методика исследований. Свойства покрытий исследовали на образцах, полученных ЭДН различными проволоками. Напыление проводили с помощью металлизатора ЭМ-14 при давлении $p = 0,55$ МПа, токе $I = 170 \div 180$ А, напряжении $U = 36$ В, скорости подачи проволоки $v = 4,8 \div 5,4$ м/мин. Для распыления использовали сопло диафрагменного типа диаметром $d = 7 \cdot 10^{-3}$ м. Питание дуги осуществлялось от источника тока ВДУ-506. Напыление проводили на образцах из низкоуглеродистой стали, подготовленных с помощью дробеструйной обработки. Твердость покрытий определяли по методу Виккерса. Прочность сцепления покрытий на отрыв определяли штифтовой пробой.

Для исследования влияния легирующих элементов на свойства покрытий использовали различные проволоки диамет-

ром 1,6 и 2 мм: Св-08А, Св-08ГС, Св-08Г2С из сталей 10, Нп40, 70, У8, 40Х, 20Х13, 40Х13, 30ХГСА, а также из сталей 10, 40 и 70, диффузионно-легированных бором и алюминием. Диффузионную обработку проволоки проводили в разработанном контейнере для химико-технологической обработки проволоки. Борирование проводили при 920 °С в борсодержащей насыщающей смеси, алитирование — при 800 °С в алюминийсодержащей насыщающей смеси. Количество легирующих элементов в диффузионно-легированной проволоке определяли методом количественной металлографии.

Анализ процесса ЭДН. Процесс ЭДН включает следующие основные стадии:

— подачу в зону горения дуги и плавление электродных материалов;

— диспергирование расплава металла в зоне дуги газовым потоком;

— полет частиц и взаимодействие их с атмосферой;

— соударение частиц с подложкой, их кристаллизацию и формирование структуры покрытия.

При ЭДН нагрев и плавление распыляемого металла происходит за счет теплоты электрической дуги, горящей между расходуемыми проволоками-электродами, из которых образуется распыляемый материал. Жидкий металл сдувается с торцев электродов, дробится под воздействием газодинамических и электромагнитных

сил и в виде капель движется в направлении их действия [2].

Как следует из описания процесса, ЭДН имеет много общего с газотермическим напылением и дуговой сваркой. Однако существуют и важные отличительные особенности, а именно:

— постоянное и интенсивное воздействие кислорода воздуха на расплавленный металл на всех стадиях процесса, коэффициент массопереноса кислорода в расплавленном металле на порядок больше, чем при металлургических процессах [3], что обеспечивает интенсивное шлакообразование на поверхности расплава;

— постоянное увеличение удельной поверхности расплавленного металла вследствие диспергирования;

— полное или частичное перемешивание материалов электродных проволок и их компонентов при плавлении (на торцах, в дуге);

— низкий уровень активации процесса: температура распыляющего газа 16—20 °С, атмосфера в которой происходит распыление — окислительная.

В табл. 1 приведены характеристики состояния и процессов, происходящих в напыляемом материале.

Анализируя отличительные особенности процесса, можно сформулировать требования к легирующим элементам для получения сплавов для ЭДН: легирующие элементы должны обеспечивать защиту расплавленного

Таблица 1

Стадия напыления	Агрегатное состояние материала	Температура, °С	Основные процессы, происходящие в металле
Подача проволоки Плавление	Твердое Жидкое	20 2700—2800 [3]	— Образование капли расплавленного металла на торце проволоки, образование оксидов за счет окисления кислородом воздуха металла, испарение и перегрев металла, диффузионные процессы
Диспергирование	Жидкое	2800—2900 [4]	Отрыв капли от торца, дробление капли на более мелкие фракции, окисление и испарение металла и легких элементов, насыщение металла кислородом, образование шлаков, металлургическое взаимодействие компонентов проволоки между собой
Полет частиц	Жидкое (90 %), твердое (10 %)	1600—1800 [4]	Окисление металла, выделение кислорода вследствие падения растворимости, образование шлаков, взаимодействие компонентов проволоки между собой, охлаждение частиц
Соударение, кристаллизация	То же	1600 → 50—150 [4]	Дробление капли, взаимодействие с оксидами на поверхности, кристаллизация, закалка из жидкого состояния, образование пересыщенных твердых растворов

металла от окисления, например за счет флюсования или раскисления. Так как при ЭДН происходит постоянное увеличение удельной площади расплавленного металла, то легирующие элементы должны образовывать защитные слои на вновь образующихся поверхностях металла (диспергированных частицах); легирующие элементы должны оказывать активизирующее воздействие на процесс ЭДН (повышать теплосодержание, энтальпию частиц), например за счет протекания экзотермических реакций в расплавленном металле. Легирование сплава в целом должно обеспечивать высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств покрытий при ЭДН.

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что в металлургии при раскислении стали наиболее часто используют углерод, бор, алюминий, кремний, марганец, титан, а также их соединения [5]. Протекание экзотермических реакций возможно при использовании композиций, содержащих хром, алюминий, никель и железо [6, 7]. Также отмечается перспективность применения борсодержащих материалов при газотермическом напылении и наплавке, обеспечивающих повышенные свойства покрытий за счет защиты расплавленного металла раскислением [8].

Влияние легирующих элементов в стальной проволоке на свойства покрытий можно оценивать напылением стальных проволок различных марок, содержащих соответствующий легирующий элемент. Например, влияние хрома можно оценить при напылении хромистых проволок 40X и 40X13. Оценить влияние бора и алюминия можно только введением этих элементов диффузионным способом в материал проволоки, так как объемным способом эти элементы в проволочные материалы не вводятся.

Влияние углерода. Углерод вводят в стальную проволоку объемным способом при выплавке стали. Промышленность выпускает углеродистые проволоки широкой номенклатуры, поэтому при исследовании свойств покрытий варьируют содержание углерода в исходной проволоке возможно за счет выбора соответствующей марки проволоки. На рис. 1 представлены свойства покрытий из углеродистых проволок различных марок.

С повышением содержания углерода в стали снижается ее температура плавления, повышается жидкотекучесть в расплавленном состоянии. Углерод в значительной степени выгорает при ЭДН. При этом его содержание в покрытии снижается в среднем в 2—3 раза по сравнению с содержанием в проволоке [1]. Это обусловлено высокой реакционной способностью углерода и сродством к кислороду.

Углерод характеризуется высоким упрочняющим действием в стали за счет образования мартенситной структуры при закалке. Твердость закаленной стали У8 составляет 63—65 HRC₃. Однако при ЭДН упрочняющее действие углерода проявляется в меньшей степени: во-первых, он интенсивно выгорает, во-вторых — происходит отпуск низлежащих слоев покрытий при напылении. Структура покрытий, образующихся при напылении углеродистой проволоки,

представляет продукты распада мартенсита — троостит, сорбит. Прочность сцепления покрытий при увеличении содержания углерода в проволоке незначительно снижается, что обусловлено, видимо, уменьшением пластичности структур, образующихся при напылении и повышении внутренних напряжений в покрытии.

Углерод практически не обеспечивает защиту металла от окисления при ЭДН ввиду малых концентраций.

Бор. Исследование влияния бора на свойства покрытий проводили при напылении диффузионно-легированной проволоки. Бор при введении его в металлы образует бориды. Высокая микротвердость боридов (12 000—37 000 МПа) и малая растворимость бора в металлах обеспечивают значительное повышение твердости сплава. Борсодержащие покрытия имеют высокую износостойкость [8]. Характерной их особенностью является образование в условиях трения скользящего с большими удельными нагрузками вторичных борсодержащих структур оксидного типа, выполняющих роль смазки и снижающих силы трения и интенсивность изнашивания деталей пары трения [9].

Однако следует отметить тот факт, что бор отрицательно влияет на пластические свойства материала покрытия, понижая его сопротивление ударным нагрузкам. Объясняется это тем, что бор, легируя все структурные составляющие, повышает их твердость и снижает пластические характеристики.

Износостойкость борсодержащих покрытий обусловлена присутствием твердых боридов и карбоборидов. В сложнолегированных сплавах бор образует сложные соединения с компонентами сплава — бориды типа M_xB (металл—бор—углерод), M_xB_y , MV_y и другие карбобориды типа $M_xO_z(CB)_y$.

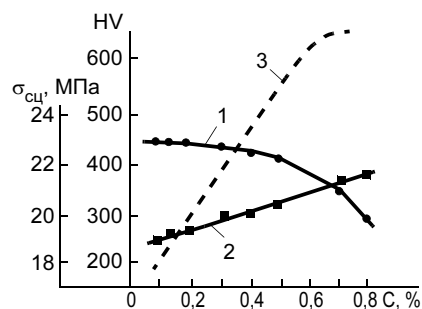


Рис. 1. Зависимость механических характеристик покрытий от содержания углерода в исходной проволоке: 1 — прочность сцепления; 2 — твердость; 3 — твердость закаленной стали

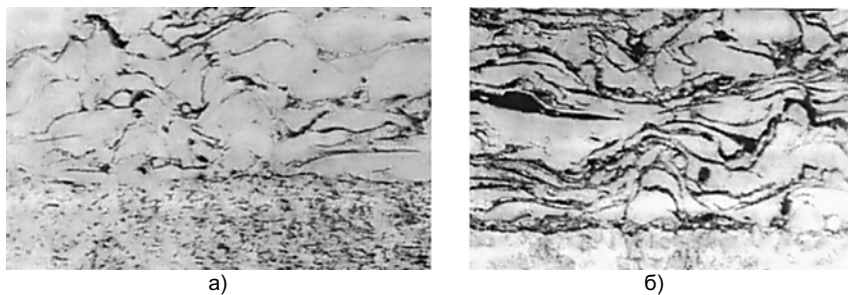


Рис. 2. Микроструктура покрытий, напыленных методом ЭДН с применением борированной проволоки Св-08Г2С (а. $\times 75$) и обычной Св-08Г2С (б. $\times 100$)

Бор значительно влияет на структурообразование покрытий при ЭДН [10]. Анализ микроструктуры покрытий, напыленных борированной проволокой, показал, что она имеет сходство со структурой покрытий при напылении обычной проволокой, однако имеются и отличия (рис. 2).

В покрытии присутствует некоторое количество оксидов, однако их значительно меньше, чем при напылении исходной (нелегированной проволокой). С увеличением содержания бора в проволоке количество оксидов в покрытии снижается. Это связано с раскисляющей способностью бора. Микротвердость покрытия различна из-за наличия различных фаз: Fe_2BC , Fe_2B (9200—11 000 МПа), феррита (1488 МПа), твердого раствора бора в железе — эвтектика (3020 — 4500 МПа). Бор, диффундируя в поверхностный слой проволоки, образует бориды железа Fe_2B и FeB . При плавлении диффузионно-легированной проволоки в процессе ЭДН часть боридов, растворяясь в железе, образует легкоплавкую железобористую эвтектику, а часть кристаллизуется в виде отдельных ламелей, выполняя упрочняющие функции. Из-за наличия легкоплавкой железобористой эвтектики повышается жидкотекучесть расплавленного металла при плавлении, что способствует мелкокапельному переносу при напылении.

Введение бора в стальную проволоку диффузионным путем способствует значительному по-

вышению твердости покрытий при последующем напылении (рис. 3, а); это обусловлено образованием гетерогенных структур с высокой твердостью.

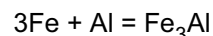
Повышение содержания углерода в проволоке повышает твердость покрытий при том же содержании бора. Влияние бора на прочность сцепления покрытий с подложкой экстремально (рис. 3, б): вначале наблюдается незначительное повышение прочности сцепления при увеличении содержания бора в проволоке, при определенном содержании она достигает максимума, а затем при увеличении содержания бора снижается. По-видимому, это обусловлено образованием в покрытии высокотвердых и хрупких заэвтектических структур, доля которых с ростом содержания бора растет.

Алюминий используют преимущественно при производстве порошковой проволоки, для легирования цельнотянутых проволочных материалов его исполь-

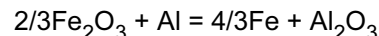
зуют крайне редко. Алюминий практически не влияет на упрочнение сплавов на железной основе. В состав порошковых проволок алюминий вводят преимущественно совместно с никелем и хромом для повышения прочности сцепления покрытий за счет раскисления алюминием оксидов железа, а также повышения температуры частиц при прохождении экзотермических реакций между компонентами порошковой шихты [7].

Влияние алюминия на свойства покрытий исследовали при напылении диффузионно-легированной алюминием проволокой. Установили, что алюминий при введении его в проволоку незначительно повышает твердость напыленных покрытий (рис. 4) за счет образования интерметаллидов и оксидов. Алюминий при напылении активно взаимодействует с кислородом воздуха и оксидами на поверхности подложки, в результате в покрытии образуются оксиды алюминия Al_2O_3 .

Введение в стальную проволоку алюминия повышает прочность сцепления напыленного покрытия с подложкой (см. рис. 4). Повышение прочности сцепления покрытий скорее всего обусловлено протеканием при напылении в расплаве капель экзотермических реакций



(0,75 кДж на 1 г проволоки);



(3,5 кДж на 1 г проволоки).

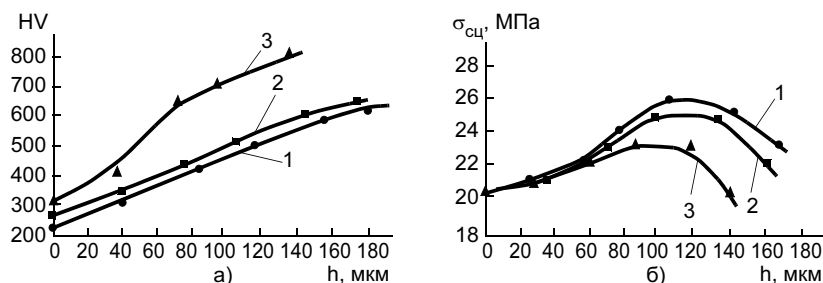


Рис. 3. Зависимость твердости (а) и прочности сцепления (б) покрытия с основой, напыленного диффузионно-легированной бором проволокой, от толщины диффузионного слоя: 1—3 — исходная проволока—сталь 10, 40 и 70 соответственно

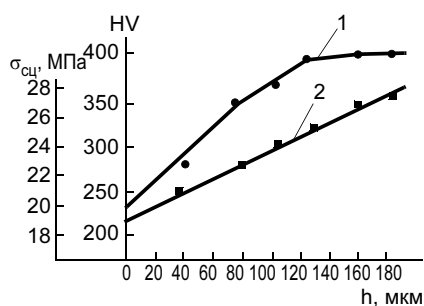


Рис. 4. Зависимость прочности сцепления (1) и твердости (2) покрытия, напыленного диффузионно-легированной алюминием проволокой из стали 10, от толщины диффузионного слоя

С увеличением содержания алюминия в проволоке возрастает прочность сцепления напыленного покрытия. Максимальное содержание алюминия в проволоке, получаемое диффузионным легированием, составляет 8,1—8,5 %. Этим значениям соответствует прочность покрытия 28—30 МПа.

Влияние хрома и никеля. Хром находит очень широкое применение для легирования. Следует отметить, что сплавы системы Fe—Cr практического значения не имеют из-за образования хрупкой σ -фазы FeCr и относительно небольшой степени упрочнения. Наибольшее влияние хрома на эксплуатационные свойства износостойких сплавов проявляется при наличии углерода [9]. Высокий уровень эксплуатационных свойств сплавов Fe—Cr—C обусловлен количеством, размерами, морфологией и микротвердостью карбидов и металлической основы.

В стали хром может образовывать орторомбический Cr_3C_2 , тригональный Cr_7C_3 и кубический $Cr_{23}C_6$ карбиды [9]. Карбид Cr_3C_2 в сплавах системы Fe—Cr—C встречается редко. Как правило, при содержании хрома менее 7 % образуются карбиды цементитного типа, легированные хромом.

Хром способствует повышению прокаливаемости стали при быстром охлаждении, поэтому структура покрытий из хромистых сталей состоит в основном из

мартенсита и продуктов его отпуски. При значительном содержании хрома в исходной проволоке в покрытии образуются карбиды $Cr_{23}C_6$, а также небольшое количество аустенита. Хром в значительной степени повышает коррозионную стойкость покрытий, а также адгезию покрытия к смазке [11]. На прочность сцепления покрытий хром в чистом виде не влияет. При ЭДН хром практически не выгорает [12].

Никель широко применяют в сплавах для защитных покрытий. Он неограниченно растворим в железе и является сильным аустенизирующим элементом. Собственных высокотвердых фаз в сплавах железа никель не образует. Его влияние заключается в существенном повышении стойкости покрытий против ударных нагрузок. С увеличением содержания никеля повышается вязкость сплава практически без ущерба для износостойкости. Никель — дорогой легирующий элемент, поэтому его содержание в износостойких сплавах на основе железа ограничивают, исключение составляют сплавы для коррозионно-стойких покрытий. В самофлюсующихся порошках никель применяют в качестве основы сплава. В этом случае достигаются высокие коррозионная и износостойкость, а также технологичность нанесения покрытия благодаря образованию в системе M—Cr—B гетерогенной структуры эвтектического типа с низкой температурой плавления (менее 1000 °C). Никель в присутствии алюминия способствует повышению прочности сцепления покрытий при напылении за счет протекания экзотермических реакций [6]. Однако такое взаимодействие возможно только тогда, когда для напыления используют порошковые проволоки и когда материалы находятся в порошковой композиции или при применении биметаллических проволок никель—алюминий. Никель в присутствии алюминия способст-

вует повышению твердости покрытий, прочности сцепления и пластичности. В процессе напыления выгорает незначительно.

Влияние кремния и марганца. Кремний в малых количествах (до 1,0 %) слабо влияет на структуру и механические свойства, однако в силу металлургических особенностей производства кремний является постоянным спутником сплавов на основе железа.

Кремнийсодержащие сплавы для износостойких покрытий, как правило, содержат углерод, хром и ряд других легирующих элементов. Кремний не образует самостоятельных карбидов, является ферритизирующим элементом, снижает содержание остаточного аустенита и упрочняет ферритную матрицу. Кремний повышает коррозионную стойкость железоуглеродистых сплавов. Однако механические и триботехнические свойства стали при легировании только кремнием низки. Высококремнистый слой склонен к образованию пор и имеет низкую трещиностойкость. Кремний вводят в гомогенные проволоки для сварки и наплавки, флюсования металла сварочной ванны. Как правило, содержание его в проволоке не превышает 1—2 %. При ЭДН из-за малого времени существования жидкого расплава металла кремний как раскислитель малоэффективен.

Значение марганца для износостойких сплавов обусловлено его аустенизирующей способностью и стабилизацией карбидов. Следует отметить также, что легированный марганцем карбид $(FeMn)_3C$ менее хрупок, чем цементит. По стабилизирующему воздействию на аустенит марганец подобен никелю.

Марганец подавляет превращение в бейнитной области, растягивает процесс превращения в перлитной области при одновременном интенсивном снижении температуры мартенситного превращения [13]. Поэтому стали, легированные марганцем, имеют

Таблица 2

Показатель	Углерод	Бор	Алюминий	Никель	Хром	Марганец	Кремний
Твердость	Повышает	Повышает	Повышает	Не влияет	Повышает	Не влияет	Не влияет
Пластичность	Снижает	Снижает	"	Повышает	Не влияет	Снижает	Снижает
Износостойкость	Повышает	Повышает	"	Не влияет	Повышает	Не влияет	Не влияет
Прочность сцепления	Снижает	"	"	Повышает	Не влияет	"	"
Степень окисления	Не влияет	Снижает	Снижает	Не влияет	"	Снижает	Снижает
Температура частиц	"	Повышает	Повышает	Повышает	Повышает	Не влияет	Не влияет

в структуре значительное количество остаточного аустенита. Образуемая при этом структура (остаточный аустенит, мартенсит, карбиды) обладает высокими эксплуатационными свойствами, особенно в условиях ударных нагрузок. Для сплавов системы Fe—Cr—Mn—C оптимальное содержание Mn — 2—4 %.

Эффективно легирование марганцем бористых сплавов. В этом случае уменьшается количество хрупкого цементита за счет образования карбида $FeMn_3C$ на фоне боридов Fe_2B [9]. Однако для аустенизации сплава и повышения его ударостойкости необходимо дополнительное легирование никелем.

Результаты анализа влияния легирующих элементов при ЭДН приведены в табл. 2.

ВЫВОД

Проведенный анализ влияния легирующих элементов на свойства покрытий показывает, что формирование структур при электродуговом напылении с повышенной и высокой твердостью возможно при использовании сплавов систем Fe—C—B, Fe—B, Fe—Cr—B, Fe—C—Cr, Fe—Al—B, а с повышенной прочностью сцепления — систем Fe—Al, Fe—B, Ni—Al. Поэтому целесообразно диффузионное легирование стальной проволоки бором и алюминием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Преимущества* активированной дуговой металлизации / Ю. С. Коробов, В. Л. Луканин, А. С. Прядко, В. Л. Изойтко // Сварщик. 2002. № 2.
2. *Поляк М. С.* Технология упрочнения. В 2 т. М.: "Л.В.М. — СКРИПТ", Машиностроение, 1995. Т. 1. 832 с.

3. Коробов Ю. С., Бороненков В. Н. Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металлизации // Сварочное производство. 2003. № 7. С. 30—36.

4. Коробов Ю. С. Совершенствование технологии электродуговой металлизации на основе моделирования взаимодействия металла с газами и исследования свойств покрытий: Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2004. 32 с.

5. *Никифоров В. М.* Технология металлов и других конструкционных материалов. Л.: Машиностроение, 1986. 363 с.

6. *Матвейшин Е. Н.* Нанесение слоев с высокой прочностью сцепления методами электродуговой металлизации // Автоматическая сварка. 2000. № 8. С. 20—22.

7. *Порошковые* проволоки систем FeCrB + Al и FeCrB + Al + C для электродуговой металлизации / В. И. Похмурский, М. М. Студент, В. М. Довгуньк и др. // Автоматическая сварка. 2002. № 3. С. 32—35.

8. *Пантелеенко Ф. И.* Самофлюсующиеся диффузионно-легируемые порошки на железной основе и защитные покрытия из них. Минск: УП "Технопринт", 2001. 300 с.

9. *Восстановление* деталей машин: Справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов / Под ред. В. П. Иванова. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.

10. *Губанов А. С.* Диффузионно-легируемая проволока для газотермического напыления // Материалы, технологии и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин / Под общ. ред. П. А. Витязя, С. А. Астапчика. Минск: УП "Технопринт"; Новополоцк: ПГУ, 2003. 390 с.

11. *Ивашко В. С., Белоцерковский М. А., Буйкус К. В.* Восстановление узлов трения активированной дуговой металлизацией // Автоматическая сварка. 1999. № 4. С. 47—49.

12. *Структура* и свойства стальных покрытий, нанесенных методом активированной дуговой металлизации / Ю. С. Коробов, А. М. Полякова, И. Л. Яковлева, А. С. Прядко // Сварочное производство. 1997. № 1. С. 4—6.

13. *Константинов В. М.* Физико-химический анализ легирующих элементов в защитных покрытиях из диффузионно-легируемых сплавов // Вестник ПГУ. 2003. № 4. С. 23.

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

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

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

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

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

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

УДК 621.792.053

Н. Ф. ЛУКИНА, канд. техн. наук, **Л. И. АНИХОВСКАЯ**, канд. техн. наук,
Л. А. ДЕМЕНТЬЕВА, инж., **А. П. ПЕТРОВА**, д-р техн. наук, **Т. Ю. ТЮМЕНЕВА**, инж.
ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ

Клеи и клеящие материалы для изделий авиационной техники

ФГУП "ВИАМ" является головным предприятием авиационной отрасли по разработке клеев и клеящих материалов на их основе. За годы деятельности лаборатории клеев разработан широкий ассортимент клеев и клеящих материалов, нашедших применение практически во всех изделиях авиационной техники:

- клеи конструкционного назначения, в том числе высокопрочные и высокоэластичные пленочные клеи горячего отверждения и высокопрочные пастообразные клеи холодного отверждения;

- композиционные клеевые материалы на основе клеящих матриц и стекло- и угленополнителей;

- алюмополимерные композиционные материалы класса СИАЛ;

- клеи специального назначения, в том числе термостойкие, резинотехнического назначения;

- самоклеящиеся материалы на основе алюминиевой фольги, защитное пленочное покрытие.

Высокопрочные пленочные и пастообразные клеи конструкционного назначения с широким диапазоном прочностных и деформационных свойств не уступают лучшим зарубежным аналогам. Клеи предназначены для изготовления сотовых и слоистых силовых конструкций из металлов и полимерных композиционных материалов. Клеевые соединения обладают высокой длительной прочностью,

вибростойкостью, стойкостью против образования трещин, воздействия климатических факторов и агрессивных сред. В табл. 1 представлены характеристики пленочных клеев конструкционного назначения: прочность τ_B , прочность при отрыве σ_B , прочность при расслаивании $S_{\text{рассл}}$, относительное удлинение при сдвиге γ , длительная прочность $\sigma_{\text{д.п}}$, вибростойкость τ_{max} (на базе 10^7 циклов).

Высокопрочные клеи обеспечивают высокие ресурс и надежность конструкций при эксплуатации и снижение трудоемкости при их изготовлении.

Клеи широко применяют в изделиях военной, гражданской и транспортной авиационной и вертолетной техники (МиГ-23, 25, 29, 31, Су-25, 27, 32, 35, Ми-8, 10, 24, 34 и их модификациях) [1—4].

Решена задача по разработке новых клеев взамен снятых с производства высокопрочных пленочных клеев конструкционного назначения ВК-41 и трудносгораемого ВК-46. Разработан пленочный клей ВК-41М конструкционного назначения, предназначенный для применения в сотовых конструкциях. Сравнительные свойства клеевых соединений на основе клеев ВК-41М и ВК-41 приведены в табл. 2.

Клеевые соединения на основе клея ВК-41М характеризуются высокими прочностными свойствами при температуре от 20 до 80 °С после воздей-

Таблица 1

Клей	Интервал рабочих температур, °С	Прочностные характеристики					
		τ_B , МПа	σ_B , МПа	$S_{\text{рассл}}$, Н/мм	γ , %	$\sigma_{\text{д.п}}$, МПа (время, ч)	τ_{max} при $N = 10^7$ циклов, МПа
ВК-25	-60—200	27	22	5—6	140—200	18,5 (500)	9
ВК-36	-130—160	37±2,5	50	2—3	80—100	34 (500) 33 (1000)	8
ВК-50	-60—150	25 ± 5	25 ± 5	10	135—150	17 (500)	10
ВК-51	-60—80	40±2,5	—	3	70—120	32,4 (500)	9
ВК-51А	-69—80	37,5±2,5	—	3	40	22,4 (500)	9

Таблица 2

Показатель	ВК-41М		ВК-41	
	Температура испытания, °С			
	20	80	20	80
Предел прочности при сдвиге τ_B , МПа	35,0	32,6	32,5	25,0
Предел прочности при расслаивании $S_{рассл}$, Н/мм	3	3	3	2,8
Предел прочности при отслаивании $S_{отсл}$, Н/мм	6	6	4	4
Предел прочности при отди-ре обшивки от сот $M_{отд}$, Н · мм/мм	10	—	9	—

ствия различных факторов: воды, камеры тропического климата, влажности $\varphi = 98 \%$, термостарения.

Взамен клея ВК-46 разработан пленочный трудносгораемый с пониженным дымовыделением клей ВК-46Б конструкционного назначения, предназначенный для склеивания сотовых конструкций из металлических и неметаллических материалов, в том числе с пониженной горючестью. Прочностные характеристики клеевых соединений на основе клеев ВК-46 и ВК-46Б приведены в табл. 3.

Производство клеев ВК-41М и ВК-46Б полностью обеспечено отечественным сырьем.

Начиная с 1985 г. интенсивно развиваются работы по созданию нового класса конструкционных материалов — долгоживущих клеевых препрегов (композиционные материалы клеевые КМК), в которых высокопрочные клеи применяются в качестве клеевой матрицы с регулируемыми свойствами для получения требуемых прочностных, деформационных и вязкоупругих характеристик. В качестве наполнителей клеевых препрегов используются стекло- и углеродные ленты и ткани — однонаправленные, равнопрочные, в том числе на основе высокомодульных волокон (КМКС и КМКУ соответственно). Отличительная особенность КМКС и КМКУ — возможность изготовления за одну технологическую операцию высоконагруженных конструкций из стекло- и углепластика (в том числе с сотовым за-

полнителем) одинарной и сложной кривизны. Применение КМК позволяет:

- снизить цикл изготовления конструкций в 2—3 раза; трудоемкость изготовления сотовых конструкций — на 40—50 % по сравнению с обычными клееными панелями за счет сокращения технологических операций в 3 раза; количество оснастки — в 1,5—2 раза; массу конструкции (особенно с сотовым наполнителем) — на 30—50 %; количество выбросов вредных веществ в атмосферу — в 10—15 раз за счет использования безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них;
- повысить герметичность конструкций из ПКМ в 10 раз; трещиностойкость — на 40—50 %; прочность при межслоевом сдвиге — на 20—35 %.

Первый этап работ в этом направлении — разработка КМК с рабочей температурой 80 °С. Путем направленной модификации состава клеевой матрицы достигнуто повышение теплостойкости клеевых препрегов с 80 до 120 °С (КМКС-2м-120 и КМКУ-2м-120), 150 °С (КМКУ-3-150) и 175 °С (КМКС-4-175). При температуре 120 и 150 °С материалы работают длительно, а при 175 °С — кратковременно. Использование в составе этих клеевых препрегов большого ассортимента стекло- и угленаполнителей позволило варьировать свойства КМК в широких пределах (табл. 4).

Разработанные КМК — одни из наиболее перспективных полимерных материалов. Их применяют практически во всех современных изделиях авиационной, вертолетной и ракетно-космической техники. Эти материалы широко и с положительным эффектом опробованы для создания деталей и агрегатов из ПКМ сотовых и интегральных конструкций новых изделий авиационной техники. Потребность в материалах КМК в настоящее время составляет сотни тысяч квадратных метров.

С применением клеевых препрегов разработаны слоистые алюмополимерные материалы — СИАЛы, что явилось логическим шагом в развитии идеи, технологии и опыта широкого применения в авиации слоистых клеевых алюминиевых соедине-

Таблица 3

Показатель	ВК-46Б		ВК-46	
	Температура испытания, °С			
	20	80	20	80
Предел прочности при сдвиге τ_B , МПа	35,3	28,2	30,0	20,0
Предел прочности при отслаивании $S_{отсл}$, Н/мм	6,8	6,3	4,8	4,5
Предел прочности при отрыве $\sigma_{от}$, МПа	5,8	5,2	5,7	5,0

Таблица 4

Показатель	КМКС-2м-120	КМКУ-2м-120	КМКУ-3-150	КМКС-4-175
Прочность при растяжении, МПа	330—1300	880—2090	1020	450—600
Модуль упругости при растяжении, ГПа	20—42	110—130	130	22—29
Прочность при сжатии, МПа	490—750	880—990	1050	560—630
Модуль упругости при сжатии, ГПа	—	100—125	105	—

ний и конструкций, обладающих повышенной надежностью и ресурсом работы.

Широкое разнообразие структур и свойств слоистых композиционных материалов позволяет конструктору выбрать соответствующий материал для определенных целей. Число, толщина, соотношение слоев, строение слоя стеклопластика, состав и состояние поверхности алюминиевых листов зависят от назначения слоистого материала. Наиболее типичная структура — трехслойная (два алюминиевых листа + один слой стеклопластика) и пятислойная (три алюминиевых листа + два слоя стеклопластика). Создание необходимой анизотропии свойств в соответствии с условиями работы конструкции регулируется перекрестным армированием слоев пластика. В СИАЛ-2 они содержат около 70 % стекловолокон в одном направлении и около 30 % в перпендикулярном, в СИАЛ-3 — 50 и 50 % соответственно.

Материалы СИАЛ превосходят по сопротивлению усталости, вязкости разрушения, статическим механическим свойствам, ударо- и огнестойкости монолитные листы из традиционных алюминиевых сплавов, которые в настоящее время применяются в авиации. Слоистые материалы также имеют пониженную плотность.

Важнейшим преимуществом слоистых композитов типа СИАЛ перед алюминиевыми листами является высокая трещиностойкость, особенно чрезвычайно высокое сопротивление росту трещины усталости, определяющее надежность и ресурс работы самолетных конструкций.

Разработки последних лет расширили ассортимент алюмополимерных материалов класса СИАЛ. Разработанные ранее СИАЛы на базе листов алюминиевого сплава Д16чАТ и клеевого препрега КМКС 1.80.Т60 с теплостойкостью 80 °С наряду с повышенной (в 1,5—2,0 раза) прочностью и другими преимуществами по сравнению с монолитными листами из сплава Д16чАТ обладали пониженным на 10—30 % модулем упругости при растяжении. В связи с этим актуальной являлась задача по созданию материала СИАЛ на базе алюминий-литиевого сплава 1441, обладающего в сравнении со сплавом Д16чАТ повышенным модулем упругости ($E \sim 8000$ МПа), пониженной плотностью ($d \sim 2,59$ г/см³) и повышенной температурой эксплуатации (~ 130 °С).

Разработаны материалы СИАЛ на базе сплава 1441 и теплостойкого препрега КМКС 2.120.Т60 на основе кордной ткани Т-60 из высокомодульного волокна ВМП, предназначенные для эксплуатации при температуре до 120 °С: СИАЛ-1-1, в котором волокна основы кордной ткани Т-60 расположены в одном направлении (0/0), и СИАЛ-3-1, в котором

соотношение волокон основы в долевом и поперечном направлениях 0/90°.

Следующим этапом стали работы по созданию материала СИАЛ на базе сплава 1441 и клеевого препрега на основе ровинга из высокомодульного стекловолокна, что позволило повысить жесткость E на 10—15 %, температуру эксплуатации — на 50 °С; снизить массу конструкций на 5—10 %. В табл. 5 представлены сравнительные характеристики материалов класса СИАЛ на базе листов сплава 1441 (рабочая температура 120 °С).

Разработанные СИАЛы на базе сплава 1441 имеют высокие трещиностойкость, удельную прочность, стойкость против усталостных нагрузок, коррозионную стойкость в сочетании с пониженной плотностью. Применение таких материалов в качестве элементов конструкций новых изделий авиационной техники позволит решить важнейшую задачу повышения прочности, надежности и ресурса работы при одновременном снижении весовых характеристик, что обеспечивает достижение высоких эксплуатационных свойств¹.

Большое значение имеет разработка клеев для комбинированных соединений: ВК-9, ВК-27 холодного отверждения и ВК-37 и ВК-39 горячего отверждения. Эти клеи предназначены для склеивания металлов и различных неметаллических материалов в клеевых и комбинированных (клееклепаных, клеесварных, клеерезьбовых) соединениях в различных отраслях промышленности [5].

Клеевые соединения, выполненные с применением этих клеев, имеют высокую водо- и тропикостойкость и обеспечивают снижение массы по сравнению с клееными конструкциями.

Клеи ВК-37, ВК-39, отверждающиеся при повышенной температуре (120 °С, 3 ч) обеспечили получение клееклепаных и клеесварных конструкций с высоким ресурсом и надежностью.

Большое значение имеют клеи холодного отверждения и при ремонте авиационной техники. В настоящее время почти во всех изделиях отечественной авиационной и космической техники эксплуатируются клееные агрегаты сотовой и слоистой

Таблица 5

Материал	σ , МПа	E , ГПа	d , г/см ³
СИАЛ-1-1	900	69	2,36
СИАЛ-3-1	600	55	2,36
СИАЛ-1-1Р	990	70	2,35
Д16чАТ	430	70	2,70

¹ Работы проводились под руководством академика РАН И. Н. Фридляндера сотрудниками лаборатории клеев Л. И. Аниховской, А. А. Лямина и др. и лаборатории алюминиевых сплавов — О. Г. Синаторовой и В. В. Сидельниковым.

конструкций из Al-сплавов и полимерных композиционных материалов. В ФГУП "ВИАМ" разработан новый высокопрочный двухкомпонентный клей холодного отверждения ВК-67, который превосходит все ранее разработанные клеи этого класса. Клей ВК-67 превосходит клей ВК-27 по прочности на 20 и 75 % при температуре испытания 20 и 80 °С соответственно, по эластичности — в 3—4 раза, теплостойкости (температура эксплуатации 125 вместо 80 °С) и технологичности — обеспечивает возможность ремонта в условиях повышенной влажности и на влажных поверхностях при температуре не ниже 12 °С.

Свойства клеев холодного отверждения приведены в табл. 6.

Клеи для комбинированных соединений ВК-37, ВК-39, отверждающиеся при температуре 120 °С в течение 3 ч, позволили получить клееклепанные и клеесварные конструкции с высокими ресурсом и надежностью.

В последнее время разработаны новые клеи для приборной техники взамен снятых с производства. Разработан токопроводящий клей ВКП-11 взамен клея ВКП-6, в составе которого содержится компонент, выпускаемый за пределами РФ. Клей ВКП-11 рекомендуется для склеивания алюминиевых сплавов, коррозионно-стойкой стали, латуни и меди, для создания электрического контакта в конструкциях, работающих в интервале температур от –60 до 120 °С, в том числе при температуре 120 °С в течение 1000 ч. Удельное объемное сопротивление клея при 20 °С не превышает $5 \cdot 10^{-4}$ Ом · м. Клей ВКП-11 не содержит в своем составе драгметаллов [6].

Сравнительные свойства токопроводящих клеев ВКП-6 и ВКП-11 приведены в табл. 7.

Термостойкие клеи, разработанные в ФГУП "ВИАМ", широко применяют в двигателестроении, изделиях спецтехники, в народном хозяйстве для приклеивания теплоизоляционных и других термостойких неметаллических материалов; склеивания изделий из высокоплотной керамики (без специальной обработки поверхности); изготовления и крепления к поверхности испытываемых изделий тензометрической оснастки и различных датчиков; ремонта и уплотнения соединений; склеивания

Таблица 6

Показатель	Температура испытания, °С	ВК-9	В-27	ВК-67
Прочность при сдвиге, МПа	20	15	25	30
	80	—	10	19
	125	4	—	10
Прочность при отслаивании, кН/м	20	1—2	2—3	3—5

Показатель		ВКП-6	ВКП-11
Режим отверждения	Температура, °С	80	120
	Время, ч	3	3
	Удельное давление, МПа	0,01—0,10	0,05—0,10
Интервал рабочих температур, °С		–60—120	–60—120
Прочность при сдвиге, МПа, при температуре, °С	20	14,0	14,0
	80	—	13,0

магнитопроводов, монтажа кристаллов; изготовления оптических пирометров.

Клеи обеспечивают работоспособность клеевых соединений при температуре 300—350 °С (длительно) и до температуры 1600 °С (кратковременно) [7].

Клеи ВК-20 и ВК-20М представляют многокомпонентные композиции, модифицированные карборансодержащими соединениями, обладающие уникальным сочетанием прочности и теплостойкости. Клеи предназначены для склеивания металлов (стали, титановых сплавов) и неметаллических материалов (стеклопластиков, графита и др.). Клей ВК-20 горячего отверждения используется для крепления торцевых контактных уплотнений в конструкции двигателя. Клей ВК-20М холодного отверждения применяют для приклеивания и ремонта тепло- и звукоизоляции в зоне двигателя.

Однокомпонентные в состоянии поставки низковязкие клеи ВК-26, ВК-26М и ВК-38 предназначены для склеивания пакетов магнитопроводов особо точных приборов и работоспособны при температурах до 250, 300 и 400 °С соответственно.

Клей ВК-78 предназначен для склеивания неметаллических теплоизоляционных материалов из керамики на основе нитрида и карбида кремния, работающих в окислительной среде кратковременно (в течение 30 мин) при температуре до 1400 и 1600 °С соответственно. Клей рекомендован для приклеивания высокотемпературных термодатчиков и монтажа оснастки к поверхности элементов двигателя, изготовленных из керамики на основе нитрида кремния, что позволило провести стендовые испытания нового изделия при температурах до 1200 °С. Клей не требует специальной подготовки поверхности керамики под склеивание.

Теплостойкий клей ВК-58 холодного отверждения представляет многокомпонентную композицию и предназначен для использования в интервале температур от –60 до 250 °С длительно и при 500 °С — кратковременно. С применением клея ВК-58 разработана технология ремонта типовых

дефектов систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зоне двигателя [5].

Клей ВК-2 рекомендован для склеивания металлов (стали, сплавов титана) и неметаллических материалов (стеклотекстолита, графита), работающих длительно (250 ч) при 400 °С, до 3000 ч при 350 °С и кратковременно при 1000 °С. Клей ВК-2 широко применяют в качестве основы уплотнительного материала 18ВК-2Г при его изготовлении и ремонте в конструкциях рабочих колец направляющих аппаратов, лабиринтных втулок и переходников двигателя. Проведены работы по модификации клея ВК-2 с целью замены в его составе дефицитного компонента, что позволяет обеспечить бесперебойную поставку клея потребителям.

Разработан клей ТПК-2, представляющий водный раствор модифицированного неорганического связующего. Клей работоспособен при температуре до 1200 °С и используется в качестве заливочного материала при изготовлении электроразъемов нагревательных приборов, в датчиковой аппаратуре. Клей может быть использован для приклеивания футеровки, склеивания элементов и уплотнения зазоров между ними в конструкции обогревающих устройств.

В настоящее время в ФГУП "ВИАМ" накоплен значительный опыт по разработке и использованию термостойких клеев холодного и горячего отверждения для целей термо- и тензометрирования.

Эластичные клеи ВКД-1 и ВКД-2 холодного отверждения на основе кремнийорганического каучука позволили решить задачу склеивания материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения и обеспечивают работоспособность клеевых соединений при температуре от -60 до 400 °С, в том числе при 250 °С в течение 100 ч, при 300 °С в течение 25 ч и при 400 °С кратковременно (до 5 ч) и при воздействии циклического перепада температур от -60 до 400 °С. Эти клеи предназначены для приклеивания датчиков на металлической и неметаллической основах к поверхности коррозионно-стойких сталей, титановых сплавов и неметаллических материалов, в том числе неорганического стекла, для которого не требуется специальной подготовки поверхности под склеивание.

Клей ВК-58 применяется для приклеивания тензорезисторов, используемых для замера деформации в диапазоне температур от -60 до 300 °С в изделиях авиакосмической техники, а также в изделиях бытовой измерительной техники при температурах от -60 до 60 °С. Клей отвечает всем требованиям, предъявляемым к клеям для тензометрии: является технологичным (жизнеспособность клея составляет 7 ч), дает возможность получения тонкого клеевого шва, обеспечивает надежное кре-

пление тензорезисторов к исследуемой поверхности в диапазоне температур от -196 до 300 °С. В процессе испытаний², проведенных в ФГУП "НИИФИ", установлено, что клей ВК-58 не требует дополнительной термической обработки приклеенных тензорезисторов для стабилизации их показаний. Уже при первом нагреве он обеспечивает качественную передачу деформации от исследуемой поверхности к решетке тензорезистора. В процессе повторных нагревов показания тензорезисторов практически не изменяются. Коэффициент тензочувствительности тензорезисторов, приклеенных клеем ВК-58, при температуре испытания 300 °С составляет 1,82, а ползучести при указанной температуре — 5,56.

Решена задача по расширению диапазона рабочих температур клеев, предназначенных для высокотемпературной тензо- и термометрии. Разработан высокотемпературный клей-цемент горячего отверждения ВКП-88Ц, представляющий композицию на основе смеси неорганических соединений. Клей-цемент ВКП-88Ц рекомендован для приклеивания рабочих термодпар типа ПР 30/6 (платинородий—платинородий) к поверхности образцов из композиционного материала системы C/SiC при проведении стендовых испытаний в окислительной среде при циклическом (до 24 циклов) воздействии температур от 20 до 1440 °С (с выдержкой при температуре 1440 °С в течение 5 мин). Клей-цемент ВКП-88Ц также используется для приклеивания рабочих термодпар типа ВР (вольфрам—рений) к поверхности образцов из композиционного материала системы C/SiC при проведении стендовых испытаний в вакууме при нагреве до температуры 1600 °С с выдержкой при 1600 °С в течение 10 мин.

Высокотемпературный клей-цемент ВКП-26Ц горячего отверждения на основе модифицированного кремнийорганического связующего³ предназначен для крепления проволочной решетки и выводных проводов высокотемпературных тензорезисторов типа ЖЦН-10-120 на деталях ГТД для измерения динамических деформаций в интервале температур от 20 до 800 °С.

Разработан ряд клеев на водной основе, в том числе клей ВК-69 горячего отверждения, представляющий водную дисперсию на основе фенолоформальдегидного олигомера и модифицирующего полимера. Клей ВК-69 не содержит в своем составе токсичных органических растворителей и по прочностным характеристикам находится на уровне свойств теплостойких клеев конструкционного на-

² Работа выполнена инж. Л. В. Кулаковой и инж. Л. А. Шамраковым (ФГУП "НИИФИ").

³ В работе принимали участие Н. С. Китаева (ФГУП "ВИАМ"), А. П. Коротаяев и Т. В. Гелета (ФГУП "ЦИАМ").

значения ВС-10Т и ВС-350, содержащих токсичный органический растворитель — этилацетат. Клей ВК-69 внедрен для приклеивания тензорезисторов, изготовления тензомодулей, применяемых в датчиках давления и сил для исследования напряженного состояния различных конструкций и оборудования, работающих в диапазоне температур от –100 до 200 °С и кратковременно при температуре 300 °С. Разработана⁴ модификация клея ВК-69М, которая в сравнении с клеем ВК-69 обладает улучшенными технологическими характеристиками и уровнем прочностных характеристик при температурах от 20 до 300 °С, превосходящим свойства клея ВК-69 на 15—20 %.

В табл. 8 приведены основные свойства и назначение некоторых термостойких клеев.

В настоящее время ряд термостойких клеев, применяемых в изделиях отечественной авиационной техники, оказался в разряде дефицитных

⁴ В работе принимали участие инж. Л. В. Кулакова и Л. А. Шамраков.

из-за прекращения промышленного выпуска исходных компонентов, в том числе олигоэфиркарборана Д-20. В связи с этим разработанные ранее на основе продукта Д-20 термостойкие клеи ВК-20 горячего отверждения и ВК-20М холодного отверждения, применяемые для крепления тепло- и звукоизоляционных материалов и изготовления деталей газогенератора с шумоглушением, выпускают на основе имеющихся ограниченных запасов этого компонента.

В ФГУП "ВИАМ" эта проблема решена путем разработки термостойких клеев, не содержащих в своем составе олигоэфиркарборана.

Разработан клей ВК-89 горячего отверждения, который в сравнении с аналогом — клеем ВК-20 — характеризуется более высокими прочностными характеристиками клеевых соединений при температурах до 400 °С в исходном состоянии и после воздействия различных факторов — агрессивных сред, КТК, воды — (при 300—350 °С на 15 %, при 400 °С на 53 %) при сохранении прочностных свойств при 20 °С на уровне свойств клея ВК-20.

Таблица 8

Клей	τ_B , МПа		Интервал рабочих температур, °С	Особые свойства	Назначение
	при 20 °С	при повышенной температуре, °С			
ВК-48	8,0	2,0 (400)	–60—400	Оптически прозрачный	Изготовление оптического пирометра
ВК-54	6,0	2,0 (500)	–60—1000		Приклеивание тензорезисторов, термоуплотнений
ВК-58	14,0	0,5 (500)	–60—500	Не содержит растворителя	Приклеивание тензорезисторов
ВК-18	17,5	4,5 (600)	–60—600		Приклеивание термостойких неметаллических материалов
ВК-18М	14,0	5,7 (600)	–60—1000		
ВК-26	23,0	6,0 (250)	–60—300	Одноупаковочный	Склеивание магнитопроводов, монтаж кристаллов
ВК-26М	20,0	5,0 (300)	–60—350		
ВК-69	14,0	7,0 (300)	–60—300	Содержит воду взамен органических растворителей	Приклеивание тензорезисторов
ВК-20	16,0	5,0 (400)	–196—400 (до 700 — кратковременно)	Стойки против воздействия температуры и агрессивных сред	Приклеивание термостойких неметаллических материалов, теплоизоляции
ВК-20М	8,0	3,0 (400)	–196—700		
ВК-89	16,0	5,0 (400)	–60—400		
ВК-91	10,0	3,5 (400)	–60—400		
ВК-78	12,0	5,0 (400)	1100	Не требует специальной подготовки поверхности	Склеивание керамики, приклеивание термодатчиков
ВКД-1, ВКД-2	3,0	1,2 (300)	–60—400		Приклеивание термодатчиков, в том числе к стеклу
ВКП-26Ц	Не контролируется		20—800		Приклеивание тензорезисторов
ВКП-88Ц	1,5	—	20—1600	Не выделяет продуктов деградации	Приклеивание термодатчиков
ВК-21	2,5	1,5 (400)	20—1600		
ТПК-2	2,5	2,5 (400)	20—1000	Экологически чистый. Обеспечивает газонепроницаемость клеевых соединений	В нагревательных конструкциях

Таблица 9

Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытаний, °С					
20	400	400		20	400
17,0	9,2	После воздействия агрессивных сред	После КТК, воды	После термического старения при 400 °С, 5 ч	
		9,6	9,0	4,7	6,8

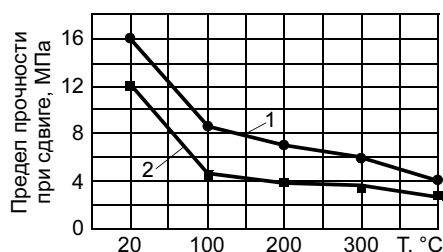
Клей ВК-89 предназначен для склеивания металлов (углеродистых и коррозионно-стойких сталей) и неметаллических материалов (стеклопластиков СК-9ФА, СК-101 и др.) между собой и в различных сочетаниях. Клей ВК-89 рекомендован к эксплуатации в интервале температур от -60 до 400 °С, в том числе при температуре 400 °С в течение 5 ч. В табл. 9 представлены основные свойства клеевых соединений на основе клея ВК-89.

Разработан клей ВК-91 холодного отверждения, который обеспечивает работоспособность клеевых соединений при температуре до 400 °С в исходном состоянии и после воздействия различных факторов (агрессивных сред, КТК, воды).

По сравнению с аналогом — клеем ВК-20М — клей ВК-91 обладает повышенной прочностью клеевых соединений при сдвиге: при 20 , 300 и 400 °С — на 33, 62 и 48 % соответственно (см. рисунок).

Клей ВК-91 рекомендован для склеивания металлов (углеродистых и коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов) и неметаллических материалов (стеклопластиков СК-9ФА, СК-101 и др.) и может эксплуатироваться в интервале температур от -60 до 400 °С, в том числе при 400 °С в течение 5 ч [8].

Разработан ассортимент клеев для резинометаллических соединений, предназначенных для склеивания невулканизированных резин с металлами в процессе вулканизации и вулканизированных резин между собой, с металлами и резинотканевыми материалами в конструкциях всех современных изделий авиационной техники (обрезиненные ло-



Прочность клеевых соединений: 1, 2 — клей ВК-91 и ВК-20М соответственно

пасти, кронштейны, противовесы, арматура мягких баков и т. д.)⁵:

— ВКР-60 — для склеивания невулканизированных резин на основе каучуков СКН, СКИ, СКС, найрита с металлами в процессе котловой вулканизации, диапазон рабочих температур от -60 до 100 °С (взамен клея ВКР-15);

— ВКР-85 — для склеивания невулканизированных резин на основе бутадиен-нитрильного, хлоропренового, натурального и бутадиенового каучуков с последующей вулканизацией (взамен клея "Лейконат"), диапазон рабочих температур от -60 до 130 °С;

— ВКР-61 — для склеивания вулканизированных резин между собой и с резинотканевыми материалами на основе бутадиен-нитрильных каучуков (взамен клея ВКР-17), диапазон рабочих температур от -60 до 150 °С;

— ВКР-24 — для склеивания вулканизированных резин на основе этилен-пропиленовых, полиуретановых, нитрильных и других каучуков между собой и с металлами, диапазон рабочих температур от -70 до 100 °С, стоек в агрессивных средах [3].

Работы последних лет в области клеев для неметаллических материалов были направлены на создание новых клеев холодного отверждения для резинотехнических изделий и клеев для склеивания резин с металлами в процессе вулканизации [9].

Ранее для склеивания вулканизированных резин на основе нитрильных каучуков при $18-20$ °С использовали клей ВКР-17, позволяющий получить прочность клеевых соединений при расслаивании около $2,6$ Н/мм. Клей применялся при производстве и ремонте мягких топливных баков, изготовлении мембранного полотна и в конструкциях, работающих в среде топлив и масел в интервале температур от -30 до 150 °С длительно и до 200 °С — кратковременно. В связи с отсутствием одного из компонентов в настоящее время этот клей снят с производства. Взамен клея ВКР-17 разработан и паспортизован клей холодного отверждения ВКР-61, позволяющий получить при склеивании резинотехнических изделий прочность клеевых соединений через 20 мин $\sigma_{\text{рассл}} = 0,59$ Н/мм, через 24 ч — $2,6$ Н/мм. Клеевые соединения стойки против воздействия различных факторов и сред и работоспособны в интервале температур от -50 до 150 °С длительно и до 200 °С — кратковременно. Рецептура клея ВКР-61 разработана полностью на отечественном сырье.

Для склеивания резин на основе кремнийорганических каучуков с органическими стеклами взамен клея К-131-37 разработан клей холодного отверждения ВКР-86, обеспечивающий прочность

⁵ Клеи разработаны под руководством Р. И. Ивановой.

Таблица 10

Клей	Прочность при расслаивании кле- вых соединений из резины 3826, Н/мм		Прочность при отслаивании клеевых соединений кремнийор- ганическая резина + орг- стекло СО 120, Н/мм	
	Через 20 мин после склеивания	Через 1 сут. после склеивания		
ВКР-17	0,60	3,50	—	
ВКР-61	0,84	3,67	—	
К-131-37	—	—	Не менее 2,0	
ВКР-86	—	—	Не менее 3,0	
Примечание. Температура испытания 20 °С.				

клеевых соединений $\sigma_{отсл} \sim 3,0$ Н/мм. Клеевые соединения работоспособны в интервале температур от -60 до 100 °С. В табл. 10 представлены свойства клеев холодного отверждения резинотехнического назначения.

Разработана клеевая система: клей ВКР-90, предназначенный для склеивания с металлами в процессе вулканизации резин на основе СКН, и подслои, повышающий адгезию клея ВКР-90 к резинам на основе неполярных каучуков (СКИ, СКИ + СКД и др.). Клеевая система обеспечивает прочностные характеристики клеевых резинотехнических соединений на уровне характеристик системы "Хемосил" фирмы "Хенкель" и превышает свойства отечественного аналога — клея ВКР-85 (табл. 11). Клей ВКР-90 работоспособен в интервале температур от -50 до 130 °С на воздухе и в агрессивных средах. Клеевая композиция не содержит в своем составе дефицитных импортных дорогостоящих материалов и разработана полностью на сырье РФ.

Разработано принципиально новое для отечественной практики самоклеящееся пленочное многослойное листовое покрытие на липкой клеевой основе ЗППК (толщина не более 120 мкм), сочетаю-

щее защитные и декоративные свойства, работоспособное в интервале температур от -60 до 80 °С. Покрытие ЗППК обеспечивает защиту поврежденных участков ЛКП при ремонте внешней поверхности планера самолета, в том числе в полевых условиях. Материал апробирован при эксплуатации Ил-96-300 в различных климатических зонах (более 2000 ч). Экологически чистая технология использования ЗППК позволяет снизить трудоемкость ремонтных работ и гарантирует отсутствие токсических веществ.

В настоящее время в связи с востребованностью отечественных самоклеящихся материалов для оперативного ремонта воздушных судов возникла необходимость проведения дополнительных расширенных исследований разработанной ранее алюминиевой фольги с постоянно-липким слоем (ФЛС), работоспособной в интервале температур от -60 до 80 °С. Отечественный материал "Фольгоплен" аналогичного назначения в настоящее время не производится.

Фольга ФЛС обеспечивает стойкость клеевых соединений против воздействия различных факторов и сред. Применение ФЛС для временного ремонта внешней поверхности планера (царапин, сколов, отслоения ЛКП) обеспечивает высокое сопротивление статическому сдвигу, снижение трудоемкости, энергоемкости и экологически чистую технологию ремонтных работ.

Проведены дополнительные исследования⁶, которые позволили расширить области применения самоклеящегося материала (САФ), работоспособного до 150 °С, и рекомендовать его для новых оперативных ремонтных технологий поверхностей планера самолета из угле- и стеклопластиков [9]. Применение САФ для ремонтных целей позволит продлить срок службы изделия между плановыми ремонтами. В табл. 12 приведены свойства самоклеящихся материалов.

Таблица 11

Материал	Прочность при отрыве, МПа, при температуре, °С			
	20	130	20 После выдержки в топливе ТС-1 (100 °С, 5 сут.)	20
	Резина 3826 + + сталь 30ХГСА			Резина 1078 + + сталь 30ХГСА
ВКР-90	6,8	2,2	3,9	6,4
ВКР-85	5,4	1,9	3,6	5,0
Клеевая система "Хемосил"	6,8	—	—	6,4

Таблица 12

Показатель	Материал		
	ЗППК	ФЛС	САФ
Рабочая температура, °С	$-60-60$	$-60-80$	$-60-150$
Прочность при отслаивании, Н/см, не менее	5,0	5,0	6,0
Прочность при сдвиге, кПа, не менее	300	300	500
Сопротивление статическому сдвигу — "ползучесть", мм, при нагрузке 5 Н в течение 2 ч при повышенных температурах		0	

⁶ Работа по разработке самоклеящихся материалов проводилась при участии Н. С. Жадовой.

ВЫВОД

Разработан ассортимент клеев и клеящих материалов на их основе: высокопрочные и высокоэластичные пленочные и пастообразные клеи конструкционного назначения, композиционные материалы клеевые на основе клеящих матриц и стекло- и угленаполнителей, алюмополимерные композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов и клеевых препрегов, клеи специального назначения (в том числе термостойкие, резинотехнического назначения), самоклеящиеся материалы на основе алюминиевой фольги, защитное пленочное покрытие.

Клеи и клеящие материалы на их основе нашли широкое применение в конструкции изделий авиакосмической техники и обеспечивают работоспособность клеевых соединений в интервале температур от -196 до 1600 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кардашов Д. А. Конструкционные клеи. М.: Химия, 1980. 288 с.
2. Кардашов Д. А., Петрова А. П. Полимерные клеи. М.: Химия, 1983. 256 с.
3. Развитие клеев и технологий склеивания в авиастроении / Л. И. Аниховская, А. П. Петрова, Н. Ф. Лукина и др. // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. № 1. С. 7—12.
4. Петрова А. П. Клеящие материалы: Справочник. М.: Каучук и резина, 2002. 196 с.
5. Применение клеев холодного отверждения в авиастроении / Л. И. Аниховская, А. П. Петрова, Н. Ф. Лукина, Г. Н. Углова // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. № 6. С. 7—11.
6. Лукина Н. Ф., Авдонина И. А., Петрова А. П. Токопроводящий эпоксидный клей для приборной техники // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 8. С. 4—6.
7. Петрова А. П. Термостойкие клеи. М.: Химия, 1977. 200 с.
8. Лукина Н. Ф., Петрова А. П., Котова Е. В. Термостойкие клеи авиационного назначения // Полимерные материалы XXI века. М., 2006. С. 55—56.
9. Тюменева Т. Ю., Иванова Р. П., Аниховская Л. И. Клеи для соединения резиноталлических деталей // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 2. С. 8—9.

УДК 621.791.72+621.92

**М. В. РАДЧЕНКО, д-р техн. наук, В. Г. РАДЧЕНКО, д-р техн. наук,
Ю. О. ШЕВЦОВ, канд. техн. наук, К. С. КРОВЯКОВ, канд. техн. наук**
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
(Барнаул)

Применение электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении

Технология электронно-лучевого упрочнения зон кольцевых канавок алюминиевых поршней под компрессионные кольца

Практика эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС), особенно форсированных дизельных двигателей, показывает, что наиболее слабым местом поршней являются зоны кольцевых канавок под компрессионные кольца. Образование предельного зазора между компрессионным кольцом и кольцевой канавкой поршня в основном и определяет ресурс двигателя до переборки, расход топлива и масла, а также затраты на ремонт. Поэтому повышение моторесурса кольцевых канавок поршней является основной задачей научных исследований в области двигателестроения как в России, так и за рубежом.

В межвузовской лаборатории электронно-лучевой технологии АлтГТУ им. И. И. Ползунова на основе более чем 20-летних исследований в области электронно-лучевых технологий разработана технология электронно-лучевого упрочнения наиболее

технологически сложных поршневых алюминиевых заэвтектических сплавов типа АК21М2,5Н2,5. Технология упрочнения заключается в электронно-лучевом переплаве слоя металла в том месте поршня, где в последующем выполняется проточка кольцевой канавки необходимых геометрических размеров¹.

Упрочнение проводят на поршневых заготовках, полученных методом литья в кокиль. Предпочтительным является вариант применения технологии упрочнения как одной из технологических операций при производстве поршней. Перед упрочнением заготовку поршня очищают от грязи, пыли, масла, затем закрепляют в приспособлении для обеспечения вращения вокруг своей оси. После закрепления проводят герметизацию вакуумной камеры до необходимого остаточного давления (не более 0,01 Па) и выполняют упрочнение с легированием или без него.

Основными проблемами при электронно-луче-

¹Патент 2148750 (РФ).

вом переплаве в вакууме высококремнистого поршневого сплава являются растрескивание зоны переплава и высокий уровень остаточной пористости металла.

Для анализа причин их возникновения изучали технологии литья и дополнительной обработки алюминий-кремниевых заготовок на специализированных предприятиях "Поршень" (Алма-Ата) и Новосибирском заводе им. В. П. Чкалова.

Решение этих проблем получено в результате анализа структурообразования поршневых заготовок в процессе их отливки и модификации, анализа теплового состояния поршня в процессе переплава зоны упрочнения и рационального выбора траектории высокочастотного сканирования электронного луча.

Для принудительной дегазации жидкой металлической ванны и более равномерного распределения в ней легирующих элементов потребовалось оснащение электронно-лучевых установок приборами управления лучом (ПУЛ), позволяющими осуществлять перемешивание расплава за счет сканирования электронного луча по заданной траектории с определенной амплитудно-частотной характеристикой. Для этого в течение 1,5—2 лет была разработана и изготовлена серия специализированных приборов управления электронным лучом, обладающих большим объемом памяти, широким диапазоном частот и траекторий перемещения электронного луча, независимым регулированием развертки по осям координат, плавным регулированием амплитуды и универсальными для применения в электронно-лучевых пушках различных типов.

Такие характеристики ПУЛ позволяют выполнять технологические операции как исследовательского, так и производственного характера (рис. 1).

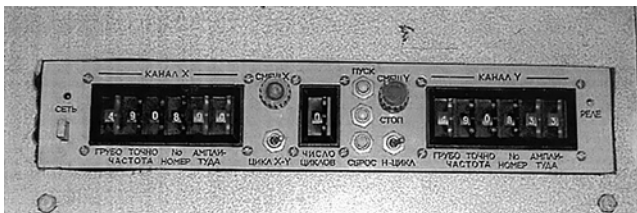


Рис. 1. Панель прибора программного управления электронным лучом

В результате комплексных экспериментальных исследований установлены оптимальные технологические параметры режима упрочнения, позволяющие получать практически бездефектный металл в зоне переплава с высокими показателями износостойкости.

В процессе отработки опытно-производственной технологии электронно-лучевого упрочнения поршней для дизелей ОАО "Барнаултрансмаш" был выявлен существенный резерв повышения из-

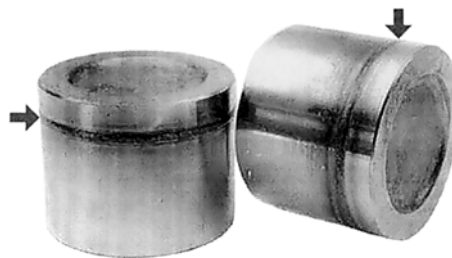


Рис. 2. Заготовки поршней из сплава АК21М2,5Н2,5 с упрочненными зонами под проточку кольцевых канавок (указаны стрелками)

носостойкости первой кольцевой канавки за счет упрочнения с легированием, что позволяет значительно расширить область применения данного способа упрочнения [1—4].

Для дополнительного легирования алюминиевого сплава с целью получения более высоких показателей износостойкости в качестве легирующего материала предлагается использовать никромовую или медную проволоку.

Внешний вид поршневых заготовок с упрочненными зонами под кольцевую канавку приведен на рис. 2. Геометрические размеры поршней: диаметр 150 мм, высота 120 мм. Геометрические размеры компрессионных колец: радиальная ширина 6,05_{-0,2} мм, толщина 3,0 мм. Такими поршнями комплектуются быстроходные форсированные дизельные двигатели.

При практической реализации разработанного способа упрочнения кольцевых канавок на заводе ОАО "Барнаултрансмаш" спроектировали и изготовили электронно-лучевую аппаратуру с 14-позиционным манипулятором под данный типоразмер поршней. С применением электронно-лучевой пушки с "холодным катодом" и манипулятором (рис. 3, 4) выполняли упрочнение поршней без легирования.



Рис. 3. Заводская электронно-лучевая установка с пушкой с "холодным катодом" и прибором управления лучом

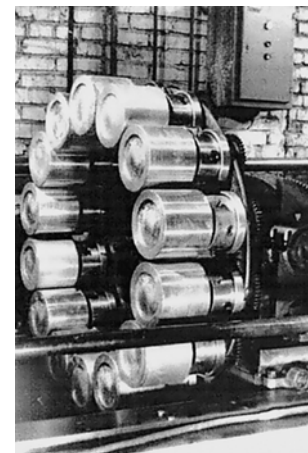


Рис. 4. 14-позиционный манипулятор для сварки и упрочнения поршней

Результаты производственных испытаний упрочненных поршней при работе на форсированных дизелях показали повышение их моторесурса в 3 раза. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет 200 р. на один упрочненный поршень (в ценах 2000 г.).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о перспективности применения электронно-лучевой сварки с легированием алюминиевых поршней ДВС.

Разработанная технология может быть рекомендована к внедрению на предприятиях, специализирующихся в области двигателестроения или производстве деталей и комплектующих для ДВС.

Технология электронно-лучевой сварки алюминиевых поршней ДВС

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации поршней, является растрескивание днища поршня вследствие термоусталостных напряжений. Существует ряд способов снижения термоусталостных напряжений, в том числе за счет изменения конструкции поршней, в частности, создания в зоне первой поршневой канавки дополнительной полости, по которой циркулирует моторное масло.

В такой конструкции поршня благодаря более интенсивному охлаждению за счет циркуляции моторного масла от днища поршня происходит более равномерный отвод теплоты, что приводит к снижению термоусталостных напряжений и предотвращению растрескивания алюминиевого сплава вблизи днища поршня.

Разработанная технология производства сварного поршня имеет определенные преимущества перед аналогичными технологиями, применяемыми для образования полости охлаждения в днище поршня, например методом заливки соляных стержней. Применение электронно-лучевой сварки в вакууме обеспечивает кинжальное проплавление, что предотвращает возникновение напряжений и последующих деформаций.

Такого рода принципиальные конструкторские и технологические работы были известны ранее, в частности, исследования германских (фирма "Мале") и российских ученых-конструкторов, в том числе сотрудников ЦКБ ОАО "Барнаултрансмаш". Однако во всех случаях применение электронно-лучевой технологии относилось только к низкокремнистым алюминиевым поршневым сплавам, "благополучным" в отношении металлургических дефектов при переплаве высококонцентрированными потоками энергии (плазменной струей, электронным лучом).

Авторами разработана и прошла успешное тестирование технология производства составного поршня с полостью охлаждения из высококремнистого алюминиевого сплава АК21М2,5Н2,5. Пор-

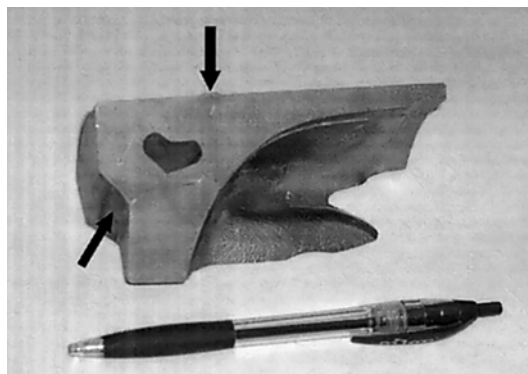


Рис. 5. Темплет составного сварного поршня с полостью охлаждения (стрелками указаны сварные швы)

шень выполнен из двух частей с последующей их сваркой электронным лучом (рис. 5). Результаты комплексного тестирования качества металла и всей конструкции поршней в целом показали практическое отсутствие каких-либо дефектов.

Разработанная технология электронно-лучевой сварки алюминиевых поршней может быть рекомендована для предприятий, специализирующихся в области двигателестроения.

Технологии электронно-лучевой сварки, упрочнения и наплавки других деталей ДВС

В связи с относительно высокой стоимостью оборудования использование высококонцентрированного источника нагрева — электронного луча в вакууме — для сварки и нанесения упрочняющих и защитных покрытий целесообразно в тех случаях, когда обеспечивает получение качественно новых результатов, свойств сварных, упрочненных и наплавленных изделий, а также при невозможности применения других методов поверхностного нагрева. В частности, авторами для предприятия ОАО "Барнаултрансмаш" выполнен комплекс технологических работ по электронно-лучевой сварке тела гильзы цилиндра с посадочным буртом. Экономия дорогостоящей легированной стали 38Х2МЮА при этом составила до 40 % за счет резкого уменьшения толщины стенки заготовки и устранения операции токарной обработки [5].

Разработанный метод наплавки электронными пучками низких энергий (до 5 кэВ) благодаря сочетанию преимуществ порошковых материалов и вакуумной защиты металла позволяет получать уникальные по эксплуатационным свойствам упрочняющие слои на поверхностях различных деталей дизелей [6—11].

Весьма эффективным является получение с помощью упрочнения и наплавки электронным лучом защитных слоев на поверхности деталей с высоким уровнем функциональных свойств (твердо-

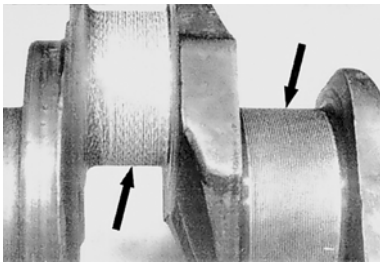


Рис. 6. Коленчатый вал форсированного дизеля с коренными и шатунными шейками, упрочненными методом электронно-лучевого оплавления (стрелками указаны места упрочнения)



Рис. 7. Распределительный вал ДВС после ремонта методом электронно-лучевой наплавки (стрелкой указано место износостойкой наплавки)

сти, износо- и коррозионной стойкости) на деталях или заготовках из относительно дешевых низкоуглеродистых сталей. Благодаря подаче энергии точной дозировки при наплавке электронным лучом (ЭЛН) формируются равномерные по толщине слои с минимальным проплавлением основы, исключаются деформации нежестких деталей. Прочность сцепления с основой наплавленных методом ЭЛН покрытий находится на уровне металлической связи. Поэтому в отличие от напыленных они не растрескиваются и не отслаиваются в результате воздействия интенсивных многоцикловых контактных нагрузений. Возможна многократная наплавка после перешлифовки наплавленных деталей. Как показывает практический опыт, стоимость ремонта деталей составляет порядка 30 % стоимости новых при существенно более высоких функциональных показателях свойств поверхности.

Например, упрочнение с оплавлением рабочих кромок матриц для горячего деформирования распылителей дизельного топлива позволило в ОАО "Алтайдизель" повысить разгаростойкость поверхности в 2 раза.

Особенно актуальным является практическое применение электронно-лучевой наплавки высоколегированных порошковых сплавов на основе системы Ni—Cr—B—Si для ремонта и восстановления изношенных поверхностей тяжело нагруженных деталей: коленчатых и распределительных валов ДВС (рис. 6, 7), крестовин, шаровых опор, толкателей распределительного валика, ступиц шкивов клиноременных передач, ходовых винтов и др.

Использование высококонцентрированных электронных пучков для сварки, упрочнения с оплавлением и прямой порошковой наплавки является перспективной областью, в которой накоплен достаточно большой практический конструкторско-технологический опыт.

Перспективным является производство тяжело нагруженных деталей дизелей с наплавленными композиционными покрытиями, когда каждая

из фаз — пластичная матрица и твердые упрочняющие частицы карбидов, боридов, силицидов тугоплавких элементов — выполняет определенные функции, образуя в комплексе материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Разработанные технологии могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях, специализирующихся в области двигателестроения при производстве новых или восстановлении и ремонте изношенных деталей и комплектов для ДВС.

Хорошая воспроизводимость результатов упрочнения и наплавки в автоматизированном режиме, возможность полной автоматизации технологического процесса с компьютерным управлением, существенного улучшения свойств поверхностного слоя изделий, экологическая чистота процесса в сочетании с выпускаемым в России и странах ближнего зарубежья надежным, апробированным в течение 30—35 лет оборудованием значительно расширяют диапазон технологических операций обработки деталей дизелей с использованием электронных пучков в вакууме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко М. А., Кровяков К. С. Исследование структуры и свойств поршневого алюминиевого сплава, обработанного электронным лучом // Сварочное производство. 1998. № 11. С. 9—12.
2. Радченко М. В., Радченко В. Г., Кровяков К. С. Получение упрочненных слоев на поверхности поршней из силуминов методом электронно-лучевой наплавки // Сварочное производство. 1999. № 11. С. 48—51.
3. Кровяков К. С., Радченко М. В. Упрочнение кольцевых канавок поршня дизеля электронно-лучевой обработкой // Техника машиностроения. 2000. № 3. С. 23—25.
4. Радченко М. В., Зубков А. В., Косоногов Е. Н. Электронно-лучевое упрочнение поршневого сплава АК21 // Электронно-лучевая сварка. М., 1986. С. 27—30.
5. Радченко М. В., Батырев Н. И. О структурообразовании в процессе электронно-лучевого упрочнения стали 55Х2Н2МФА с оплавлением поверхности // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1987. № 4. Вып. 1. 4 с.
6. Электронно-лучевая сварка гильзы цилиндров дизельных двигателей / Н. А. Ольшанский, В. Г. Радченко, М. В. Радченко и др. // Материалы 8-й Всесоюз. конф. по электронно-лучевой сварке. М., 1983. С. 16—19.
7. Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О. Упрочнение поверхности деталей и инструментов электронным пучком в вакууме // Сб. тез. регион. научно-техн. конф. Иркутск, 1990. С. 87—88.
8. Radchenko M. V., Shevtsov Yu. O., Batyrev N. I. Metallurgical coating made by electron beam surfacing // 5 Int. Conf. On Electron beam techn. Varna, 1991. P. 487.
9. Оценка твердости и пластичности слоев, созданных электронно-лучевым наплавлением в вакууме / М. В. Радченко, В. Г. Радченко, А. М. Кириенко, Ю. О. Шевцов // Металлург. 1997. № 8. С. 33—35.
10. Радченко М. В., Беянина Т. Н. Исследование характера коррозионного износа защитных покрытий, выполненных методом электронно-лучевой наплавки порошковых сплавов в вакууме // Перспективные материалы. 1997. № 6. С. 56—60.
11. Радченко М. В., Шевцов Ю. О., Радченко В. Г. Комплексный анализ износостойких защитных покрытий, наплавленных электронными пучками в вакууме // Ползуновский вестник. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. № 2 (ч. 2). С. 67—71.

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

Низкотемпературная пайка узлов радиоэлектронной аппаратуры сфокусированным световым лучом

Для современного производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) характерно большое разнообразие конструкций, методов монтажа и способов получения неразъемных соединений. Наибольший удельный вес в монтажно-сборочных операциях имеет низкотемпературная пайка с применением оловянно-свинцовистых припоев и спиртоканифольных флюсов. Паяные соединения в наибольшей степени удовлетворяют специфическим требованиям РЭА. Эффективность пайки обусловлена конструктивными особенностями паяемых компонентов и технологическими возможностями источников нагрева.

Применение в конструкции РЭА новых электроизоляционных материалов, многослойных печатных плат и гибких печатных кабелей, миниатюризация навесных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и коммутирующих устройств, высокая плотность монтажа и чувствительность паяемых элементов к тепловому воздействию, повышение требований к качеству и надежности изделий и производительности процесса вызывают необходимость внедрения в производство механизированных и автоматизированных групповых технологических методов пайки и бесконтактных лучевых источников нагрева. К числу таких источников относят лазерный, инфракрасный и световой лучи.

Недостатки лазерного луча обусловлены сложностью технологического оборудования и низкой энергетической эффективностью процесса, а возможности инфракрасного излучения ограничены недостаточной мощностью и локальностью лучистого потока [1, 2].

Широкие технологические возможности регулирования и контроля параметров режима нагрева, универсальность и маневренность светового луча вызывают интерес к нему разработчиков РЭА. Благодаря использованию излучателей различной мощности и комбинированных фокусирующих оптических систем можно решать различные технологические задачи, в частности реализовать процесс низкотемпературной пайки [3, 4].

Цель данной работы — обобщение результатов исследований и разработок в области низко-

температурной пайки РЭА с использованием светового луча.

Конструктивные особенности паяемых узлов и требования к паяным соединениям

Исходя из конструктивных особенностей паяемых узлов, при получении соединений используют методы объемного и поверхностного монтажа.

При объемном монтаже паяемые узлы представляют соединения монтажных проводов с накопечниками и разъемами, монтажными стойками и клеммными платами (рис. 1, а). К особенностям объемного монтажа следует отнести расположение паяемых контактов на различных уровнях и сборку паяемых элементов с предварительным механическим закреплением. Весь комплекс сборочно-монтажных операций, включая пайку, как правило, выполняется вручную и поэтому трудно механизмуется.

К поверхностному монтажу относят пайку навесных ЭРЭ или гибкого кабеля к печатной плате. В отличие от объемного монтажа соединение печатных проводников с выводами навесных ЭРЭ осуществляется непосредственно на контактных площадках или в металлизированных отверстиях печатных плат, располагающихся в одной плоскости. Печатные проводники, контактные площадки и металлизированные отверстия печатных плат выполняют, как правило, из медной фольги толщиной 20—50 мкм.

Навесные ЭРЭ штырькового типа (рис. 1, б) устанавливаются в металлизированные отверстия печатных плат, а ЭРЭ планарного типа (рис. 1, в) — на контактные площадки. Пайка последних в отличие от ЭРЭ штырькового типа или соединений мон-

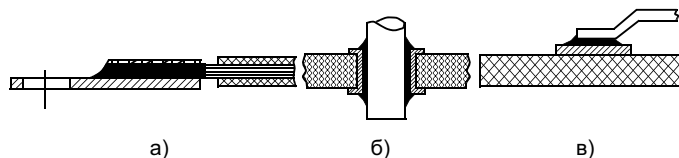


Рис. 1. Схемы конструкции электромонтажных соединений: а — соединение провода с клеммой; б, в — штырьковый и планарный выводы ЭРЭ соответственно

Лампа	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, кЛм	Яркость в центре разряда, Мкд/м ²	Расстояние между электродами, мм	Диаметр колбы, мм	Полная длина лампы, мм	Средняя продолжительность работы, ч
ДКСШ-120	20	13	1,0	700	0,4	13	104	200
ДКСШ-150	50	17	2,3	400	1,0	13	104	500
ДКСШ-200	200	20	3,0	90	2,2	26	149	500
ДКСШ-200-2	200	18	3,0	90	2,2	26	149	500
ДКСШ-300	300	20	6,0	100	2,2	26	149	750
ДКСШ-500	500	20	12,0	200	2,5	31	200	500
ДКСШ-1000-2	1000	22	30,0	250	3,4	43	260	750

тажных проводов с коммутирующими элементами не вызывает принципиальных трудностей, так как сопрягаемые компоненты не имеют большой разницы в толщине. В этом случае обеспечиваются условия для равномерного и одновременного нагрева паяемых элементов и применения механизированных и автоматизированных групповых методов пайки.

Учитывая разнотолщинность и различие в теплофизических свойствах материалов соединяемых выводов навесных ЭРЭ штырькового типа и металлизированных отверстий в печатных платах, нагрев паяемых элементов световым лучом должен осуществляться за счет теплоотдачи от более массивных штырьковых выводов.

В условиях локального нагрева различия в геометрических размерах площади лучевоспринимающей поверхности и поглощательной способности паяемых элементов вызывают неравномерность температурного поля. Возникающий градиент температур обуславливают особенности течения жидкого припоя по поверхности паяемых деталей и в зазоре между ними [4].

Управляя фокусировкой светового луча, можно уменьшить вероятность образования непропаев в паяном шве, не допустить снижения электропроводности и непостоянства переходного контактного электрического сопротивления паяных соединений, исключить изменение цвета, термодеструкцию печатных плат и отслаивание контактных площадок, а также сохранить работоспособность термочувствительных ЭРЭ.

При пайке монтажных проводов с коммутирующими элементами нельзя допускать затекания припоя в жгут провода, чтобы обеспечить соответствующую механическую прочность паяного соединения в условиях действия вибрационных нагрузок.

Источники излучения и фокусирующие оптические системы

В качестве источников излучения применяют дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления, спектр излучения которых находится в пределах $\lambda_{\text{в}} = 0,2 \div 2,4$ мкм. Около 50 % лучистого потока, излучаемого лампой, приходится на ультрафиоле-

товую и видимую части спектра, что эффективно для нагрева металлических материалов [2].

Дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления эксплуатируют в непрерывном и импульсном режимах. Для обеспечения их работы применяют источники электрического тока с падающей вольтамперной характеристикой и напряжением холостого хода не менее 80 В. Типы и характеристики ламп сверхвысокого давления приведены в таблице.

На основании опыта, накопленного при исследовании светолучевого оборудования, для низкотемпературной пайки узлов и элементов РЭА наиболее эффективно применение короткодуговых ламп мощностью до 1 кВт, обеспечивающих необходимые светотехнические характеристики.

Для фокусирования излучения ламп применяют оптические системы на основе двухфокусных эллипсоидных отражателей, выполняемых обычно из алюминиевых сплавов. В ближнем фокусе отражателя помещают лампу, излучение которой направляют в дальний (рабочий) фокус, где располагают объект нагрева [2, 6—8].

Типы фокусирующих оптических систем, применяемых при пайке ЭРЭ, приведены на рис. 2.

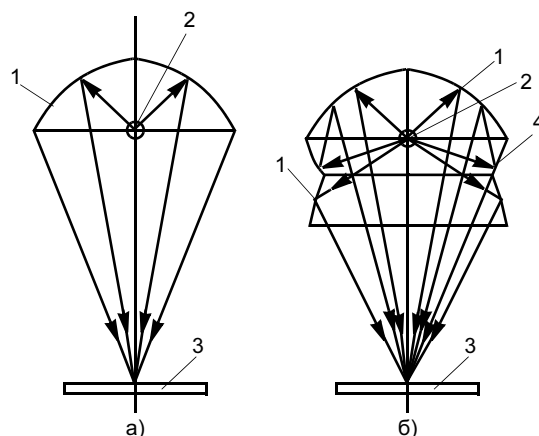


Рис. 2. Оптические системы, применяемые в установках для сварки и пайки световым лучом: а — моноэллипсоидная; б — комбинированная; 1 — отражатель; 2 — источник излучения; 3 — объект нагрева; 4 — контротражатель

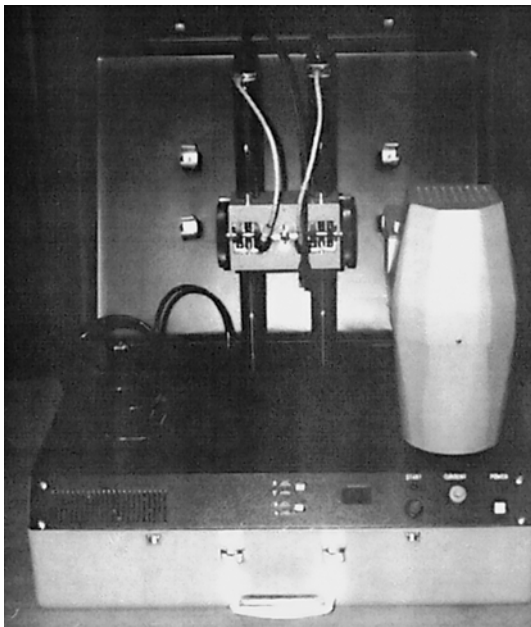


Рис. 3. Светолучевая установка "Луч-2"

Излучатель и отражатель конструктивно представляют светолучевую головку, называемую модулем лучистого нагрева (МЛН). Помимо отражателя и лампы в конструкцию модуля входят юстировочное устройство, узел подвески лампы и система охлаждения колбы, лампы и отражателя. Системой кабелей модуль соединен с источником питания и аппаратурой управления [2, 6].

Разработаны МЛН с лампами различной мощности (рис. 3). Модули можно монтировать на стандартных стойках, колоннах или кронштейнах и устанавливать в механизированные и автоматизированные линии.

Помимо традиционной схемы нагрева, основанной на фокусировании излучения в одну точку, разработана конструкция модуля, использующая расщепление светового потока на два луча. Отражатель, состоящий из двух поворотных секторов, позволяет раздвинуть рабочие фокусы на расстояние до нескольких десятков миллиметров.

Реализация схемы нагрева навесных ЭРЭ с симметрично расположенными выводами за счет использования пространственно-трансформированного светового луча позволяет осуществить одновременный нагрев двух рядов соединений при перемещении печатной платы.

Технологические особенности пайки узлов РЭА

Принципиальным при светолучевой монтажной пайке узлов РЭА является выбор формы и способа закладки припоя и определение условий фокусирования лучистого потока на паяемых деталях. Схемы размещения припоя приведены на рис. 4.

Как показали исследования [4], при пайке отдельных контактов сопрягаемых элементов необходимо предусматривать фокусировку светового луча на более массивном элементе паяемого узла.

В условиях мелкосерийного производства при пайке монтажных проводов сечением 0,35—2,5 мм² с выводами разъемов навеску припоя выполняют в форме кольца и напрессовывают на участок монтажного провода, с которого удалена изоляция. При пайке с наконечниками навеску припоя в форме шайбы устанавливают на плоский участок наконеч-

¹ Патент 2092288 (РФ).

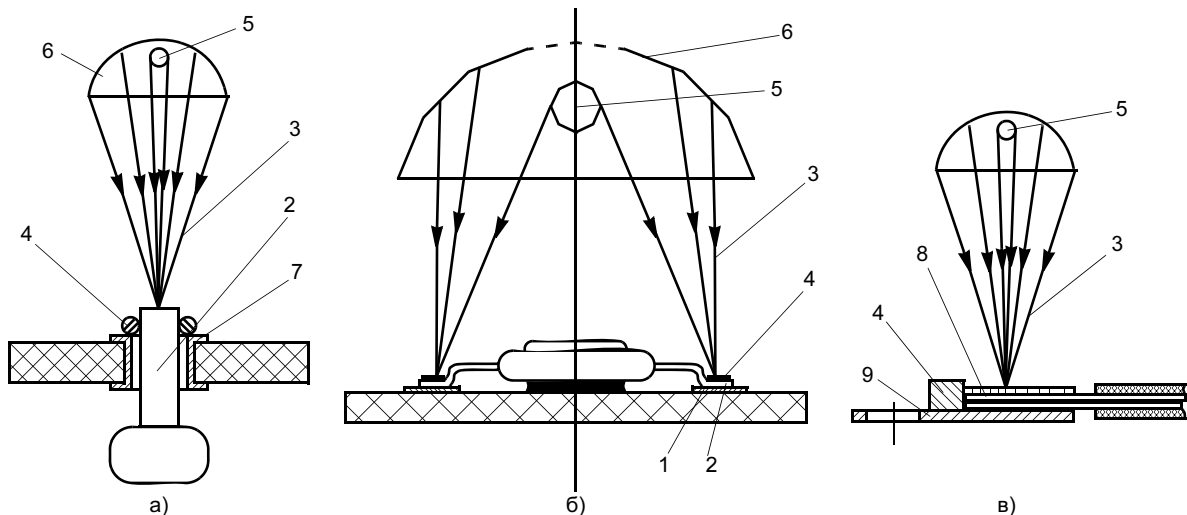


Рис. 4. Схемы размещения припоя при светолучевой пайке ЭРЭ: а — традиционная схема поверхностного монтажа; б — схема нагрева с расщеплением светового потока при поверхностном монтаже; в — схема объемного монтажа; 1 — контактная площадка; 2 — вывод навесного элемента; 3 — лучистый поток; 4 — навеска припоя; 5 — источник излучения; 6 — отражатель; 7 — металлическая втулка; 8 — гибкий токоподвод; 9 — клемма

ника у торца провода. При выполнении этих условий обеспечиваются условия направленного течения жидкого припоя в зазор сопрягаемых элементов с образованием галтели по всему периметру соединения.

В крупносерийном производстве целесообразна автоматизированная подача проволоки припоя в зону соединения за счет импульсного дозатора. Масса припоя, необходимая для образования соединения, определяемая скоростью подачи проволоки, зависит от площади сечения проволоки и площади спаиваемой поверхности.

При пайке навесных ЭРЭ штырькового типа навеску припоя кольцевой формы напессовывают на каждый вывод ЭРЭ. При одновременной пайке нескольких планарных выводов микросхемы навеску припоя выполняют в форме проволоки, которую напессовывают на всю группу паяемых выводов микросхемы. При перемещении светового луча происходит расплавление и разрыв проволоки на капли, обеспечивающие пропаивание отдельных контактов.

Чтобы избежать перегрева печатной платы, пайку навесных элементов РЭА осуществляют с использованием защитных масок, выполняемых в виде диафрагмы и прижима, а также импульсного нагрева [4]. При пайке штырьковых элементов импульс излучения подают на каждый контакт ЭРЭ при остановке платы. Пайку планарных выводов микросхем проводят при непрерывном перемещении плат и подаче импульса в период прохождения луча вдоль ряда выводов одной микросхемы. В период пауз, когда пайка не производится, лампа работает в дежурном режиме при минимальной мощности.

Этапы разработки технологии низкотемпературной пайки

Разработка технологии является распределенным по времени процессом, этапы которого могут быть детализированы. Анализ конструктивного подобия узлов РЭА, технологической общности используемых операций и приемов, а также параметры режима пайки позволяют все этапы разработки технологии светолучевой пайки свести к определенной блок-схеме (рис. 5)

В каждом конкретном случае реализуемое техническое решение построено на сочетании тех или иных этапов разработки технологии. Представленная последовательность этапов облегчает задачу разработки типового технологического процесса и является методической основой инженерного поиска и создания более совершенных образцов светолучевого оборудования.

Перспективы совершенствования светолучевого оборудования связаны не только с модерни-

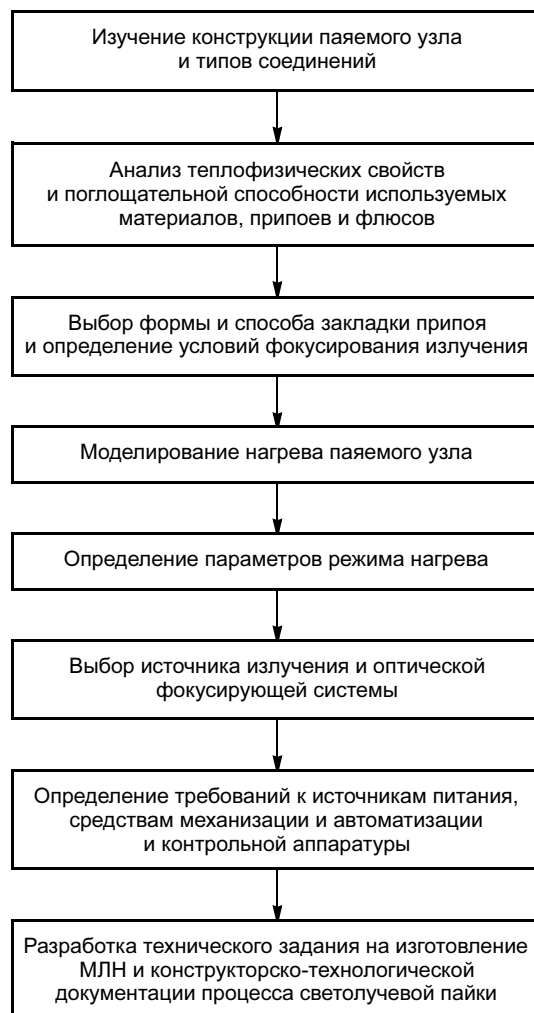


Рис. 5. Блок-схема этапов разработки технологии светолучевой пайки

зацией имеющегося МЛН, но и с разработкой ручного инструмента и безламповых светолучевых устройств.

Разработано ручное светолучевое устройство по подобию инфракрасного паяльника [9], источником излучения в котором является дуговая ксеноновая лампа ДКсШ мощностью до 1000 Вт, а фокусирующим элементом — комбинированный эллипсоидный отражатель. Светолучевой паяльник может быть успешно применен при ремонте паяных соединений².

В безламповых светолучевых устройствах в качестве источника излучения используют разряд между двумя вольфрамовыми электродами, помещенными внутрь герметичной камеры, заполненной ксеноном³.

² Патент 2082569 (РФ).

³ Патент 2092289 (РФ).

Представленные варианты светолучевых устройств существенно расширяют технологические возможности процесса светолучевой пайки.

Следует отметить, что предлагаемые в данной работе материалы являются результатом анализа изобретений и достижений технической мысли и практики в этой области. Внедрение накопленного опыта в сфере светолучевых технологий должно способствовать дальнейшему развитию отечественного приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Теория сварочных процессов* / Под ред. В. В. Фролова. М.: Высшая школа, 1988. 558 с.
2. *Никифоров Г. Д., Опарин М. И., Федоров С. А.* Сварка и пайка световым лучом. М.: Машиностроение, 1979. 41 с.

3. *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—15.

4. *Коробко Н. А.* Поверхностный монтаж радиоэлементов на печатные платы световым лучом дуговых ксеноновых ламп // *Приборы и системы управления*. 1991. № 8. С. 41—42.

5. *Карякин Н. А.* Световые приборы прожекторного и проекционного типов. М.: Высшая школа, 1966. 411 с.

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

8. *Овчинников В. В., Федоров С. А.* Пайка световым лучом дуговых ксеноновых ламп токоведущих элементов силовой электроаппаратуры // *Сварочное производство*. 1988. № 6. С. 1—2.

9. *Белов А. А.* Лучевой высокотемпературный паяльник с кварцевой лампой накаливания // *Сварочное производство*. 1983. № 7. С. 40.

УДК 621.793.18

Н. В. МАТВЕЕВ, д-р техн. наук
ОАО "НИАТ"

Получение несплошных износостойких покрытий в вакууме с применением формирующего сепаратора

Технология¹ вакуумного получения несплошных износостойких (карбидов, нитридов, боридов и оксидов переходных металлов) покрытий, разработанная в ОАО "НИАТ", основана на принудительном разделении плазменного потока испаряемого материала с помощью формирующего сепаратора на элементарные струи, формирующие единичные участки покрытия в виде усеченных конусов, шаровых сегментов малой высоты и правильных усеченных трех-, четырех- и шестигранных пирамид (высотой (толщиной) покрытия 3—50 мкм и размерами основания в плане 50—500 мкм), расположенных на поверхности подложки в регулярном порядке с коэффициентом сплошности покрытия ψ (отношение площади поверхности подложки, занятой единичными участками, к общей площади поверхности подложки) в диапазоне 30—70 % [1, 2].

Сепаратор, разделяющий плазменный поток испаряемого материала на элементарные струи, является основным технологическим элементом при нанесении несплошного износостойкого покрытия в вакууме.

Известно, что в электронной промышленности применяются экраны, трафареты и маски для по-

лучения топографии микросхем [3]. В машиностроении устройства данного типа применяют для нанесения покрытия слоями, толщина которых изменяется по заданному закону, или для нанесения равнотолщинного покрытия на поверхность сложной кривизны². Часто маски и трафареты применяют для нанесения в вакууме надписей или узоров в декоративных целях^{3, 4}.

Для устранения мест контакта подложки с державкой изготавливают сетчатые барабаны, внутрь которых загружают подложки⁵, а из сеток, пропускающих испаряемый материал, выполняют всевозможные управляющие электроды в системах испарения^{6, 7}.

Для формирования износостойкого покрытия в вакууме из единичных участков (островков) наиболее простым техническим решением является размещение сепаратора между испарителем и поверхностью подложки или на ней. Однако в научно-технической литературе отсутствует информация о применении подобных подходов для

¹ А. с. 351931 (СССР).

² Заявка 56-14745 (Япония).

³ Заявка 1368351 (Великобритания).

⁴ Заявка 52-36759 (Япония).

⁵ Заявка 1300487 (Великобритания).

⁶ Заявка 52-29991 (Япония).

нанесения износостойких покрытий в вакууме. Это обусловлено рядом причин: отсутствием необходимости, довольно высокой температурой процесса осаждения покрытия, неисследованностью процесса взаимодействия сепаратора с ионным потоком и др.

Для осуществления процесса нанесения несплошного износостойкого покрытия в вакууме сепаратор должен удовлетворять следующим требованиям:

- выдерживать многократный нагрев до температуры 500 °С и выше;
- обладать формоустойчивостью без коробления на протяжении процесса напыления;
- обеспечивать проницаемость испаряемого материала в течение всего технологического цикла, заданные форму и размеры единичного участка и топографию покрытия.

Для получения четкой поверхностной структуры несплошного покрытия формообразующий сепаратор должен находиться на поверхности подложки или на расстоянии не более длины свободного пробега атомов испаряемого материала при рабочем вакууме осаждения. Причем электрические потенциалы сепаратора и подложки должны быть одинаковы, т. е. сепаратор следует изготавливать из токопроводящего материала.

Наиболее подходящими материалами для изготовления формирующего сепаратора являются коррозионно-стойкие стали различных марок.

При получении единичных участков несплошного покрытия в виде усеченных конусов, шаровых сегментов малой высоты и правильных усеченных пирамид с тремя или шестью гранями основным элементом формообразующего сепаратора является маска, изготовленная из листовой коррозионно-стойкой стали толщиной не более 0,3 мм. Отверстия в маске имеют форму круга, треугольника или шестиугольника, а их расположение соответствует топографии несплошного покрытия. Другими словами, поверхность маски являет собой отображение "межостровкового" пространства несплошного покрытия.

Требуемые геометрические размеры единичного участка в плане (от 0,05 до 0,5 мм) и значение коэффициента сплошности (от 30 до 70 %) несплошного покрытия значительно усложняют процесс изготовления маски из-за ее ажурности. Перфорация относительно малых отверстий заданной формы в маске с помощью механической, лазерной, электронно-лучевой или других видов обработки металлов представляет собой трудоемкий технологический процесс, связанный с применением координатных столов и последовательным изготовлением каждого отверстия. Это приводит к большой стоимости маски, которая определяется в

каждом отдельном случае в зависимости от формы отверстий и расстояния между ними.

При формировании несплошного покрытия из правильных усеченных четырехгранных пирамид в качестве маски можно использовать металлические сетки с квадратными ячейками. Одним из основных производителей таких сеток является ОАО "Солнечногорский завод металлических сеток им. Лепсе".

Стоимость 1 м² сетки находится в пределах от 450 до 650 руб., что значительно, примерно на один-два порядка, дешевле масок с перфорированными отверстиями. Следовательно, экономически целесообразно в качестве маски использовать сетки с квадратными ячейками и, как следствие, формировать несплошное износостойкое покрытие из правильных четырехгранных усеченных пирамид.

Таким образом, основным конструктивным элементом формирующего сепаратора является экранирующая маска, изготовленная из металлической сетки с квадратными ячейками в свету. В дальнейшем для простоты изложения и восприятия формирующий сепаратор вполне корректно называть сетчатым экраном.

Анализ ассортимента сеток, выпускаемых Солнечногорским заводом, позволил отобрать 25 типоразмеров сеток, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к геометрическим параметрам несплошных износостойких покрытий, получаемых в вакууме.

К основным техническим характеристикам тканых сеток (см. таблицу) относятся:

- материал проволоки, из которой изготовлена сетка;
- размер квадратной ячейки сетки в свету b , мм;
- диаметр проволоки $d_{\text{пр}}$, мм;
- живое сечение (прозрачность) сетки ξ , определяемое как отношение площади пустот сетки к общей площади поверхности сетки, %:

$$\xi = \frac{b^2}{(b + d_{\text{пр}})^2} 100 \%$$

Данные, приведенные в таблице, наглядно показывают, что при фиксированных изменениях размеров квадратной ячейки в свету от 0,056 до 0,5 мм и диаметра проволоки от 0,03 до 0,3 мм, значение живого сечения сетки находится в пределах от 32,65 до 61,47 %.

В первом приближении коэффициент сплошности несплошного покрытия и живое сечение сетки, из которой изготовлен сетчатый экран, должны быть одинаковы. Однако, опираясь на данные работы [4], можно считать, что кривизна проволоки, из которой изготовлена сетка, за счет эффекта "подпыления" влияет на геометрические размеры единичного участка в плане и профиль его попе-

Номер по порядку	b , мм	$d_{пр}$, мм	ξ , %	ТУ, ГОСТ, материал
1	0,056	0,040	34,03	Сетка тканая коррозионно-стойкая с квадратными ячейками микронных размеров ТУ 14-4-507—74 Коррозионно-стойкая сталь 03X18H9T-BI 12X18H10T
2	0,064	0,032	44,44	
3	0,071	0,030	49,47	
4	0,071	0,055	31,75	
5	0,080	0,055	35,12	
6	0,094	0,055	39,80	
7	0,140	0,090	37,05	
8	0,160	0,120	32,65	
9	0,200	0,130	36,73	
10	0,400	0,150	52,89	Сетка тканая коррозионно-стойкая ГОСТ 3826—82 Коррозионно-стойкая сталь 03X18H9T-BI 12X18H10T
11	0,400	0,200	44,44	
12	0,400	0,250	37,86	
13	0,450	0,200	47,93	
14	0,450	0,250	41,33	
15	0,500	0,200	51,02	
16	0,500	0,250	44,44	
17	0,500	0,300	39,06	
18	0,261	0,100	52,27	Коррозионно-стойкая тканая для мельничных комплексов ТУ 14-4-1569—89 Коррозионно-стойкая сталь 03X18H9T-BI 12X18H10T
19	0,287	0,100	54,99	
20	0,306	0,110	54,11	
21	0,341	0,110	57,17	
22	0,372	0,120	57,17	
23	0,421	0,120	60,56	
24	0,421	0,130	58,38	
25	0,472	0,130	61,47	

речного сечения. Площадь основания единичного участка в плане больше площади квадратной ячейки в свету, т. е. ψ больше ξ при плотном прижатии сетки к поверхности осаждения на 14 %.

Выбор типоразмера сетки для изготовления сетчатого экрана зависит от геометрических параметров несплошного износостойкого покрытия, которые, в свою очередь, определяются условиями эксплуатации изделия, упрочненного несплошным износостойким покрытием.

Далее в качестве примера приведено обоснование выбора геометрических параметров несплошного износостойкого покрытия, рекомендованного для применения на режущем инструменте.

Несплошное покрытие на режущем инструменте должно иметь регулярную топографию, т. е. размеры единичных участков в плане должны быть одинаковы, как и расстояние между ними, и гораздо меньше геометрических размеров инструмента, так как разрушаться в процессе резания должны только единичные участки, находящиеся в непосредственном контакте с обрабатываемым материалом.

Известно, что наибольший износ передней грани резца происходит в зоне контакта стружки с поверхностью шириной около 1 мм [5, 6] и в зоне максимальной температуры [7], приблизительно равной половине зоны контакта [6, 8]. Максимальный износ покрытий происходит в тех же зонах [5, 8]. Следовательно, размер единичного участка несплошного покрытия в плане должен быть хотя бы в

2 раза меньше длины контакта стружки, т. е. приблизительно менее 0,5 мм. Только тогда несплошное покрытие должно проявить максимум всех своих положительных качеств по физико-механическим свойствам. Беспредельное уменьшение размеров единичных участков в плане, по-видимому, приведет к значительному усложнению технологии их получения. Поэтому для покрытий на режущем инструменте предлагается использовать размер единичных участков в плане в пределах от 0,1 до 0,4 мм, что гарантирует нахождение нескольких участков покрытия в зонах контакта стружки и максимально-го нагрева.

Исследование формоустойчивости при нагреве и технологичности изготовления сетчатых экранов для подложек с плоской и цилиндрической поверхностью проводили при использовании сеток трех типоразмеров (см. табл., № 6, 9 и 10).

Определение формоустойчивости при нагреве в вакууме проводили на установке ЭПН-3. Температуру контролировали термодарой группы ХА диаметром 0,2 мм по ГОСТ 6616—61.

Исследования формоустойчивости плоских и цилиндрических экранов, изготовленных из стальных сеток с размерами ячеек в свету 0,094, 0,2 и 0,4 мм, при нагреве до 500 °С в вакууме показали, что экраны выдерживают указанную температуру. Отмечено небольшое провисание (1,5—2,0 мм) у плоского экрана, изготовленного из сетки с размерами ячейки в свету 0,094 мм.

Нагрев сетчатых экранов в установке ЭПН-3 осуществляли с помощью нагревателя излучения резистивного типа. При нагреве плоских и цилиндрических сетчатых экранов до 500 °С с помощью ионного пучка испаряемого титана в установке ННВ6.6.-И1 установлено, что без применения подложек происходит сильное деформирование сеток, а у сетки с размером ячейки в свету 0,094 мм наблюдаются прожоги, что связано с гораздо большей скоростью и энергией нагрева ионным пучком по сравнению с нагревом тепловым излучением.

При нагреве сетчатых экранов, размещенных на поверхности плоских и цилиндрических образцов, отмечено небольшое коробление сеток, что можно объяснить передачей тепловой энергии от сетки к подложке, обладающей гораздо большей массой по сравнению с сеткой.

При исследовании технологичности изготовления установлено, что изготовление плоского сетчатого экрана из сетки с размером ячейки в свету 0,094 мм связано с трудностями из-за непрочности сетки и склонности ее к перекашиванию при натяжении. Изготовление цилиндрических сетчатых экранов из сетки с размером ячейки в свету 0,4 мм связано с трудностями из-за большой жесткости проволоки. Сетка с размерами ячейки в свету

0,2 мм удовлетворительно зарекомендовала себя как при изготовлении плоских сетчатых экранов, так и цилиндрических экранов.

Для изготовления сетчатых экранов, применяемых при нанесении несплошного износостойкого покрытия на режущий инструмент, выбрали тканую сетку 020 (ТУ 14-4-507—74) с размером квадратной ячейки в свету $0,2 \times 0,2$ мм. Сетка изготовлена из стальной диаметром 0,13 мм проволоки 03X18H9T-ВИ (X18H9T-ВИ) или 03X18H10T-ВИ (X18H10T-ВИ); химический состав и технические требования соответствуют ТУ 14-1-1702—76.

Рассмотрим геометрические параметры перфорированной ленты, эквивалентной по своим геометрическим параметрам сетке 020 ($b = 0,2$ мм, $d_{\text{пр}} = 0,13$ мм, $\zeta = 36,73$ %), рекомендованной для формирования несплошных покрытий на режущем инструменте.

Согласно геометрическим расчетам, наиболее технологичный диаметр d цилиндрического отверстия при изготовлении перфорированной ленты должен быть равным 0,226 мм, а расстояние между центрами H отверстий при их плотном расположении — 0,335 мм, при нормальном расположении — 0,331 мм. Наименьшие размеры расстояния между цилиндрическими поверхностями отверстий (размер перемычек) при их плотном и нормальном расположениях соответственно равны 0,129 и 0,105 мм.

Следует отметить, что при плотном расположении отверстий размер перемычек практически равен $d_{\text{пр}}$ сетки 020, а при нормальном размещении — шаг размещения отверстий равен шагу размещения ячеек сетки. По аналогии с сеткой 020 толщина b перфорированной ленты должна составлять 65 % размера отверстия и равна 0,147 мм.

Изготовление перфорированной ленты с указанными геометрическими параметрами связано с большими технологическими трудностями.

Использование сетки 020 при нанесении несплошного нитридитанового покрытия позволило получить покрытие с коэффициентом $\psi \approx 50$ %. Применение данного покрытия на режущем инструменте показало, что при точении несплошное покрытие разрушается в зоне единичного участка и позволяет по сравнению со сплошным значительно снизить силы резания и шероховатость обработанной поверхности, обеспечивая при этом в зависимости от вида механической обработки и обрабатываемых и инструментальных материалов в 1,5—6,0 раз большую стойкость режущего инструмента [9].

На основании вышеизложенного рекомендуется несплошные износостойкие вакуумные покрытия формировать из правильных усеченных четырехгранных пирамид, а в качестве задающего элемента в сепараторе, формирующем покрытие, использовать тканые стальные сетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Н. В. Форма и геометрические размеры единичного участка в несплошном износостойком вакуумном покрытии // Авиакосмическая техника и технология. 2002. № 2. С. 13—15.
2. Матвеев Н. В. Топография вакуумных несплошных износостойких покрытий // Авиакосмическая техника и технология. 2004. № 4. С. 23—27.
3. Данилин Б. С. Получение тонкопленочных элементов микросхем. М.: Металлургия, 1977. 135 с.
4. Матвеев Н. В. Вакуумное формирование несплошных износостойких покрытий на плоской подложке // Авиакосмическая техника и технология. 2003. № 4. С. 15—20.
5. Мацевитый В. М., Козак И. В. Основные функции износостойких покрытий при резании. Харьков: ХПИ, 1984. УкрНИИ-ИНТИ. Деп. № 1527—84.
6. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
7. О влиянии нитридитановых покрытий на локализацию температурного поля при трении / В. М. Мацевитый, В. М. Береснев, М. С. Борушко и др. // Трение и износ. 1981. Т. 2. № 6. С. 118—120.
8. Мацевитый В. М., Козак И. В., Романова Л. М. Механизм влияния износостойких покрытий на температуру рабочих поверхностей режущего инструмента. Харьков: ХПИ, 1984. УкрНИИ-ИНТИ. Деп. № 1526—84.
9. Матвеев Н. В. Служебные и физико-механические свойства несплошного нитридитанового покрытия // Технология машиностроения. 2004. № 2. С. 29—34.

УДК 621.791.678.029.43:621.791

С. С. ВОЛКОВ, канд. техн. наук
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс

При создании конструкций из полимерных материалов с заданным комплексом необходимых физико-механических свойств возникает необходимость соединения заготовок из разнородных пластмасс, сочетание характеристик которых удовлетворяет

поставленным требованиям. Из-за различия в химическом строении, молекулярной массе, температурных, фазовых переходах и т. п. использование существующих способов сварки не всегда позволяет получать качественное соединение. Особенно-

сти ультразвуковой сварки определялись коэффициентом механических потерь, динамическим модулем упругости материала, демпфирующими свойствами и температурным интервалом вязкотекучего состояния.

Однако во многих случаях требуется сочетание таких свойств, которые не могут обеспечить отдельно взятые полимерные материалы, например, в специальной одежде — теплостойкость и гигиенические характеристики; в полевой измерительной аппаратуре — температуро- и атмосферостойкость и высокая сопротивляемость ударным нагрузкам и т. п. Совершенствование существующих и разработка новых способов ультразвуковой сварки, позволяющих соединять термопластичные материалы с различными свойствами, является актуальной проблемой.

Трудности, с которыми приходится сталкиваться при ультразвуковой сварке разнородных полимерных материалов, можно разделить на две группы: общие — характерные для всех видов сварки пластмасс и специфические — характерные только для ультразвуковой сварки. Очевидно, что разработка технологических приемов сварки разнородных полимерных материалов невозможна без анализа этих трудностей [1].

Основным затруднением, с которым приходится сталкиваться при любом способе сварки разнородных полимерных материалов, является необходимость обеспечения смешения их в переходной зоне от одного полимера к другому. О том, что такая зона смешения существует, свидетельствуют, например, эксперименты, проведенные в МГТУ им. Н. Э. Баумана по ультразвуковой сварке ударопрочного полистирола (ПСУ) и полиметилметакрилата (ПММА) [2]. Эксперименты заключались в снятии рентгенодифрактограмм различных зон переходного слоя от одного полимерного материала к другому и сравнении их с эталонными дифрактограммами смесей ПС и ПММА с различными концентрациями компонентов. При этом была обнаружена значительная зона взаимного проникновения свариваемых полимерных материалов.

Образование в переходной области смесей свариваемых полимеров указывает на то, что одним из критериев свариваемости разнородных полимерных материалов должна являться их совместимость. Под этим термином, как известно, понимают способность полимерных материалов образовывать при конкретных условиях (температуре T , давлении p , концентрации C) термодинамически устойчивую систему, состоящую из молекулярно диспергированных компонентов [3]. Кроме того, совместимость можно оценивать плотностью и вязкостью расплавов, наличием в составе

молярной доли сополимеров более 50 %, а в ряде случаев — более 80 % идентичных звеньев.

При этом термодинамическую устойчивость оценивают изменением изобарно-изотермического потенциала смеси. Анализ изобарно-изотермического потенциала смеси показывает, что, к сожалению, в большинстве случаев смеси полимеров оказываются термодинамически несовместимыми. Это означает, что такая смесь должна распадаться (расслаиваться) с течением времени, причем эти процессы должны ускоряться под действием внешних эксплуатационных факторов: температуры, напряжения и т. п. В работе [4] при рассмотрении вопросов создания композиционных материалов указывалось, что всего 2 % применяемых полимерных материалов могут образовывать термодинамически устойчивые пары.

Несмотря на термодинамическую несовместимость, на сварку разнородных полимеров не нужно смотреть слишком пессимистически. Дело в том, что кроме термодинамических подходов следует учитывать и чисто механические процессы перемешивания, которые при надлежащем подборе технических средств можно довести до уровня молекулярного перемешивания. При этом, хотя и будет получаться термодинамически неустойчивая смесь, она окажется пригодной при условии эксплуатации благодаря тому, что изменение характеристик этой смеси, например прочности, за время эксплуатации не превысит допустимых значений. Таким образом, использование только термодинамического подхода к анализу свариваемости разнородных полимерных материалов, как это делается в большинстве литературных источников, явно недостаточно.

Как известно, основой механизма перемешивания жидкостей является конвекция [5], заключающаяся в перемещении капель жидкости из одной области в другую. При сварке конвективное смешение происходит за счет деформирования системы и возникающего вследствие деформационного сдвига течения (сдвиговое течение). Преимуществом ультразвуковой сварки перед другими видами сварки полимерных материалов на данном этапе, очевидно, будет являться то, что при ультразвуковой сварке течение происходит в турбулентном режиме, в то время как при других способах сварки — в ламинарном. Так как в течении должны участвовать обе контактирующие фазы, то процесс смешения будет определяться соотношением значений вязкости расплавов и плотности фаз. Таким образом, несовпадение плотностей и вязкостей расплавов является следующей трудностью при сварке разнородных полимерных материалов.

Наконец, еще одной трудностью, с которой приходится сталкиваться, является разница темпера-

тур вязкотекучего состояния T_v или плавления кристаллической фазы $T_{пл}$ свариваемых полимерных материалов. Поэтому будет наблюдаться перегрев материала с меньшей T_v или $T_{пл}$, причем этот перегрев может происходить до температур, при которых резко возрастает скорость термодеструкции. Кроме того, развивающаяся при смешении деформация сдвига и высокие напряжения сдвига неизбежно приводят к возникновению механо-химических эффектов. При этом, если суммарная сила внешнего воздействия, приложенного к молекулярной цепи, окажется больше ее продольной прочности, то полимерная молекула может разорваться. Образующиеся при этом обрывки полимерной цепи будут являться свободными радикалами. Эти свободные радикалы могут участвовать в процессах рекомбинации с образованием полимерной молекулы, мало отличающейся от исходной; взаимодействия с молекулами кислорода и других низкомолекулярных веществ, присутствующих в полимерном материале; образовании блок- и привитых полимеров. Впервые этот эффект применительно к ультразвуковой сварке был обнаружен для ряда материалов в МГТУ им. Н. Э. Баумана [1].

Во всех этих случаях решающую роль играют силы взаимодействия, которые в свою очередь связаны с вязкостью расплавов. В связи с этим все факторы, увеличивающие вязкость (понижение температуры, повышение гидростатического давления), затрудняют сварку разнородных полимерных материалов.

Механизм образования сварного соединения при ультразвуковой сварке разнородных пластмасс проходит через четыре стадии, что обусловлено природой полимерного материала и технологией ультразвуковой сварки.

На первой стадии материалы в зоне контакта находятся в стеклообразном состоянии, которое характеризуется активацией свариваемых поверхностей за счет повышения энергетического уровня макромолекул, что обусловлено гистерезисными потерями при циклическом деформировании. После перехода материалов на границе раздела в высокоэластичное состояние наступает вторая стадия. Поверхностные слои в контактирующих областях разрушаются и удаляются из зоны сварки в грат при течении расплава. В вязкотекучем состоянии происходит перемешивание макрообъемов свариваемых материалов, обусловленное неравномерным статическим и динамическим давлением по плоскости контакта и "насосным" действием ультразвуковых колебаний. Диффузионные процессы происходят только внутри макрообъемов и на этой стадии не оказывают существенного влияния на механизм образования сварного соединения. После отключения ультразвуковых колебаний наступает

третья стадия, протекающая до начала стеклования материала сварного шва. Она характеризуется в первую очередь диффузионными процессами на границах контакта макрообъемов, интенсивность которых падает с уменьшением температуры. Наряду с этим третья стадия характеризуется образованием блок-сополимера в результате комбинаций свободных макрорадикалов от разных материалов и возникновением внутренних напряжений. На этом заканчивается образование сварного соединения, так как четвертая стадия (при температуре окружающей среды), в значительной мере определяющая свойства сварного соединения, зависит от характера кинетики и морфологии образующихся надмолекулярных структур, процесса возникновения и релаксации внутренних напряжений в зоне сварного шва. Такой механизм образования сварного соединения при ультразвуковой сварке разнородных полимерных материалов служит основанием для создания новых технологических приемов сварки, позволяющих исключить влияние различия физико-механических свойств свариваемых пластмасс.

Технологические приемы (способы), позволяющие получать качественные сварные соединения разнородных пластмасс, заключаются в подборе свариваемых пар; определении температуры нагрева, при которой каждый из свариваемых материалов имеет оптимальную текучесть в зоне шва; введении низкомолекулярных добавок (растворителей) в зону сварки полимерных материалов; использовании промежуточных прослоек (прокладок) из сополимеров, имеющих в своем составе мономерные звенья обоих свариваемых полимеров; прививке к одной из свариваемых поверхностей сополимера, частично совместимого с каждым из свариваемых материалов; обеспечении реакции взаимодействия вводимого в зону шва полифункционального вещества с материалом соединяемых поверхностей (химическая сварка); применении контролируемой атмосферы (вакуума).

Подбор свариваемых пар. При конструировании изделий из полимерных материалов необходимо обращать особое внимание на правильный подбор свариваемых пар. В первую очередь эти пары должны быть термодинамически совместимыми. Одним из необходимых условий образования прочного сварного соединения является обеспечение в зоне контакта температур, близких к температурам перехода из высокоэластичного состояния в вязкотекучее или выше температур плавления.

Другим, не менее важным фактором, является обеспечение протекания диффузионных и реологических процессов перемешивания, которые возможны при совпадении показателей вязкости расплавов свариваемых материалов. При ультразвуковой сварке разнородных полимерных материалов про-

исходят процессы интенсивного перемешивания макрообъемов расплавов свариваемых материалов, а диффузионные процессы являются сопутствующими и протекают по границам этих макрообъемов. В противном случае даже динамическое воздействие ультразвуковых колебаний не может обеспечить проникновения частиц менее вязкого расплава в область более вязкого. Выбрав за критерии свариваемости при ультразвуковой сварке разнородных материалов соотношение интервалов вязкотекучего состояния (для кристаллических пластмасс — температуру плавления) и показатели вязкости расплавов при этих температурах, пары подобранных материалов можно разделить на четыре группы. При этом показателем качества сварного соединения являлась относительная прочность сварного соединения.

В первую группу входят пары материалов, хорошо свариваемых между собой ультразвуковой сваркой: полистирол с полиметилметакрилатом и полиэтилен с полипропиленом. У данных материалов совпадают интервалы вязкотекучего состояния (для второй пары — плавления) и незначительно расходятся показатели вязкости при этих температурах.

Во вторую группу входят пары материалов, удовлетворительно свариваемых между собой ультразвуковой сваркой. У этих материалов при незначительных отклонениях в значениях показателей вязкости расплавов не совпадали температурные интервалы вязкотекучего состояния. К этой группе относятся полистирол с поликарбонатом, полиметилметакрилат с поликарбонатом, поликарбонат с полиамидом.

К третьей группе относятся пары материалов, неудовлетворительно свариваемых между собой ультразвуковой сваркой. У этих материалов совпадают значения температурных интервалов вязкотекучего состояния, но показатели вязкости расплавов в этих интервалах значительно отличаются. Сварное соединение образуется в основном за счет диффузионных процессов, но время пребывания при температурах, когда они могут протекать, незначительное. К этой группе относятся полиэтилен с поливинилхлоридом.

В четвертую группу входят пары материалов, которые не удавалось сварить ультразвуковой сваркой. У этих материалов не совпадали оба выбранных критерия подбора, например полиамид с поливинилхлоридом.

Подбор температур нагрева. Подбор температуры сварки разнородных полимеров следует производить по оптимальным режимам сварки более низкоплавкого из них. В этом случае определяют интервал температур, в котором соединяемые полимеры наиболее активны к реакции объемного

взаимодействия между собой. Температуру реакции подбирают для каждой свариваемой пары полимерных материалов так, чтобы скорости реакции были примерно равными. Для создания в зоне контакта свариваемых пар температурного поля, при котором оба материала могли бы вступить в процессы объемного взаимодействия, было предложено изменить начальную температуру одного из свариваемых материалов на величину, компенсирующую различие в температуре перехода в вязкотекучее состояние и скорости прироста температуры.

Для полимерных материалов, способных обеспечить плоскую упаковку макромолекулярных образований при их соединении в вязкотекучем состоянии, эффективен способ ультразвуковой сварки с подогревом свариваемых поверхностей. Нагрев полимеров, имеющих разные температуры плавления, можно производить при помощи нагревателей с регулируемой температурой на каждой из его поверхностей. Глубина проплавления при этом регулируется по времени нагрева полимерных материалов.

Введение растворителей. Критерием, обуславливающим получение качественного сварного соединения между разнородными пластмассами, является соотношение вязкости расплавов в температурном интервале вязкотекучего состояния. В случаях, когда свариваемые полимерные материалы имеют большую разницу вязкости расплава, предложено проводить ультразвуковую сварку с помощью растворителей. В работах, проведенных в МГТУ им. Н. Э. Баумана [1, 2], показано, что такой способ дает хорошие результаты при сварке полистирола с полиамидом, поликарбоната с полиамидом и др.

Применение растворителей для сварки известно давно. С помощью растворителя снижают в полимере на границе контакта при сварке межмолекулярное взаимодействие, облегчая диффузию молекул. Этот метод сварки возможен в случае, когда соединяемый полимер находится в аморфном состоянии, а следовательно, может быть переведен в стадию высокой степени набухания. Сварка с помощью растворителя возможна и в случае частично кристаллического полимера, содержащего значительный объем аморфной фазы, в которую могут диффундировать молекулы аморфного полимера, находящегося в набухом состоянии и содержащегося с аморфной фазой кристаллического полимера [6, 7].

Этот способ сварки характеризуется длительным временем выдержки после отключения ультразвуковых колебаний.

Использование прослоек. В работе [8] показано, что при сварке совместимых полимерных материалов следует использовать промежуточный

слой из сополимеров, содержащих преимущественно неполярные или слабо полярные звенья обоих соединяемых полимеров. При значительной разнице свойств используют несколько слоев прослоек из сополимеров, образующих как бы переходные фазы, обеспечивающие плавное изменение химического строения и свойств полимеров в переходной зоне от одного полимера к другому [7].

При этом звенья, присущие макромолекулам одного из соединений полимеров, постепенно заменяются в сополимерах промежуточных слоев звеньями макромолекул другого полимера [6]. В результате на каждой границе можно обеспечить плотное молекулярное соединение однотипных звеньев и прочность, сравнимую с прочностью соединяемых полимеров. Значительное количество полимерных материалов имеет определенное процентное соотношение однотипных или близких по составу звеньев, которые при сварке могут образовывать прочное соединение. Поэтому условием образования качественного сварного соединения с применением промежуточного слоя из набора сополимеров считается наличие в зоне контакта молярной доли чужеродных звеньев не более 25 % [6]. Например, соединение полиэтиленовой пленки с пленками полистирола, поливинилацетата и поливинилового спирта можно осуществлять с использованием прослоек из сополимера этилена с виниловым спиртом и сополимера этилена с винилацетатом при содержании в них молярной доли звеньев этилена не менее 80 %. Возможен также набор пакетов сополимеров этилена с последовательным замещением звеньев этилена звеньями свариваемого с полиэтиленом полимерного материала.

Прививка сополимера. Способ создания на поверхности одного из соединяемых изделий привитого слоя второго полимера наиболее эффективен для образования на границе соединения физических связей, которые реализуются за счет полярных групп привитого слоя. Поэтому формировать такой слой целесообразно на менее полярном из соединяемых полимеров [6].

Прививка мономера происходит за счет его протекания в аморфные участки основного полимера, что обеспечивает неравномерное покрытие поверхности основы. С увеличением количества прививаемого мономера наблюдается его глубинное проникновение. Это влечет за собой образование гетерогенности основы, снижает степень кристалличности и прочность основного материала.

Для плохо сваривающихся по диффузионному механизму разнородных полимеров возможно эффективное использование способа химической сварки путем введения в зону сварки ди-, три-, тетраминов или диизоцианатов [6].

Химическая сварка. Предусматривает введение в зону сварки полифункционального вещества, способного одновременно вступать в химическую реакцию взаимодействия с макромолекулами обоих соединяемых полимеров. На выбор реагента влияют типы функциональных групп рассматриваемых полимеров, которые способны к реакции соединения в процессе сварки. Необходимыми условиями осуществления реакции взаимодействия являются правильный выбор присадочного реагента, достаточно активного к функциональным группам свариваемых полимерных материалов, сближение компонентов на расстояние, достаточное для протекания реакции, определение интервала температур, при котором соединяемые полимеры наиболее активны к реакции взаимодействия с присадочным реагентом.

Химическая сварка предпочтительна, когда необходимо снизить температурные деформации сварного шва, обеспечить стойкость соединений путем воздействия тепла или растворителей [6].

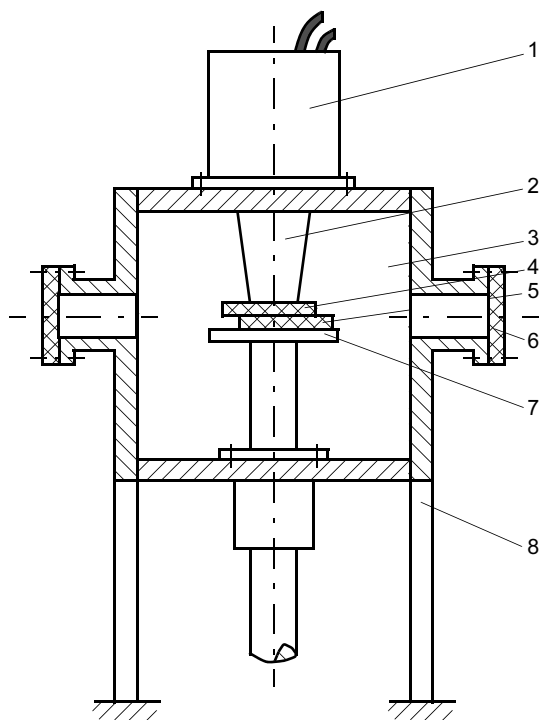
Ультразвуковая сварка. Для сварки полимерных материалов, таких как поликарбонат (ПК) с АБС-пластиком, сополимер стирола с полиметилметакрилатом (ПММА) и сополимер тетрафторэтилена (ТФЭ) с винилиденфторидом (ВФ), имеющих разные температуры плавления, различную молекулярную массу, аморфную и частично кристаллическую структуру, можно применять ультразвуковую сварку в контролируемой атмосфере (в вакууме), позволяющую исключить взаимодействие полимеров с окружающей средой, приводящее к термоокислительной деструкции и изменению физико-механических свойств свариваемых термопластов.

Ультразвуковая сварка в вакууме по сравнению со сваркой в атмосфере обеспечивает следующие преимущества:

— отсутствие продуктов термоокислительной деструкции, несмотря на перегрев деталей, имеющих меньшую температуру вязкотекучего состояния T_B или температуру плавления кристаллической фазы $T_{пл}$;

— значительное снижение вязкости расплава за счет уменьшения гидростатического давления. Это в свою очередь будет способствовать протеканию процессов рекомбинации и образованию блокированных полимеров в переходной зоне от одного полимера к другому. Кроме того, снижение вязкости расплава приведет к лучшему перемешиванию полимерных материалов в зоне соединения за счет увеличения турбулентности течения;

— значительное увеличение коэффициента молекулярной диффузии, сопровождающееся образованием блок-сополимеров и, как следствие, увеличение прочности сварного соединения и от-



Принципиальная схема вакуумной ультразвуковой установки для сварки разнородных полимерных материалов: 1 — магнестрикционный преобразователь; 2 — волновод; 3 — вакуумная камера; 4, 5 — свариваемые изделия; 6 — смотровое окно; 7 — стол-опора; 8 — станина-рама

сутствие изменений физико-механических свойств свариваемых термопластов.

Проведенные эксперименты показали, что прочность данных сварных соединений зависит от степени разрежения в сварочной камере: при ее увеличении относительная прочность сварного соединения увеличивается. При достижении 0,133 Па она составляет 80—90 % прочности основного материала за счет снижения влияния процессов окисления и термодеструкции. Дальнейшее увеличение степени разрежения позволяет увеличить прочность сварных соединений еще на 2—4 %, однако производительность при этом резко снижается. Исследования структурных превращений полимеров при ультразвуковой сварке в вакууме показали, что свойства сварных соединений не только сохраняются, но и улучшаются. В частности, в процессе исследования молекулярно-массовых характеристик полимеров с применением гелепроникающей хроматографии установлено, что при ультразвуковой сварке в вакууме в поликарбонате (ПК) и АБС-пластике молекулярно-массовые характеристики не претерпевают значительных изменений, т. е. сохраняется исходная структура материала, а молекулярная масса увеличивается — происходит реакция рекомбинации, что способствует улучшению физико-механических свойств разнородных полимерных материалов.

В лаборатории ультразвуковой сварки и резки полимерных материалов МГТУ им. Н. Э. Баумана спроектирована и изготовлена опытная экспериментальная вакуумная установка для сварки разнородных полимерных материалов (см. рисунок).

Отличительной чертой ультразвуковой сварки разнородных материалов в вакуумной установке является сжатие свариваемых деталей с противоположной стороны ввода ультразвуковых колебаний с помощью механизма сжатия. Данный механизм может быть пневматическим, пружинным или с электроприводом. Предлагаемая схема позволяет варьировать сварочное давление в широких пределах с тем, чтобы изменять создаваемое напряжение.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее значительное влияние на глубину взаимного проникновения (проплавления) материалов при ультразвуковой сварке разнородных пластмасс оказывает соотношение показателей вязкости расплавов свариваемых материалов и их свойств.

2. Разработанные технологические приемы (способы) позволяют получать качественные сварные соединения разнородных пластмасс.

3. Процессы на макроуровне (тепловая диффузия, образование новых химических связей) в значительной степени обуславливают прочность после сварки разнородных пластмасс, а реологические процессы на макроуровне — прочность при длительной эксплуатации сварных изделий.

4. При ультразвуковой сварке в вакууме при разрежении в камере 0,133 Па разнородные полимерные материалы не претерпевают структурных изменений, т. е. сохраняется исходная структура полимера, которая обеспечивает прочность сварного соединения, равную 80—90 % прочности основного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков С. С., Черняк Б. Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1986. 256 с.
2. Волков С. С., Гаранин И. Н., Мартыненко Л. В. Особенности ультразвуковой сварки изделий из разнородных пластмасс // Сварочное производство. 1955. № 7. С. 4—6.
3. Гуль В. Е., Акутин М. С. Основы переработки пластмасс. М.: Химия, 1985. 399 с.
4. Многокомпонентные системы / Под ред. А. Ф. Голда. М.: Химия, 1974. 328 с.
5. Минскер К. С., Федосеева Г. Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. М.: Химия, 1971. 154 с.
6. Комаров Г. В. Способы соединения деталей из пластических масс. М.: Химия, 1979. 286 с.
7. Вакула В. Л., Притыкин Л. М. Физическая химия адгезии полимеров. М.: Химия, 1984. 224 с.
8. Волков С. С., Гаранин И. Н., Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка разнородных пластмасс с применением термопластичной прокладки и влияние шероховатости поверхностей на свариваемость // Сварочное производство. 1966. № 11. С.19—20.

Н. Н. НОВИНЫКОВ, инж.

Пневмогидравлическая система управления промышленным адаптивным сварочным роботом¹

Выбор типа управления

Выбор пневмогидравлической системы управления роботом обусловлен концепцией его разработки, так как стремление к его удешевлению привело к отказу от насосной станции при использовании силового гидропривода. В составе замкнутой гидросхемы гидродавление генерируется двухтактным пневмогидравлическим импульсным насосом², главной составной частью которого является пара пневмогидромультипликаторов с пневмогидроаккумуляторами.

В роботе использован гироскоп Новинькова³ с поворотными гидроприводами четырех осей, каждая из которых снабжена угловыми пневмомуфтами-датчиками наподобие пневмомуфт поворотных столов в агрегатных металлорежущих станках, которые без электроклапанов управляют открыванием и закрыванием зажимных приспособлений на позициях загрузки-выгрузки изделия. На трех (из четырех) осях гироскопа смонтированы гидрозольверы, подобные синусно-косинусным электро-резольверам роботов с программным управлением, но имеющие распределительную функцию для прямой связи с линейными гидроприводами без применения электроавтоматики. Имея эти основные элементы пневмогидропривода, нетрудно применять и логические пневмодатчики, и пневмопереключатели наподобие реле, как в электроавтоматике. Электробезопасность пневмогидропривода позволяет блоки (панели) управления разместить поблизости от потребителей пневмо- и гидроэнергии, что экономит производственную площадь, занимаемую шкафами электроавтоматики, и повышает производительность робота.

Опасения, что пневмоавтоматика менее надежна, чем электроавтоматика, легко опровергаются хотя бы примером замены в троллейбусах электропривода открывания-закрывания дверей на пневмопривод как более надежный, не говоря

уже об управлении дверями в метропоездах и тормозных системах на транспорте.

В пользу пневмоавтоматики говорит тот факт, что в лучшем из роботов — "Кука 601/60" — в паспорте приведен срок службы 6 лет, поскольку надежность печатных плат и магнитных записывающих и считывающих головок гарантируется именно этим сроком.

Очень надежны в принципиальных пневмосхемах пневмоклапаны 3/2 как путевые датчики контроля ходов механизмов и логические элементы типа "ДА" и "НЕТ" с функцией одного аргумента алгебры логики, а также "ИЛИ", "И" с функцией двух аргументов и "память" (триггеры) в принципиальных пневмосхемах системы управления. Но их относят с контактными элементами автоматики. Те же элементы алгебры логики на струйных элементах не имеют этого недостатка и способны работать в условиях запыленных производств, являясь абсолютно взрыво- и пожаробезопасными.

Имеет значение и тот факт, что в особый период, когда для выведения из строя электроники может быть применено специальное ракетно-бомбовое оружие, которое против пневмоавтоматики бессильно, и она будет работать безотказно.

Ниже приведены нестандартные термины, применяемые автором для описания работы пневмогидравлического управления адаптивным роботом.

Траекторией слежения названа прямая или лекальная кривая линия, проведенная через центры обработок, последовательно расположенные в плоском или глобулярном пространстве робота. Применительно к штампованным отбортовкам как базе слежения при точечной контактной сварке различается контурная кривизна ребра ленты отбортовки фланцевого соединения и глобулярная кривизна ее волнового изгиба.

Начальным положением гироскопа названо положение, при котором все его оси параллельны или перпендикулярны плоскостям декартова пространства.

Исходным названо рабочее положение приводов робота в готовности к его включению.

Предварительным рабочим положением названо угловое фазовое положение осей гироскопа, при котором технологический инструмент занимает позицию готовности к *установочной* поперечной подаче (к ребру ленты отбортовки).

¹ Разработка "Адаптивный пневмогидравлический робот" (патент 2224637) на 53-м Всемирном инновационном салоне "Брюссель-Эврика" (2004 г.) отмечена серебряной медалью, на VIII Международном салоне "Архимед" в Москве (2005 г.) разработка одноименного пакета из 10 патентов отмечена золотой медалью.

² Патент 2252336 (РФ).

³ Патент 2221689 (РФ).

Простым плоским контурным названо слежение по траектории, параллельной одной из плоскостей декартова пространства.

Пространственным плоским контурным названо слежение по плоской траектории с одним или двумя постоянными уклонами в трехмерное декартово пространство.

Глобулярным названо слежение по переменным уклонам в трехмерное декартово пространство.

Плоский контур траектории слежения может иметь замкнутый и разомкнутый периметры с изгибами "на ребро" — внешнего и внутреннего обвода.

Глобулярный контур помимо изгибов на ребро имеет изгибы, выступающие за плоский контур в широтном или/и меридианальном направлениях (рис. 1). Такой контур условно назван "сфера" в декартовом пространстве с фронтальной вертикальной плоскостью XOZ . Термин "глобулярный контур "сфера", применимый к фронтальной плоскости XOZ , не соответствует ее полярности для горизонтальной фронтальной плоскости XOY . Поскольку оба взаимно перпендикулярных изгиба траектории слежения при работе с горизонтальной фронтальной плоскостью XOY меридианальны, поэтому контур условно назван "лодка" (рис. 2). У "лодки" за глобулярный полюс принят ее нос, к которому сходятся меридианально продольные ее ребра — шпангоуты, а поперечные ребра — стрингеры — изогнуты в "псевдоширотном" направлении. Слежение по этим взаимно перпендикулярным направ-

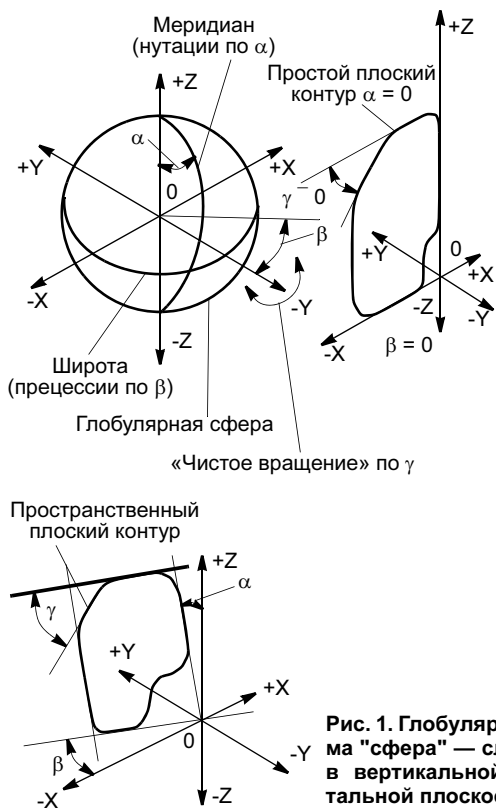


Рис. 1. Глобулярная схема "сфера" — слежение в вертикальной фронтальной плоскости XOZ



Рис. 2. Глобулярная схема "лодка" — слежение в горизонтальной фронтальной плоскости XOY

лениям сравнимо с волновой качкой: килевая — меридианальные нутации, а бортовая — "псевдоширотные" прецессии.

Гидрорезольверы и система стабилизации суммарного вектора скорости линейных гидроприводов — главный фактор автоматического саморегулирования

Интегральная функция гидрорезольверов

Автоматизм стабилизации суммарного вектора скорости хода рабочего органа обеспечивается гидрорезольверами⁴ независимо от фазового состояния осей гироскопа, на которых они расположены. В начальном положении ось золотника каждого гидрорезольвера перпендикулярна двум взаимно перпендикулярным направлениям хода линейных приводов как третья ось декартова пространства, а сумма проходных сечений двух взаимно перпендикулярных круглых отверстий их корпусов всегда постоянна и равна условной единице ($\sin^2 + \cos^2 = 1^2$) как квадрату гипотенузы (диаметр круглого отверстия 1^2), равному сумме квадратов катетов (\sin^2 и \cos^2) в прямоугольном треугольнике. Вершина последнего вращается по окружности круглого отверстия корпуса гидрорезольвера, а совмещенные в одну проекцию отсекаемые от круглых отверстий двумя прямыми краями параллельных квадратных отверстий золотника хорды — катеты прямоугольного треугольника. Насколько стрелка хорды отсекает часть диаметра круглого отверстия от одного целого диаметра, настолько же прибавляется часть диаметра другого круглого отвер-

⁴ Патент 2216441 (РФ).

ствия, делая их сумму равной единице (целому диаметру), и, следовательно, сумма проходных гидросечений системы интегрально всегда постоянна. Отсюда следует, что величина суммарного вектора скорости рабочего органа инвариантна к возмущениям (переменным синусу и косинусу).

Дифференциальная функция гидрорезольверов

Величины суммируемых векторов скоростей двух взаимно перпендикулярных гидроприводов пропорциональны косинусу (большой — доминантный вектор) и синусу (малый — дополнительный вектор) угла поворота золотника. При повороте зо-

лотника гидрорезольвера через каждые 45° (от начального положения) направление слежения альтернативно меняется с меридианального на широтное (псевдоширотное) или наоборот. При слежении по наклонной траектории суммарный вектор вместе с плоским прямоугольником сходящихся сил, составляющих его доминантный и дополнительный векторы, получает склонение (с образованием векторной параллелепипедной системы) на величину третьего вектора скорости гидропривода-корректора, пропорциональную синусу угла "чистого вращения" главной гироскопической оси 11 (рис. 3). При этом направление суммар-

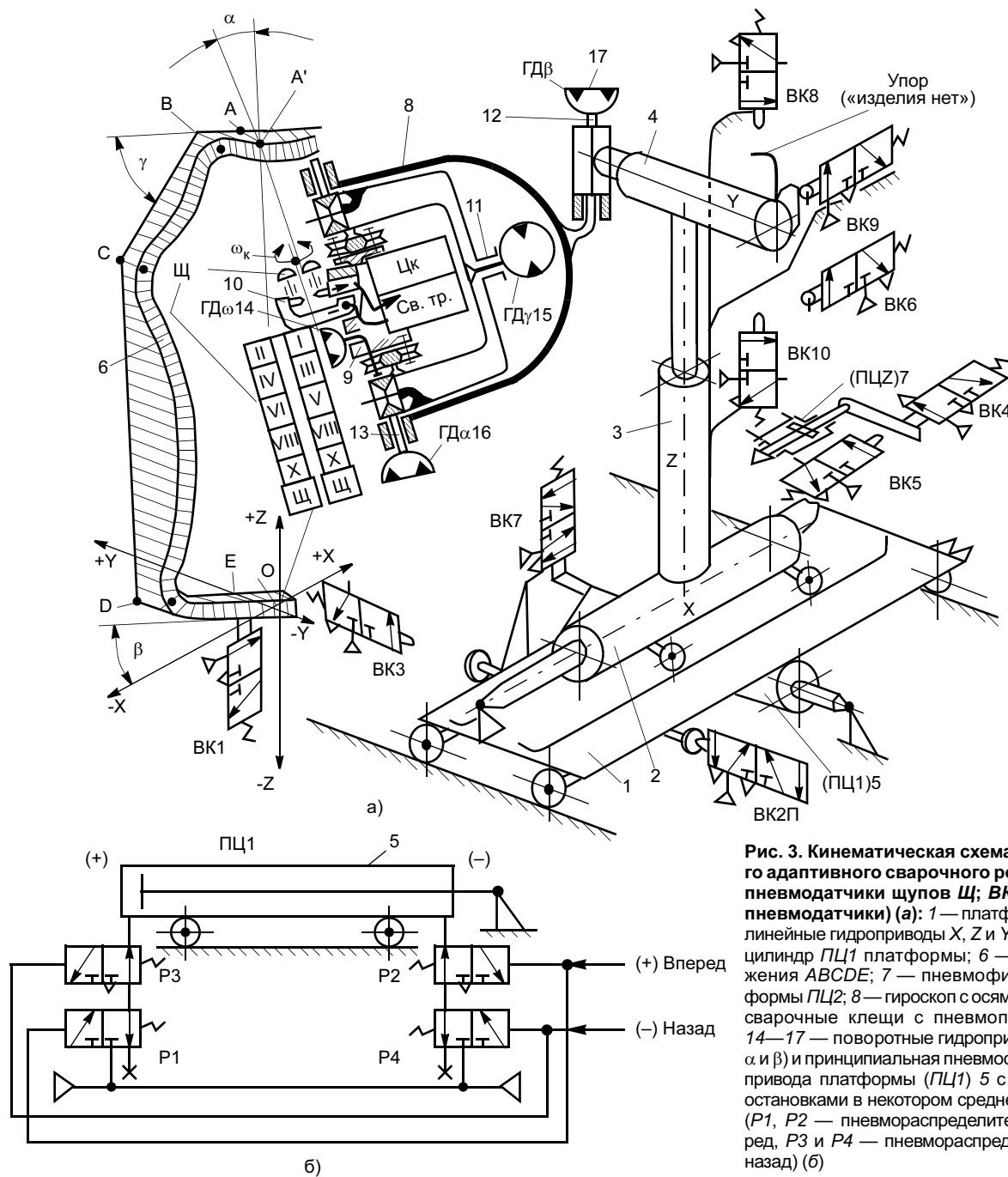


Рис. 3. Кинематическая схема консольного адаптивного сварочного робота (1...X — пневмодатчики щупов Щ; ВК — путевые пневмодатчики) (а): 1 — платформа; 2—4 — линейные гидроприводы X, Z и Y; 5 — пневмоцилиндр ПЦ1 платформы; 6 — контур слежения ABCDE; 7 — пневмофиксатор платформы ПЦ2; 8 — гироскоп с осями 9—13; 10 — сварочные клещи с пневмоприводом Цк; 14—17 — поворотные гидроприводы ГД (ω , γ , α и β) и принципиальная пневмосхема пневмопривода платформы (ПЦ1) 5 с управлением остановками в некотором среднем положении (P1, P2 — пневмораспределители хода вперед, P3 и P4 — пневмораспределители хода назад) (б)

ного вектора становится то меридианально-широтным, то широтно-меридианальным. Виртуальный анализ 16-ти фазовых состояний "чистого вращения" главной гироскопической оси показал, что это свойство сохраняется во всех фазах, лишь происходит рокировка доминантности гидроприводов при постоянстве дополнительного привода (в плоскости XOZ — это Y , в плоскости XOY — Z). Совместная работа (см. рис. 1, 2) трех взаимно перпендикулярных линейных гидроприводов в обеспечении подачи рабочего органа при простой контурной и глобулярной системах управления доминантным, дополнительным и приводом-корректором в плоскостях XOZ и ZOY отражена данными табл. 1 и 2 соответственно.

Следует отметить, что виртуальный анализ дифференциальных приращений доминантных и дополнительных скоростей по 16-ти фазам показал, что привод-корректор должен быть переменным: при меридианальных нутациях — X , при широтных прецессиях — Z в плоскости XOZ , а в плоскости XOY — соответственно X и Y .

Альтернативность работы блоков щупов при отработке детерминированных геометрических возмущений

К детерминированным отнесены контурные повороты траектории "на ребро" отбортовки (рис. 4, по углу γ) и при изгибе кромки отбортовки ленты

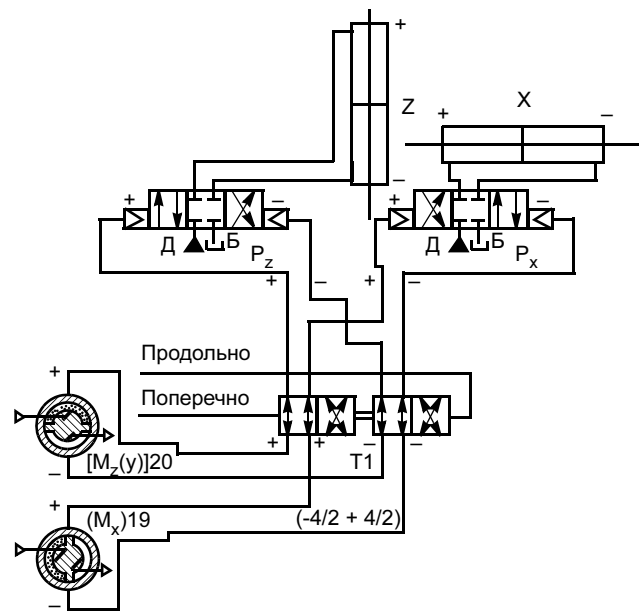


Рис. 4. Двухзначный тандем золотников (-4/2 +4/2) управления взаимно перпендикулярными гидроцилиндрами X и Z ($(M_x)19$, $[M_z(y)]20$ — пневмомуфты-датчики знака хода гидроцилиндров, P_x, P_z — пневмогидрораспределители 4/3 с закрытым центром)

(по углам α и β), заранее заданными и обусловленными конструкцией фланцевого соединения.

Независимо от пространственного положения плоскости сварочных клещей рассогласование пар пневмодатчиков блоков щупов происходит альтер-

Таблица 1

Фазовый интервал поворотов осей гироскопа на угол	Линейный гидропривод			Привод-корректор	Склонение хода рабочего органа
	Доминантный		Дополнительный		
	X	Z			
Простой плоский контур без отклонений от плоскостей декартова пространства					
$\gamma \pm 360^\circ$	X или Z		—	—	На ребро отбортовки по углу γ
Плоский пространственный и глобулярный контур "сфера"					
$\alpha \pm 45^\circ$	—	Z	Y	X	Изгиб α , меридианально
$\beta \pm 45^\circ$	X	—	Y	Z	Изгиб β , широтно

Таблица 2

Фазовый интервал поворотов осей гироскопа на угол	Линейный гидропривод			Привод-корректор	Склонение хода рабочего органа
	Доминантный		Дополнительный		
	X	Y			
Простой плоский контур без отклонений от плоскостей декартова пространства					
$\gamma \pm 360^\circ$	X или Y		—	—	На ребро отбортовки по углу γ
Плоский пространственный и глобулярный контур "лодка"					
$\alpha \pm 45^\circ$	—	Y	Z	X	Меридианально, слежение по шпангоуту ("килевая качка")
$\beta' \pm 45^\circ$	X	—	Z	Y	Псевдоширотное, слежение по стрингеру ("бортовая качка")

нативно. При подъеме траектории (перемещающийся впереди предохранительный щуп дает команду на отвод инструмента от траектории слежения и одновременно на поворот главной гироскопической оси 11 (см. рис. 3) на угол $\pm \gamma$ или при спуске щуп как при контурном, так и глобулярном слежении "проваливается", а перемещающийся сзади щуп остается включенным. Рассогласование устранивается несколькими ходами назад-вперед с одновременными поворотами на угол $\pm \gamma$.

Альтернативно реагирует система управления по сигналам от пневмодатчиков-щупов и при перемене установочной поперечной подачи на следящую продольную (медленные подачи) и с продольной следящей на быструю подачу "назад" от траектории: или меридианальная, или широтная подача в зависимости от фазового состояния гироскопа. Эта же взаимосвязь выполняется и при поисковых подачах "назад-вперед" при смене координаты траектории слежения.

Реакции на случайные (вероятностные) геометрические возмущения и возможность повышения производительности адаптивного робота

Одним из важнейших свойств адаптации робота к возмущениям, связанным с "плаванием" точки окончания-начала элементарных операций в одном полуцикле (четном или нечетном), является предотвращение опасного сближения технологического инструмента с изделием. При установочной подаче клещей поперечно к траектории слежения щупы, перемещающиеся несколько впереди клещей, сигнализируют об опасном сближении с кромкой ребра отбортовки фланцевого соединения. Нужно быстро сместить инструмент в направлении, противоположном рабочей подаче, но при установочной подаче скорость, хотя и доминантная, заранее уменьшена до скорости следящей технологической подачи, чтобы щупы могли успеть дать сигнал опасности. А перпендикулярная установочной дополнительная скорость, совпадающая с направлением рабочей подачи, пропорциональна синусной малой скорости — дополнительной. Ее переключение назад для отдергивания не годится, лучше автоматически мгновенно переключиться на быструю скорость в направлении, противоположном рабочей подаче.

Для плоскости XOZ это возможно при "заимствовании" в плоскости XOY быстрой доминантной скорости, когда фазовое состояние гидрорезольверов одинаково для обеих плоскостей (их векторные градиенты одни и те же), но в направлении антиударного отдергивания инструмента теперь скорость косинусная доминантная, а установочная подача приобрела дополнительную малую синус-

ную величину. К тому же в это же мгновение схема переключается с малой (технологической) скорости на быструю маршевую холостого хода. Доминантность скорости и ее резко возросшая величина для холостого хода и создают эффект антиударного перемещения технологического инструмента.

При этом щупы выравниваются до номинального положения и мгновенно возвращают гидросхему в первоначальное состояние из плоскости XOY в плоскость XOZ . Это свойство позволяет поддерживать минимально возможный зазор (например при сварке толщин $(0,8 + 0,8)$ мм) между электродами, что влияет на частоту сварок (например, у точечной сварочной машины МТ-1613 в паспорте записано: скорость — 300 сварок в минуту при работе с зазором между электродами 10 мм). Производительность роботов с программным управлением при сварке толщин $(1 + 1)$ мм не более 60 точек в минуту, а у адаптивного робота частота сварок сравнима с частотой хода швейной машины.

Непрерывность минимизации непараллельности главной гироскопической оси и нормали технологического инструмента при глобулярном слежении

При простом и пространственном плоском контурном слежении главная ось гироскопа "чистого вращения" перпендикулярна плоскости контура траектории слежения и является как бы осью флюгера, мысок которого есть точка смыкания электродов у сварочных клещей робота.

При глобулярном слежении у флюгера (клещей) обнаруживается своя собственная ось — вращения клещей (см. рис. 3, поз. 9), проходящая через мысок флюгера (точку смыкания электродов) и перпендикулярная главной гироскопической оси 11.

Вслед за изгибом кромки отбортовки поворачивается касательная этого изгиба, а вслед за ней и нормаль технологического инструмента. Происходит рассогласование параллельности главной гироскопической оси и нормали инструмента на некоторый угол. Когда главная гироскопическая ось начнет "чистое вращение" при встрече с координатным поворотом траектории слежения, мысок флюгера может уйти от нее по углу рассогласования далеко над или под траекторию, и щупы при поисковых ходах (назад-вперед) окажутся за пределами собственной чувствительности. Необходимо *непрерывная минимизация рассогласования* параллельности главной гироскопической оси и нормали технологического инструмента. Такое условие выполняется поступательным *догоняющим* манипулированием главной гироскопической осью то прецессиями, то нутациями двух других гироскопических осей. Происходит это по командам четырехлинейной пневмомуфты-дат-

чика (М_ок)18 (рис. 3 и 6) на оси 9 манипулирования нормалью технологического инструмента (как "скольжение" ротора асинхронного электродвигателя за вращающимся магнитным полем) (см. рис. 3).

Блоки соосных золотников в пневмогидравлической системе управления

Помимо одиночных пневмоклапанов 3/2 и 4/2 в логической пневмоавтоматике системы управления адаптивным роботом использованы соосные золотниковые пневмоаппараты под общим названием "распределительный двузначный тандем золотников с логической функцией "то..., то"⁵. Таких тандемов два: (-4/2 +4/2) и (-3/2 +3/2).

Функция "то..., то" означает, что тандем (-4/2 +4/2) может управлять то одним, то другим гидрораспределителем двух взаимно перпендикулярных гидроприводов, а также двумя одновременно. На рис. 4 показана часть пневмосхемы управления линейными гидроприводами, где пневмомуфты [Mz(y)] 20 и (Mx) 19 через тандем T1 производят управление гидроцилиндрами X и Z то командой "Поперечно", то — "Продольно". На рис. 5 показано прямое подключение тандема T2 (-3/2 +3/2) к двум пневмомуфтам [Mαy(z)] 22 и [Mβy(z)] 23 для корректировочных ходов третьего гидропривода Y то в меридианальном (показано), то широтном направлениях через тандем T2, управляемый задающей пневмо-

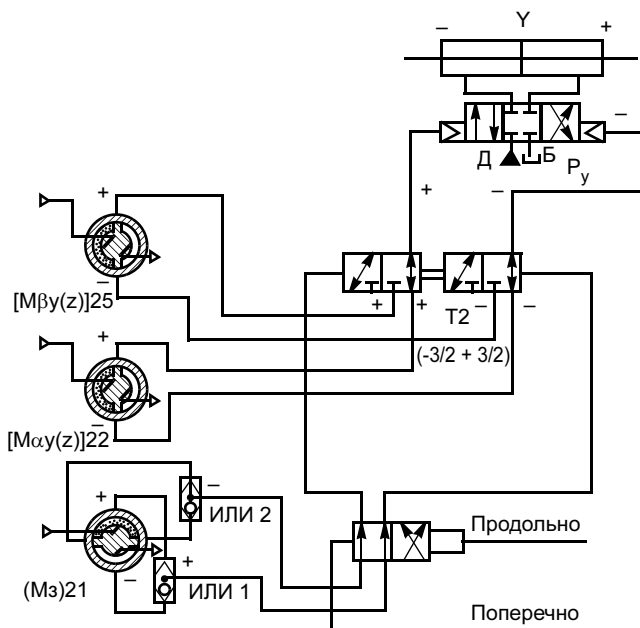


Рис. 5. Двузначный тандем золотников типа (-3/2 +3/2) прямого подключения управления одним цилиндром Y ((Mз)21, [Mαy(z)]22, [Mβy(z)]23 — пневмомуфты-датчики знака хода гидроцилиндра, P_y — пневмогидрораспределитель 4/3 с закрытым центром)

⁵ Патент 2251029 (РФ).

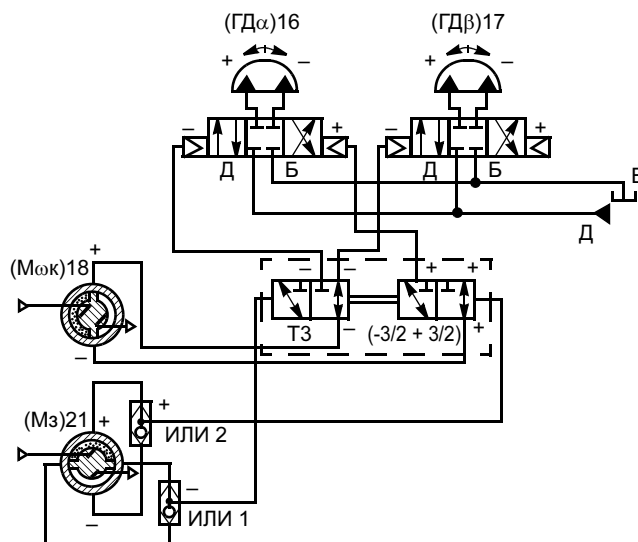


Рис. 6. Двузначный тандем золотников типа (-3/2 +3/2) обратного подключения, управляющий догоняющими поступательными поворотами главной гироскопической оси то приводом (ГД_α)16, то приводом (ГД_β)17 ((M_ок) — пневмомуфта-датчик, задающая склонения осей гироскопа то меридиональных нутаций, то широтных прецессий)

муфтой Mз21 в зависимости от фазового состояния осей гироскопа. Тот же тандем (-3/2 +3/2) при обратном подключении может, как тандем (-4/2 +4/2), управлять поочередно то одним, то другим поворотным гидроприводом ГД_α 16 и ГД_β 17 (см. рис. 3, 6) гироскопа, например, для догоняющих манипуляций главной гироскопической осью. Переключение тандема T3 производится той же пневмомуфтой Mз21, а к одинарным его входам подключена пневмомуфта Mоκ 18 с оси 9.

Схемы с такими разнозначными тандемами существенно упростились и позволяют визуально проследить за логическими переключениями приводов в разных фазовых состояниях гироскопа. В отличие от них применены и другие соосные золотники пневмоклапанов, индифферентных к знаку подключения типа (4/2xn) и (3/2xn), где, подобно реле в электроавтоматике, имеющему несколько блок-контактов, одновременно работают n соосных золотников.

Двухтактный пневмогидравлический импульсный насос

Одиночные пневмогидромultiпликаторы широко применяют в качестве пневмогидропривода сжатия сварочных клещей для точечной контактной сварки. Оснащенные генератором пневмоимпульсов, они находят применение для автоматизации смены штамповой оснастки (соединения частей рейферных механизмов штамповочных автоматических линий). Однако их работа напоминает работу храпового механизма, недостатком которого являются пики подъема и спада высокого гидро-

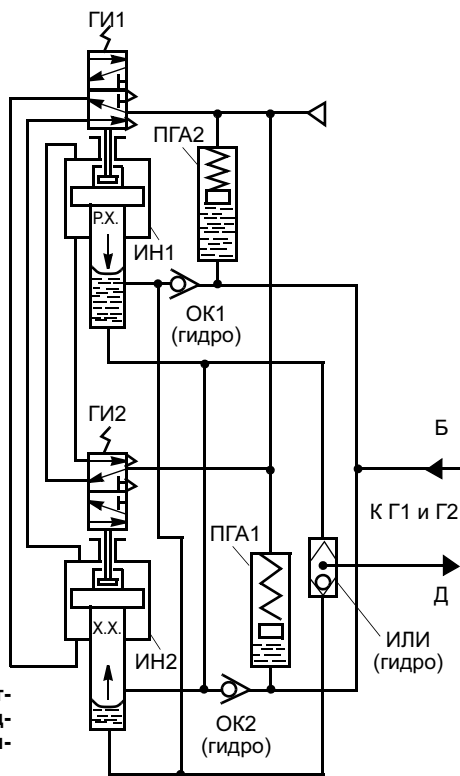


Рис. 7. Двухтактный пневмогидравлический импульсный насос

давления. Встречно-параллельная схема двух таких блоков (пневмогидромultiпликатора с пневмогидроаккумулятором), выполненная по аналогии с тиристорным контактором, обеспечивает перемещение гидромеханизма без видимой пульсации и пиков гидродавления. На рис. 7 приведена схема двухтактного насоса. Из схемы следует, что рабочий ход (р. х.) в ИН1 и холостой (х. х.) в ИН2 начинаются с подачи сжатого воздуха в генераторы импульсов ГИ1 и ГИ2 одновременно. Первый такт — подача высокого гидродавления от ИН1 через клапан "ИЛИ" (гидро) в линию Д замкнутой гидросхемы. Одновременно из линии Б идет всасывание в ПГА2 (пневмогидроаккумулятор), и, когда откроется линия клапана ОК2, происходит всасывание в колбу высокого давления ИН2. По окончании встречных ходов (рабочего и холостого) слив ИН1 и ИН2 меняются на противоположные, обеспечивая непрерывность импульсов (120 в мин) без пиков давления.

В заключение следует отметить, что локальные принципиальные пневмо- и гидросхемы системы, содержащие незапатентованные оригинальные решения, относятся к ноу-хау и могут быть переданы лицензиату при уступке ему пакета патентов на разработку "Адаптивный пневмогидравлический робот".

ВЫВОДЫ

1. Пневмогидравлическая система управления по надежности не уступает электроавтоматике, но дешевле.

2. Система управления содержит три типа датчиков: путевые пневмодатчики 3/2, пневмомуфты-датчики по типу пневмомуфт на поворотных многопозиционных столах агрегатных металлорежущих станков, а также гидравлические парные датчики — синусно-косинусные гидрорезольверы.

3. Гидрорезольверы выполняют двоякую функцию: интегральную, делающую инвариантной систему стабилизации суммарного вектора скорости рабочего органа, и дифференциальную, разделяющую векторы скоростей двух взаимно перпендикулярных линейных гидроприводов на доминантный (пропорционально косинусу) и дополнительный (пропорционально синусу) угла поворота золотника гидрорезольвера.

4. Система управления способна обрабатывать детерминированные и вероятностные геометрические возмущения, отклоняющие траекторию слежения от номинального пространственного положения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евреинов Э. В., Бутыльский Ю. Т. Цифровая и вычислительная техника / Под ред. Э. В. Евреинова. М.: Радио и связь, 1991. 464 с.
2. Управляющие системы промышленных роботов (автоматические манипуляторы и робототехнические системы). М.: Машиностроение, 1984. 288 с.
3. Альбом "Промышленные роботы в машиностроении" / Под ред. Ю. М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 1987. 140 с.
4. Зенченко В. П., Крейнин Г. В. Воздух управляет автоматами. М.: Изд. АН СССР, 1963.
5. Новиньков Н. Н. Новый патенточистый адаптивный пневмогидравлический сварочный робот // Сварочное производство. 2005. № 7. С. 41—48.

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".

УДК 621.791:061.2/4

2-я Уральская конференция "Сварка — реновация — триботехника"

В феврале 2007 г. В УГТУ-УПИ (Нижний Тагил) состоялась отчетная конференция "Сварка — реновация — триботехника", в работе которой приняли участие 54 представителя 22, преимущественно уральских, предприятий, научных и учебных учреждений. Были заслушаны 27 докладов. На конференции также присутствовали специалисты служб главного механика и заводских лабораторий.

Доклад д-ра техн. наук В. П. Ерофеева (Челябинск) был посвящен уточнению расчетов концентрации напряжений и повышению точности прогнозирования выносливости и остаточного ресурса сварных соединений. Канд. техн. наук А. М. Февойский ("Инженерный технический сервис", Екатеринбург) и С. П. Ананьев (ЦНИТМАШ, Москва) осветили преимущества сварочных полуавтоматов нового поколения на транзисторной и тиристорной базах. Главный сварщик Нижне-Тагильского завода металлоконструкций В. В. Пичурин рассказал об опыте перехода производства на инверторные сварочные полуавтоматы и о полученной технической и экономической выгоде.

Представители уральской научной школы наплавки — д-р техн. наук М. А. Филиппов, канд. техн. наук А. Н. Балин, канд. техн. наук Н. М. Разиков — сделали интересные доклады о совершенствовании наплавочных материалов. Рост цен на легирующие элементы в последние 5 лет происходил неравномерно. Причем широко используемые в наплавочных материалах добавки Ni, Mo и других металлов увеличились в цене больше других. Чтобы не допустить резкого удорожания наплавочных проволок и электродов, были разработаны новые составы на основе легирующих элементов с умеренным уровнем цен. Лабораторные и промышленные испытания показали их высокую конкурентоспособность. При этом было отмечено, что росту их продаж во многом мешает бытующее предубеждение, что "западное все же лучше" и другие факторы субъективного характера.

На кафедре сварки РГППУ для ОАО "Уралмаш" ведется разработка электродов для наплавки алюминиевой бронзы. Трудности, возникающие при

этом, общеизвестны, но они успешно преодолены с применением анализа физико-химических процессов по методике кафедры сварки УГТУ-УПИ — тема доклада Л. Т. Плаксиной (Екатеринбург).

Вопросы реновации — восстановления изношенных деталей — в последние два десятилетия приобрели новое значение. Если раньше восстановление рассматривали как дешевый выход при нехватке запчастей, то в настоящее время это обязательная ступень в жизненном цикле изделий. В апреле 2005 г. Европарламент вынес запрет на отправку в развивающиеся страны списанных танкеров для переплава. Теперь их надлежит разбирать на части, которые после восстановления будут использоваться по прямому или альтернативному назначению. Таким образом, реновация стала частью государственной политики.

С докладами по данной теме выступили представители горно-металлургических и малых инновационных предприятий. Так, в Богословском рудоуправлении (доклад инж. Е. Н. Скулкина) внедрена наплавка колес шахтных вагонеток новой проволокой Нп-18Х2Г2, что снизило объем закупаемых колес с 1200 до 300 шт. в год. С помощью ООО "Композит" (Н. Тагил) проведены работы по восстановлению выработавших свой срок шахтных подъемных и погрузочно-доставочных машин. На Челябинском трубопрокатном заводе удалось без привлечения дорогостоящего западного подрядчика выполнить ремонт импортного дробемета из стали 110Г13.

Мастер-технолог ООО "Композит" Ю. К. Смирнов рассказал о 12-летнем опыте реновационных работ на Качканарском ГОКе. Было отмечено, что впервые в отрасли удалось выполнить наплавку 100-тонных валов из трудносвариваемой стали 34ХН2М, замену лопаток в сварных роторах эксгаустеров без термической обработки, заварку трещины в днище земснаряда и др. При этом стоимость большинства реновационных работ составила 10—30 % цены на новые изделия.

Зам. директора ООО "Композит" канд. техн. наук И. Д. Михайлов доложил о достигнутом за 15 лет

прогрессе в области наплавки деталей гидрооборудования: плунжеров насосов и прессов, цилиндров гидропрессов, внутренних поверхностей в корпусах насосов и клапанных коробках — в отдельных случаях срок службы увеличился до 10 раз.

Были представлены также доклады об эффективном восстановлении с повышением износостойкости приводов прокатных станов, валков листоправильной машины, бойков радиально-ковочной машины.

Одной из главных причин увеличения импорта техники является отставание отечественной машиностроительной продукции в части износостойкости и сроков безремонтной эксплуатации. В докладе зам. гл. сварщика ФГУП "Уралвагонзавод" Б. Л. Головизина сообщается о создании в 2003 г. на заводе бюро триботехники. За прошедшее время применение наплавки обеспечило повышение гарантированного пробега автосцепок до западного уровня.

Завершены испытания буртов подпятников вагонной тележки, упрочненных плазменной закалкой. После шести базовых пробегов они сохранились исправными, не достигнув предельного износа, об этом сообщается в докладе зам. начальника промышленно-экспериментального цеха В. В. Козлова.

Большой интерес вызвал доклад ведущего инженера корпорации ВСМПО-АВИСМА Л. В. Постылякова о каталитическом азотировании, с помощью которого расход прессового инструмента был сокращен втрое.

О лазерных технологиях поверхностного упрочнения доложил канд. техн. наук А. М. Чирков (предприятие "Лазерные технологии", г. Киров). На предыдущей конференции его заинтересовало сообщение о проблеме устранения дефектов в донных частях газовых баллонов на Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ). Для решения данной проблемы предлагается применять лазерное оплавление. После проведения отчетной конференции будет решаться вопрос о внедрении этой технологии в производство ПНТЗ.

Канд. техн. наук С. А. Ильиных (Институт металлургии РАН, Екатеринбург) информировал о сотрудничестве уральских и белорусских ученых в области напыления и плазменной закалки.

На конференции были отмечены работы, обеспечившие существенный вклад в модернизацию отечественных предприятий, внедрение высоких технологий.

В. А. Коротков, д-р техн. наук
(НТИ УГТУ-УПИ)

УДК 621.791:061.2/4

12-я Международная специализированная выставка "Металлэкспо—2006"

14—17 ноября 2006 г. в Москве на ВВЦ прошла 12-я Международная специализированная выставка "Металлэкспо". В ней приняли участие более 700 экспонентов из России и многих стран мира. Ниже приведено краткое описание технологического оборудования, демонстрировавшегося на выставке и вызвавшего интерес у специалистов.

Компания "Рэлтэк" (Екатеринбург) предложила потребителям:

— *универсальную закалочную установку УИНЗ-160-10,0* для закалки наружных и внутренних гладких, зубчатых, шлицевых и ступенчатых поверхностей машиностроительных деталей

типа вал, вал-шестерня, шестерня, зубчатое колесо и т. п. Закалка деталей производится непрерывно-последовательным способом, сканированием индуктором поверхности термообрабатываемой детали. Для равномерной закалки всей поверхности деталь вращается вокруг своей оси. Установки УИНЗ выпускают вертикального и горизонтального сканирования. Для изделий длиной до 3 м применяют установки вертикального сканирования, а более 3 м — горизонтального сканирования. В состав установки входят тиристорный преобразователь частоты и закалочный станок, в котором предусмотрены механизм перемещения закалочного трансформато-

ра с индуктором вдоль оси детали и механизм вращения детали вокруг своей оси. Привод механизмов обеспечивает плавное изменение скорости подачи и вращения. Блок компенсирующих конденсаторов компенсирует реактивную мощность. Двухконтурная станция охлаждения обеспечивает охлаждение элементов тиристорного преобразователя и блока конденсаторов дистиллированной водой (для исключения электрохимической коррозии). Пульт управления установкой оснащен приборами измерения и индикации режимов закалки. Мощность источника питания 160 кВт, напряжение питающей цепи 380 В, температура нагрева под закалку

900—1100 °С. Размеры закаливаемых деталей типа вал: диаметр — 15—250 мм, длина — 100—1200 мм. Частота вращения детали вокруг своей оси 100 мин⁻¹. Габаритные размеры установки 5000 × 3200 × 2470 мм;

— установку УИНП-30-66 для напайки твердосплавных пластин к режущим кромкам дисковых фрез и пил, сверл и резцов. Напайка производится без нарушения структуры материала нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Возможно использование для ТВЧ-обработки поверхностей деталей, высокочастотной пайки (сварки) тонкостенных труб и профилей, ТВЧ-обработки проволоки и тонкой ленты. В состав установки входят полупроводниковый генератор высокой частоты с цифровой системой регулирования параметров режима нагрева, приспособление быстрого крепления и подачи инструмента в зону нагрева, телескопический упор из огнеупорного материала, педаль для включения и выключения нагрева, пирометрическая система измерения и регулировки температуры в зоне нагрева. Время единичного цикла пайки 5—30 с, потребляемая мощность 30 кВт, КПД генератора 95 %, расход охлаждающей воды при температуре 20 °С составляет 0,8 м³/ч. Габаритные размеры установки 1300 × 700 × 1300 мм, масса 300 кг. Установки УИНП применяются для замены громоздких и морально устаревших ламповых и электромашинных генераторов.

ОАО "Уральское производственное предприятие "Вектор" (Екатеринбург) продемонстрировало на выставке аппарат МПУ-103-УЗ для ручной воздушно-плазменной резки черных и цветных металлов, коррозионно-стойких сталей толщиной 0,2—25 мм. Аппарат состоит из источника питания, плазменного резака, наборов сопел и электро-

дов в количестве 25 шт. каждый, кабелей для подключения плазменного резака длиной до 20 м и для заземления — длиной 10 м. Длина шланга для подачи воздуха 6 м. Питающее напряжение аппарата 380 В, плазмообразующий газ — воздух, охлаждение плазменного резака и источника питания — воздушно-принудительное, потребляемая мощность 12 кВт, расход сжатого воздуха при работе до 9 м³/ч. Габаритные размеры 840 × 576 × 912 мм, масса 140 кг, масса резака 0,2 кг.

Инженерно-технический центр ЗАО "КЕМЕТ" (Санкт-Петербург) предложил потребителям оборудование для переработки металлической стружки:

— *измельчитель металлической стружки KB49* (рис. 1) для измельчения длинной витой стружки за счет трения витков друг о друга, без резания или ударов, что позволяет расходовать минимум энергии при очень небольшом износе рабочих частей. Стружку дробят перед осушением в центрифуге и брикетированием. Измельчитель перерабатывает стружку из углеродистой, легированной, коррозионно-стойкой сталей, латуни, алюминиевых и титановых сплавов. Дробилка

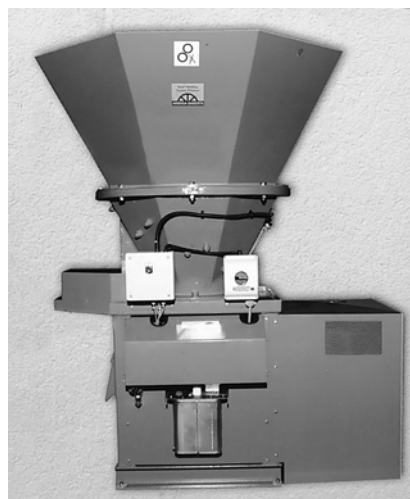


Рис. 1. Измельчитель металлической стружки KB49

загружается периодически ковшем или постоянно конвейером. В отличие от молотковых дробилок такая дробилка работает с большими скрученными мотками стружки. Производительность дробилки 5—8 т/ч, мощность привода 37 кВт, масса 6,5 т;

— *горизонтальную центрифугу HD100*, также предназначенную для переработки стружки. Она работает следующим образом. Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) и стружка разделяются в горизонтально подвешенном барабане, где СОЖ отводится через клиновой решетчатый экран. Все компоненты центрифуги доступны. Очистка барабана занимает 5—6 мин, что гораздо меньше по сравнению с другими центрифугами, у которых на это требуется 3—4 ч. Опорожнение центрифуги в автоматическом режиме после каждого технологического цикла позволяет легко чистить ее для последующей обработки стружки из другого материала. Производительность центрифуги: по стальной стружке — 4—6 т/ч, алюминиевой — 900—1500 кг/ч, чугунной — 3—5 т/ч. Мощность привода 18,5 кВт.

Компания "ТермоТехно" (Москва) продемонстрировала *анализатор металлов ARL 3460* для проведения быстрого и точного анализа металлов, укомплектованный системой автоматизации SMS-2000 и работающий в автоматическом режиме, без участия оператора. Манипулятор перемещает пробу из автомата подготовки проб в штативе спектрометра и выполняет требуемое число измерений. Чистка электрода, регистрация проб, измерение контрольных и установочных проб, сдвиг проб между измерениями и передача полученных результатов измерений выполняются по заданной программе. Анализатор работает при температуре окружающей среды 16—30 °С при от-

носительной влажности до 80 %. Питающее напряжение анализатора 220 В, потребляемая мощность 3,5 кВт, габаритные размеры 1665 × 910 × 1190 мм, масса 450 кг.

ОАО "АвтоВАЗ" (Тольятти) предложило потребителям следующие разработки:

— *автоматизированную установку* для плазменной наплавки жаростойких сплавов на основе железа, никеля или кобальта на рабочую фаску выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания. Она состоит из наплавочного блока, работающего в автоматическом режиме, и систем загрузки, выгрузки, подачи газов и охлаждения. Применение технологии плазменной наплавки порошковыми сплавами позволяет сократить расход наплавляемого материала и снизить припуски под последующую механическую обработку. Наплавка модулированным током существенно повышает устойчивость процесса и качество наплавляемых слоев;

— *магнитно-импульсную установку* для сварки, формовки, сборки, резки, опрессовки и редуцирования тонкостенных трубчатых деталей любых диаметров с толщиной стенки 0,5—5 мм. Возможна качественная сварка трубчатых деталей из однородных или разнородных материалов, плохо свариваемых или не свариваемых традиционными способами сварки (Al + Al, Al + Cu, Al + Fe, Cu + Fe и др.). Производительность установки 2—20 циклов/мин, удельные затраты энергии при сварке 20—30 Дж/мм², питающее напряжение установки 380 или 220 В;

— *ультразвуковую установку* для деформационного упрочнения деталей и инструмента. После обработки на установке повышается усталостная и ударно-циклическая прочность в 2—5 раз, контактная выносливость деталей и инструмента — в 2—4 раза, износостойкость и задири-

стойкость — 1,5—2 раза. При этом экономия дорогостоящих сталей и сплавов увеличивается в 2—3 раза;

— *переносную установку УДКС-605* в комплекте с автоматическим загрузчиком для присоединения дугоконтактной сваркой болтов, шпилек или штифтов к различным деталям с толщиной стенки 0,6 мм и более. Установка обеспечивает быструю и надежную сварку крепежных элементов. Система управления источником питания, выполненная на базе микроконтроллера, позволяет управлять дополнительными устройствами (автоматическим загрузчиком, клапаном газа), обеспечивает динамическое авторегулирование тока и энергии сварки, индикацию фактических значений тока, напряжения и времени сварки. Питающее напряжение установки 380 В, диапазон регулирования сварочного тока 100—800 А. Производительность установки при приварке болтов 25 шт./мин, длина кабеля сварочного пистолета 3 м. Габаритные размеры: источника питания — 610 × 350 × 320 мм, загрузчика — 720 × 560 × 310 мм; масса сварочного пистолета 4,1 кг. Автоматический загрузчик рассчитан на использование приварных болтов диаметром 3—8 мм и длиной 10—30 мм. Применение автоматического загрузчика позволяет повысить производительность сварки и обеспечивает возможность использования установки в составе автоматической сварочной линии.

Промышленная группа "Дюкон" (Москва) продемонстрировала на выставке шлифовальные станки, разработанные за рубежом:

— *бесцентровый двухголовочный станок 128D*, разработанный в Италии (рис. 2), для труб (прутка) круглого и прямоугольного сечения и полосовых заготовок. На станке выполняют обдирку, шлифовку при правиль-

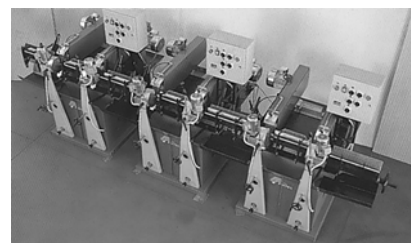


Рис. 2. Технологическая линия — станки 128D для шлифования длинномерных труб

ном подборе последовательности шлифовальных лент нужной зернистости, а также полировку заготовок круглого сечения диаметром 10—150 мм, массой до 20 кг. Заготовку поддерживает регулируемая по высоте V-образная направляющая со щетками. Производительность станка 700 м³/ч на каждую обрабатываемую головку. Каждая шлифовальная головка оснащена контактным колесом, на которое надевается абразивный ремень, прижимное приводное колесо и поддерживающий ролик. Ролик устанавливается близко к контактному колесу, поддерживает заготовку и толкает ее в сторону прижимного колеса. Для работы с трубами диаметром 10—25 мм используется поддерживающий ролик диаметром 12 мм, при диаметре трубы 25—60 мм — ролик диаметром 20 мм. При попадании трубы или прутка в рабочую зону станка они начинают быстро вращаться вслед за движением абразивного ремня. Приводное прижимное колесо балансирует контактное колесо, снижая высокую частоту вращения заготовки, а также толкает трубу (пруток) в направлении, нужном для обработки. Мощность привода станка 3,3 кВт, размер шлифовальной ленты 2000 × 75 мм. Длина обрабатываемых труб 150—2000 мм, масса — до 20 кг. Габаритные размеры станка 1500 × 1460 × 1480 мм, масса 250 кг;

— *станок-полуавтомат SG 150K*, разработанный в Германии,

для шлифовки полосовых металлических заготовок шириной 300 мм и труб прямоугольного сечения одной абразивной лентой. Он оборудован небольшим конвейером, работающим с регулируемой скоростью 1—10 м/мин. Местонахождение шлифовальной головки также регулируется по высоте. Подача СОЖ осуществляется обрезиненными роликами. Натяжение шлифовального ремня размером 150 × 2000 мм осуществляется специальными пружинами. Мощность приводного двигателя станка 4 кВт, питающее напряжение 400 В, габаритные размеры 1200 × 900 × 1900 мм, масса 650 кг.

Фирма MF Metalforme (Москва) продемонстрировала на выставке технологическую линию ALPI-ESA (рис. 3) с ЧПУ для резки, прошивки и штамповки рулонированных материалов. Такая линия полностью заменяет традиционную прошивную установку, линию поперечной резки, установку плазменной резки. Так как процесс обработки начинается непосредственно с рулона, из технологического процесса исключается операция раскроя листа, а также операции загрузки и выгрузки заготовок — все эти операции выполняются машиной в автоматическом режиме. На рабочую головку можно установить до шести инструментов. Машина оснащена высокоскоростной автоматической системой смены инструмента в рабочей головке, управляемой ЧПУ (операция смены инст-



Рис. 3. Технологическая линия ALPI-ESA



Рис. 4. Машина BAS 210

румента занимает примерно 1 с). Каждый из шести инструментов имеет возможность поворота на 360°, также контролируемого с помощью ЧПУ. Использование специального профилирующего инструмента позволяет выполнять маркировку заготовок, вытяжку деталей, формирование ребер и профильных кромок, а также разметку осей для последующей гибки. Питающее напряжение технологической линии 380 В, потребляемая мощность 6 кВт, толщина обрабатываемого металлического листа 2 мм, габаритные размеры технологической линии 1900 × 1500 × 2100 мм, масса 3,5 т.

Компания "Вебер Ко Механикс" (Москва) предложила потребителям машины контактной стыковой и рельефной сварки, разработанные в Германии:

— машину BAS 210 стыковой контактной сварки оплавлением (рис. 4) для производства сварных ленточных пил по дереву, биметаллических и легированных ленточных пил по металлу, ленточных ножей по текстилю, коже, поролону и т. п. Машина обеспе-

чивает стабильное качество воспроизведения параметров сварки, отжига и, как следствие, сварного шва; высокую производительность; контроль всех параметров сварки и отжига. На машине изготавливают ленточные пилы: по металлу — шириной 35—105 мм, толщиной 0,90—1,65 мм; по дереву — шириной 35—206 мм, толщиной 0,4—1,6 мм; из коррозионно-стойкой стали — шириной 30—80 мм, толщиной 0,6 мм; ленточных ножей — шириной 40—120 мм, толщиной 0,6—1,3 мм. Мощность привода машины при ПВ 50 % составляет 70 кВт. Габаритные размеры машины в упаковке 1350 × 900 × 1600 мм, масса 620 кг;

— координатный промышленный робот (ПР) точечной и рельефной сварки в кондукторах CSR 302 (рис. 5) для производства плоских и объемных сварных конструкций из проволоки и листового металла (коррозионно-стойкой стали и алюминиевых сплавов). Поворотный стол ПР обеспечивает непрерывность сварочных работ за счет одновременно осуществляемых операций сварки на одной стороне стола и укладки заготовок в кондуктор на другой стороне. Модульная конструкция ПР позволяет легко адаптировать его под новые задачи. ПР оснащен 512 сварочными программами. ЧПУ SINUMERIK на базе 32-битного чипа обеспечивает перемещения сварочной головки с точностью ±0,2 мм. Максималь-

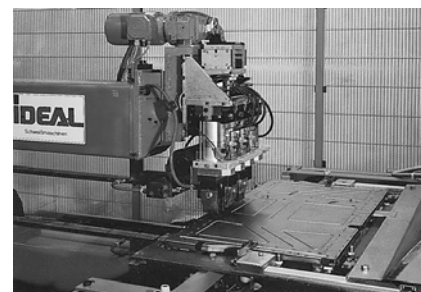


Рис. 5. Координатный промышленный робот точечной и рельефной сварки в кондукторах CSR 302

ные размеры: высота обрабатываемого изделия 400 мм, длина — 2000 мм, ширина — 1000 мм. Робот оснащен тремя сварочными головками с углом поворота $\pm 90^\circ$. Максимальный сварочный ток 45 кА при ПВ = 15 %. Сварочное усилие пневмоцилиндра 5 кН.

Компания Innov-Xsys (США) предложила специалистам *анализатор металлов Alpha Series* для подтверждения марки, проверки и водного контроля металлов. Анализатор оснащен рентгеновской трубкой, являющейся источником возбуждения и детектором высокого разрешения. Управление осуществляется с

помощью портативного компьютера HPiPAQ. Анализатор менее чем за 2 с идентифицирует коррозионно-стойкую и низколегированную стали, сплавы на основе титана, никеля, кобальта, меди и др. Анализирует также неровные и горячие металлические поверхности; измеряет труднодоступные места, изгибы труб, угловые сварные швы, фланцы, припои. Такой анализатор может работать в жестких производственных условиях. Миниатюрная трубка с противоударным креплением обеспечивает надежность прибора при эксплуатации. Включение и выключение анали-

затора производится триггером, расположенным на ручке. Время работы аккумуляторов 8 ч. Он оснащен цветным сенсорным дисплеем высокого разрешения, обеспечивающим четкое представление результатов при любых условиях освещения. Масса анализатора вместе с аккумулятором 1,6 кг. Анализатор переносится в удобной поясной сумке-кобуре.

Выставка вызвала большой интерес у специалистов. В ее рамках были организованы "круглые столы", презентации и научные конференции.

А. Н. ИВАНОВ, инж.



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РАСКРОЯ МЕТАЛЛА



EWM HIGHTEC® WELDING
ПРОСТО ЛУЧШЕ



TELWIN



DALEX



ELMATECH AG
electronics machines technologies

Оборудование для дуговых способов сварки

Установки для контактной сварки

Установки для плазменной резки



KOIKE

Машины для термической резки



Mazak
Your Partner for Innovation

Машины для лазерной резки

Разработка комплексных решений для Вашего производства. Демонстрационные залы. Лизинг

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

Ждем Вас на WWW.DUKON.RU

Публикуется на правах рекламы

Перечень сокращений и условных обозначений в области сварки и родственных технологий

AAC [CAC-A] air carbon arc cutting воздушно-дуговая резка угольным электродом	activated inert-gas tungsten-arc welding сварка вольфрамовым электродом в инертном газе по слою активирующего флюса [активатора] (А-ТИГ)	CAW-S shielded carbon arc welding дуговая сварка угольным электродом с применением флюса
AAS atomic absorption spectrometry атомно-абсорбционная спектрометрия	ATW aluminothermic welding термитная [алюмотермическая] сварка (ТС)	CAW-T twin carbon arc welding сварка независимой угольной дугой
AAW air acetylene welding ацетилено-воздушная сварка [газовая сварка ацетилено-воздушным пламенем]	AW arc welding дуговая сварка	CCW counter-clock wise против часовой стрелки
ABW arc braze welding дуговая сварка-пайка	AWS American Welding Society Американское общество сварщиков	CDS continuous detonation spraying непрерывное детонационное напыление
ABWS adaptive butt welding system система слежения за стыком	BB block brazing пайка высокотемпературная нагретыми блоками	CEN European Committee for Standardization Европейский комитет по стандартизации
AC alternating current переменный ток	bcc body centered cubic объемно-центрированный кубический (о кристаллической решетке)	CESC centrifugal electroslag casting центробежное электрошлаковое литье (ЦЭШЛ)
AC arc cutting дуговая резка	BESA British Engineering Standards Association Британская ассоциация технических стандартов	CEV carbon equivalent value углеродный эквивалент
ADC analog-to digital converter аналого-цифровой преобразователь (АЦП)	BMAW bare metal arc welding дуговая сварка плавящимся электродом	CEW coextrusion welding сварка совместным прессованием
AESC American Engineering Standards Committee Американский комитет технических стандартов	BSI British Standards Institute Британский институт стандартов	CGHAZ coarse-grained heat-affected zone крупнозернистая зона термического влияния
AHW atomic hydrogen welding атомно-водородная сварка	BW braze welding сварка-пайка	CIM computer-integrated manufacturing комплексное автоматизированное производство
AME (USA) Association for Manufacturing Excellence Ассоциация перспективных промышленных технологий (США)	B.W.R.A. British Welding Research Association Британская ассоциация по исследованиям в области сварки	CMT cold metal transfer перенос холодного металла (ПХМ)
A-MIG activated inert-gas metal-arc welding сварка плавящимся (металлическим) электродом в инертном газе по слою активирующего флюса [активатора] (А-МИГ)	CAB controlled atmosphere brazing пайка высокотемпературная в контролируемой атмосфере	CNC computer numerical control числовое программное управление (ЧПУ)
ANB (IIW) Authorised National Body (IIW) Уполномоченный национальный орган (МИС)	CABW carbon arc braze welding дуговая сварка-пайка угольным электродом	COD crack opening displacement раскрытие трещины
ANS American National Standard Американский национальный стандарт	CAC carbon arc cutting дуговая резка угольным электродом	CRT cathode-ray tube электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)
ANSI American National Standards Institute Американский национальный институт стандартов	CAC-A [AAC] air carbon arc cutting воздушно-дуговая резка угольным электродом	CS cross section поперечное сечение
AOC arc-oxygen cutting кислородно-дуговая резка	CAD computer-aided design автоматизированное проектирование	СТА cold finished annealed (metal) холоднотянутый и отожженный (металл)
APS air plasma spraying воздушно-плазменное распыление	CADS computer-aided design system система автоматизированного проектирования (САПр)	CTOD crack tip opening displacement раскрытие в вершине трещины
ASA American Standards Association Американская ассоциация стандартов	CAM computer-aided manufacturing автоматизированное производство	CVD chemical vapor deposition химическое осаждение из паровой фазы
ASP arc spraying process электродуговое напыление, электродуговая металлизация [электрометаллизация]	CAW carbon arc welding дуговая сварка угольным электродом	CV-GMAW constant voltage gas metal arc welding дуговая сварка плавящимся (металлическим) электродом в защитном газе с постоянным напряжением
ASR arc-slag remelting дуго-шлаковый переплав (ДШП)	CAW-G [GCAW] gas carbon arc welding дуговая сварка угольным электродом в защитном газе	CW clockwise по часовой стрелке
A-TIG		CWI (IIW) certified welding inspector сертифицированный контролер сварочного участка (МИС)

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 75, N 4, 2006, Япония)

Ueyama T., Ohnawa T. Высокоскоростная импульсная дуговая сварка плавящимися электродами в тандем тонколистовой стали. Р. 6.

Специальный выпуск НОВЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Kuroishi T., Ohnawa T. Система мониторинга и контроля направляемыми волнами. Р. 8—12.

Sugimoto S. et al. Применение микрокомпьютерной томографии в исследованиях и разработках перспективных композиционных материалов для аэрокосмической техники. Р. 13—17.

Baba H. et al. Обслуживание сварных конструкций с учетом степени риска. Р. 22—25.

Kasuya T. Методики определения температуры предварительного нагрева для решения проблем трещинообразования. Р. 26—31.

Miyasaka F. Разработка моделей сварочных процессов для различных соединений. Р. 32—35.

QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 24, N 2, 2006, Япония)

Tashiro S. et al. Физические свойства плазмы, содержащей пары металла, при дуговой сварке вольфрамовым электродом в гелии. Р. 143—148.

Naito Ya. et al. Рассмотрение характеристик проплавления, механизма предупреждения пористости и потоков в жидкой ванне в процессе гибридной лазерно-дуговой сварки. Р. 149—161.

Oku K. et al. Остаточные напряжения, образующиеся при сварке оплавлением катаных сталей двутаврового профиля, и их особенности. Р. 162—167.

Nishikawa H. et al. Современное применение крупномасштабного метода конечных элементов для анализа механических задач при сварке. Р. 168—173.

Ishikawa T. et al. Свойства соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием коррозионно-стойкой аустенитной стали. Р. 174—180.

Sakakibara N. et al. Разработка высококачественного термического напыления с помощью контролируемой защитной плазмы. Р. 181—186.

¹ 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).

Новые процессы соединения без высокого нагрева

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (An. LVIII, N 3, 2006, Италия)

Magnasko M. Расходуемые материалы для дуговой сварки сталей, эксплуатирующихся при низких температурах. Р. 357—366.

Pezone A., Villosio G.-P. Новейшие технологии процессов сварки — современное состояние и тенденции повышения производительности и надежности. Р. 369—373.

Missori S., Sili A. Новейшая технология лазерной сварки для планировки листового проката. Р. 375—386.

Marconi G. P. et al. Передовая методика определения остаточных напряжений при сварке — рентгеноструктурный анализ. Примеры применения на подвесных кронштейнах. Р. 389—394.

Atzori B. et al. Новый расчетный метод оценки усталостной долговечности угловых сварных соединений конструкционной стали. Р. 395—401.

Wissling M. Методы расчета клеевых соединений, выполненных гибридными лучами и используемых в автомобильной и авиационной промышленности. Р. 403—412.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 8, 2006, Германия)

Bach F.-W. et al. Способы снижения внутренних напряжений плоских паяных соединений в микросистемной технике. Р. 398—407.

Wesling V. et al. Характеристики вибрационной прочности сплавов ковкого алюминия, полученных высокочастотной сваркой. С. 408—411. СИ 06.05.378.

Обзор литературы "Сварка и родственные технологии". С. 412—418.

Термическое напыление — присадочные материалы и области применения в котлостроении. С. 412.

Улучшение свойств деталей путем наплавки сплавов, упрочненных твердыми материалами при различном содержании твердых материалов. С. 412.

Термическое напыление в свете времени. С. 412.

Безопасность процесса термического напыления на примерах. С. 412.

Термическое напыление покрытия — примеры применения. С. 414.

Разработка и испытание новых сопел для плазменного напыления в атмосфере. С. 414.

Производительная 2D-лазерная резка. С. 414.

Поведение сварных соединений высокожаропрочных 9%-ных хромистых сталей при длительной нагрузке. С. 416.

МАГ-сварка специальных высокопрочных строительных сталей порошковой проволокой. С. 417.

Свариваемость и сварка чугуновых материалов. С. 417.

при ремонте чугуновых деталей. С. 417.

Вопросы и ответы по стандарту DIN EN ISO 15614-1:2004 "Требования и аттестация способов сварки". S. 420—421.

Стандарт по аттестации сварщиков. S. 421—425.

SUDURA

(Vol. XVI, N 4, 2006, Румыния)

Miclosi V. Металлургические аспекты, касающиеся диапазона достоверности аттестации сварочных технологий в зависимости от толщины материала согласно стандарту ISO 15614:2004. P. 5—16.

Thomas W. M. et al. Переходные соединения в разнородных материалах. P. 17—21.

Rusan T., Safta V. Влияние термической обработки после сварки на свойства ЗТВ твердого раствора трехкомпонентного суперсплава на основе Ni—Cr—Co. P. 30—37.

Simler H. et al. Большой потенциал применения плазменно-дуговой резки с жесткими размерными допусками. Ч. 3. P. 38—39.

Jungling R., Titze M. Твердая наплавка сваркой трамвайных рельсов с нанесением износостойких слоев. P. 41—43.

WELDING AND CUTTING (N 4, 2006, Германия)

Weigert J. Производство упрочненных волоками поршней дизельных двигателей с помощью электронно-лучевой сварки. P. 190—191.

KINETIKS — следующее поколение установок для холодного напыления. P. 192—193.

Keimig B. Роботизированная сварка плавящимся электродом в инертном газе автоматически включаемых поворотных систем защиты, изготовленных из алюминия. P. 198—200.

Woollin P. et al. Коррозионная усталость сварных коррозионно-стойких сталей, применяемых для глубоководных подъемников. P. 204—209.

Dilthey U. Модификация электрошлакового процесса открывает новые возможности наплавки. P. 215—220.

Galloway A., McPherson N. Влияние состава защитного газа на удержание азота в металле шва аустенитной коррозионно-стойкой стали 316LN. P. 225—230.

Siebert M., Schlimmer M. Процесс надежного клеевого соединения круглых штекерных узлов, изготовленных из металлических материалов в любых производственных условиях. P. 231—236.

ZVARANIE — SVAROVANI

(Roc. 53, N 4, 2006, Словакия)

Juhas P. Стандартные допуски по поперечным сечениям сварных конструкций. S. 97—103.

Kalna K. Определение диапазона и частоты процедур контроля и техобслуживания на основании риска разрушения. S. 104—109.

Eckhardt E., Zatko M. Оптический метод наблюдения с помощью индентора (TIV). S. 111—113.

реклама

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА

ФОРСАЖ

INVERTER

НА ТОК

125A 160A 250A 315A 500A

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

производим поставку оборудования, аттестованного НАКС

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РЯЗАНСКИЙ
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД



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

ТЕХНОЛОГИЯ XXI
сварки века



Публикуется на правах рекламы

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

Способ сварки трением с перемешиванием и устройством для его осуществления. 1. *Способ сварки трением* с перемешиванием с комбинированным жидкостно-газовым охлаждением места сварки. Отличается тем, что охлаждающую жидкость из перемещающегося вместе с инструментом охлаждающего кольца распыливают ограниченно по месту в тыльной зоне и смежных с инструментом боковых зонах места сварки, дополнительно осуществляют газовое охлаждение с использованием перемещающегося вместе с инструментом газового сопла, при этом обдувают охлаждающим газом спереди инструмент и поступающую из охлаждающего кольца охлаждающую жидкость. 2. *Устройство для сварки трением* с перемешиванием с комбинированным жидкостно-газовым охлаждением содержит инструмент и средство жидкостного охлаждения места сварки. Отличается тем, что оно снабжено средством газового охлаждения в виде сопла, средство жидкостного охлаждения выполнено в виде охлаждающего кольца или незамкнутого охлаждающего кольца, снабженного соплами для подачи охлаждающей жидкости, окружающего инструмент и перемещающегося совместно с ним, при этом сопла расположены на охлаждающем кольце с возможностью локального опрыскивания охлаждающей жидкостью тыльной зоны и смежных боковых зон инструмента. 2270083 (С2). Г. Шегльманн (DE), Ф. Пальм (DE), К. Ретхер (DE). "ЭАДС Дойчланд ГмБХ" (DE). [5].

Способ пайки изделий, например, теплообменных аппаратов, с использованием ванны с расплавом солей и предварительно нанесенным припоем на паяемую поверхность. Отличается тем, что для улучшения герметичности пайки и упрощения процесса нагрева под пайку и обеспечения визуального контроля изделие помещают над ванной с расплавом солей, нагретых до температуры, превышающей температуру плавления припоя. 201008 (A1). И. И. Осипов, А. В. Барсуков, В. И. Харитонов и др.

Способ пайки изделий в вакууме путем бомбардировки паяемой поверхности электрически заряженными частицами. Отличается тем, что для повышения качества паяных соединений при пайке активных тугоплавких металлов без предварительной очистки паяемой поверхности пайку осуществляют путем бомбардировки паяемой поверхности ионами газов. 245524 (A1). Б. Г. Соколов, А. С. Ронжин, Г. Ф. Заборонок и др. [5].

* 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; У1 — свидетельство РФ на полезную модель.

Устройство для лучевой пайки содержит камеру с узлом крепления и вращения размещаемого на ней изделия и иллюминатором. Отличается тем, что для повышения качества изделия за счет обеспечения равномерного нагрева камера снабжена подвижной заслонкой, смонтированной в направляющих у иллюминатора и обеспечивающей частичную защиту изделия от воздействия луча при нагреве зоны изделия, перемещающихся с малой линейной скоростью, а оси поворота нагревателя и изделия расположены у края иллюминатора. 247025 (A1). О. Л. Анисимов, А. В. Барсуков, А. М. Дмитриев и др. [5].

Способ пайки металлов, преимущественно деталей летательных аппаратов из титана и его сплавов, с предварительной металлизацией соединяемых поверхностей, при котором детали помещают в нагревательную среду. Отличается тем, что для повышения качества соединения в нагревательную среду вводят ультразвуковые колебания. 211289 (A1). Г. И. Воронин, В. И. Слотин, Г. И. Эскин, Б. С. Зарецкий. [5].

Способ сварки алюминия и его сплавов со сталью, преимущественно аргонодуговой, с нанесением промежуточного слоя алюминия на стальную деталь. Отличается тем, что для повышения качества и обеспечения вакуумной плотности при закреплении стальных цилиндрических деталей в отверстиях изделий из алюминия и его сплавов промежуточный слой на стальную деталь наносят путем трения ее об алюминиевую заготовку, причем стальную деталь предварительно обрабатывают до чистоты не ниже шестого класса. 260769 (A1). А. В. Барсуков, Ю. П. Данилов, В. М. Дробчик и др. [5].

Способ изготовления пластинчатых теплообменников с гофрированной вставкой, при котором две противоположные кромки пластин собирают "в замок", а затем осуществляют неразъемное соединение пластин с гофрированной вставкой и оплавление замкового соединения. Отличается тем, что для повышения производительности за счет диффузионной сварки пакета пластин между последними по периметру располагают металлческие вставки, высота которых соответствует расстоянию между пластинами и которые приваривают к собранному "в замок" кромкам во время их оплавления. 356901 (A1). И. И. Осипов, А. Г. Польшанский, А. В. Ревякин, В. С. Тарасов. [5].

Способ сварки рельсовых стыков включает установку рельсов с зазором между свариваемыми кромками, введение внутрь зазора плавящегося электрода и сварку с применением форм, установленных у места сварки, при токе, обеспечивающем образование жидкой ванны во всем объеме зазора. Отличается тем, что предварительно осуществляют механическую обработку кромок рельсов или кромки одного из рельсов, включающую выполнение поперечного разреза по вертикальной плоскости от головки до начала подошвы рельса, выполнение горизонтального разреза по торцевой поверхности рельса перпендикулярно ранее произведенному разрезу и снятие на торцевой поверхности подошвы фаски с притуплением у основания подошвы рельса, а образование жидкой ванны в корне шва осуществляют расплавлени-

ем кромок основного металла рельсов. 2270739 (С1). Г. Г. Воробьев (RU). ФГУП ВНИИЖТ МПС России (RU). [6].

Универсальный сварочный генератор содержит статор с первой трехфазной обмоткой, выполненной с возможностью соединения в "звезду" или в "треугольник" и связанной с нагрузкой через первый трехфазный силовой выпрямитель, вторую трехфазную обмотку, второй трехфазный силовой выпрямитель, обмотку возбуждения, ротор, трансформатор тока и переключатель. Отличается тем, что вторая трехфазная обмотка статора соединена в "треугольник" и связана с нагрузкой через второй силовой выпрямитель, переключатель выполнен с возможностью обеспечения переключения первой обмотки статора с "треугольника" на "звезду" и подключения ко второй обмотке статора, одна фаза второй трехфазной обмотки соединена с первичной обмоткой трансформатора тока, обе обмотки статора электрически не связаны между собой до переключателя, однополюсные выходы силовых выпрямителей связаны через переключатель между собой, выход "минус" первого силового выпрямителя связан через переключатель непосредственно с нагрузкой, а выход "плюс" связан через переключатель с выходом "минус" второго силового выпрямителя. 2270740 (С1). А. П. Гришко (RU). [6].

Способ сварки взрывом включает установку заряда взрывчатого вещества (ВВ) на верхней поверхности метаемого листа, инициирование заряда ВВ и соударение метаемого листа под действием взрыва с неподвижным листом. Отличается тем, что вдоль боковой поверхности неподвижного листа на линии, совпадающей с на-

правлением волны детонации, рядами, по крайней мере в одной обойме из изоляционного материала, на заданном расстоянии друг от друга устанавливают стержневые датчики, выполненные высотой, увеличивающейся в направлении, перпендикулярном направлению волны детонации, с возможностью контактирования их концов с метаемым листом при инициировании заряда ВВ, фиксируют импульсы, возникающие при контактировании метаемого листа с концами датчиков для определения угла соударения свариваемых листов, скорости перемещения точки контакта метаемого листа с неподвижным листом и скорости полета метаемого листа. 2270741 (С1). О. Б. Дреннов (RU), О. А. Бурцева (RU), В. Ф. Герасименко (RU) и др. ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ" (RU). [6].

Способ получения композиционного стале-алюминиевого переходника сваркой взрывом включает последовательную сварку взрывом стального плакируемого листа с двумя плакируемыми листами из алюминия. Отличается тем, что плакируемый стальной лист предварительно хромируют до получения по всей поверхности слоя толщиной 0,03—0,07 мм, а при приварке первого плакирующего листа заряд помещают в закрытый контейнер, разделенный в направлении фронта детонации на отдельные прямоугольные секции шириной не более двух высот заряда. 2270742 (С1). В. И. Кузьмин (RU), В. И. Лысак (RU), А. Н. Кривенцов (RU), О. В. Строков (RU), ВолгГТУ (RU). [6].

Н. Посметная

ШТОРМ **ИНЖЕНЕРНЫЙ**
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ**
СЕРВИС

СВАРКА И РЕЗКА

- Выпрямители
- Трансформаторы
- Полуавтоматы сварочные
- Установки для аргонодуговой сварки
- Установки для плазменной резки
- Плазмотроны
- Газорезательные машины
- Машины для контактной сварки
- Расходные материалы
- Сварочная проволока
- Электроды

НПФ «Шторм-ИТС»
Россия, 620062, г. Екатеринбург,
пр. Ленина, 85, оф. 330
624090, Свердловская область,
г. Верхняя Пышма, ул. Бажова, 28
Тел./факс: (343) 372-73-50, 263-77-13, (-16), (-17)
www.shtorm-its.ru, e-mail: office@shtorm-its.ru

- ГАРАНТИЙНЫЙ РЕМОНТ
- СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
- ОСНОВНОЙ АССОРТИМЕНТ
В НАЛИЧИИ НА СКЛАДЕ

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791.75.01

Методика расчета параметров режима дуговой сварки толстых листов встык двусторонними швами. Попков А. М. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 3—4.

Предложена методика расчета параметров режима дуговой сварки толстых листов встык двусторонними швами. На основе принципа суперпозиции получено уравнение для определения погонной энергии сварки. Используя полученные данные, определяют (при необходимости) режимы сварки. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.791.75.03—52

Двухмостовой сварочный выпрямитель с однофазным многообмоточным трансформатором. Сахно Л. И., Федоров П. Д., Сахно О. И. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 4—10.

Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой трансформаторов для двухмостовых сварочных выпрямителей. Вторичные обмотки трансформаторов разбиты на несколько секций, что приводит к необходимости расчета многообмоточных трансформаторов. Приведена новая схема замещения многообмоточного трансформатора, на основе которой исследовано влияние вариантов соединения вторичных обмоток трансформатора выпрямителя на устойчивость горения дуги. Табл. 3. Ил. 8. Библиогр. 4.

УДК 621.791.763.1

Обеспечение качества контактной точечной сварки за счет стабилизации вторичного тока при износе сварочных электродов. Климов А. С., Герасимов А. А., Анциборов А. Н., Гончаров М. С. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 10—13.

Предложен способ компенсации износа сварочных электродов в системах автоматического управления контактной точечной сваркой со стабилизацией тока во вторичном контуре. При этом учитывается изменение электрического сопротивления сварочного участка и условий теплоотвода в электроды. В качестве параметра обратной связи предложено использовать длительность включенного состояния тиристоров. Приведен пример реализации способа на универсальной сварочной машине. Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 621.791:621.795.4

Влияние легирующих элементов в стальной проволоке на структуру и свойства покрытий при электродуговом напылении. Константинов В. М., Губанов А. С. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 13—18.

Проведен анализ влияния различных легирующих элементов в стальной проволоке на структурообразование и свойства покрытий при электродуговом напылении. Установлено, что бор и алюминий, введенные в стальную проволоку диффузионным способом, значительно повышают свойства покрытий. Для получения покрытий повышенной и высокой твердости предложено использовать сплавы систем Fe—C—B, Fe—B, Fe—Cr—B, Fe—C—Cr, Fe—Al—B, повышенной прочности сцепления — систем Fe—Al, Fe—B, Ni—Al. Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 13.

УДК 621.792.053

Клеи и клеящие материалы для изделий авиационной техники. Лукина Н. Ф., Аниховская Л. И., Дементьева Л. А. и др. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 19—27.

Рассмотрены основные свойства и области применения клеев конструкционного назначения, композиционных материалов на основе клеящих матриц стекло- и угленаполнителей, алюмополимерных композиционных материалов класса "СИАЛ", клеев специального назначения, самоклеящихся материалов на основе алюминиевой фольги. Приме-

нение клеев для изготовления сотовых и слоистых силовых конструкций из металлов и полимерных композиционных материалов обеспечивает их высокие прочностные и деформационные свойства, вибро- и трещиностойкость при снижении трудоемкости изготовления. Табл. 12.

УДК 621.791.72+621.791.92

Применение электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении. Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О., Кровяков К. С. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 27—30.

Изложены результаты практического применения научных исследований в межвузовской лаборатории электронно-лучевой технологии АлтГТУ им. И. И. Ползунова в области электронно-лучевых технологий в вакууме применительно к сварным соединениям и защитным покрытиям на различных деталях и узлах форсированных дизелей специального назначения. Ил. 7. Библиогр. 11.

УДК 621.701.07

Низкотемпературная пайка узлов радиоэлектронной аппаратуры сфокусированным световым лучом. Бажанов А. В., Федоров С. А., Пронин Н. С., Фролов В. А. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 31—35.

Работа посвящена методическим и техническим вопросам применения светолучевого нагрева для пайки радиоэлектронной аппаратуры. Проанализирован большой массив теоретических и экспериментальных данных в этой области. Показана перспективность применения светового луча для дальнейшего развития отечественного приборостроения. Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 9.

УДК 621.793.18

Получение несплошных износостойких покрытий в вакууме с применением формирующего сепаратора.

Матвеев Н. В. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 35—38.

Для разделения плазменного потока испаряемого в вакууме материала на элементарные струи, формирующие единичные участки несплошного износостойкого покрытия, предлагается использовать перфорированные ленты или тканые сетки из коррозионно-стойких сталей.

На основе экспериментальных исследований по технологичности изготовления и формоустойчивости при нагреве в вакууме показаны экономическая и технологическая перспективность применения тканых сеток. Приведены результаты экспериментов. Табл. 1. Библиогр. 9.

УДК 621.791.678.029.43:621.791

Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс. Волков С. С. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 38—43.

Показана специфика ультразвуковой сварки разнородных термопластов. Предложены технологические приемы, позволяющие компенсировать различия в акустических свойствах свариваемых материалов и тем самым получать качественные сварные соединения. Определены четыре стадии механизма образования сварных соединений при ультразвуковой сварке разнородных пластмасс. Экспериментально подтверждено, что одним из критериев свариваемости разнородных термопластов может быть их совместимость, оцениваемая плотностью и вязкостью расплава. Ил. 1. Библиогр. 8.

УДК 621.791.75.03—52:621.865.8

Пневмогидравлическая система управления промышленным адаптивным сварочным роботом. Новинков Н. Н. — Сварочное производство. 2007. № 5. С. 44—50.

Изложены концептуальные решения разработанной пневмогидравлической системы управления промышленными адаптивными роботами. Управление осуществляется за счет совместного действия линейных гидроприводов в пространственных векторных системах с рокировкой доминантной, дополнительной и корректирующей скоростей, со-

ставляющих суммарный вектор скорости рабочего органа неизменной величины в системе ее стабилизации при любых фазах кривизны траектории слежения. Описаны способы адаптации робота к детерминированным и вероятностным возмущениям положения изделия в декартовом пространстве робота. Табл. 2. Ил. 7. Библиогр. 5.

Abstracts of the articles published in "SVAROCHNOE PROIZVODSTVO", 2007, N 5

Parameters calculation procedure of the thick sheets double joint butt arc welding conditions. Popkov A. M. P. 3—4.

Thick sheets double joint butt arc welding conditions parameters calculation procedure is offered. An equation to determine welding rate of energy input is obtained on the base of superposition principle. Welding conditions are determined by findings, if necessary.

Two-bridge rectifier welder with single-phase multiwinding transformer. Sakhno L. I., Fiodorov P. D., Sakhno O. I. P. 4—10.

Issues on developing transformers for two-bridge rectifier welders are considered. Transformers secondary windings are divided into several sections, thus there arises necessity in designing multiwinding transformers. A new multiwinding transformers equivalent circuit is described; on its base effect of the rectifier welder transformer secondary windings modifications on the welding arc stability is studied.

Resistance spot welding quality guarantee due to secondary current regulation at welding electrode deterioration. Klimov A. S., Guerasimov A. A., Antsiborov A. N., Goncharov M. S. P. 10—13.

Compensation for welding electrodes deterioration in the automatic control system for the resistance spot welding with secondary tuned circuit current stabilization is suggested. Changes of the welding area electric resistance and of the electrode heat dissipation conditions are taken into consideration. It is suggested to use duration of the thyristor turned-on condition as a back-coupling parameter. Implementation of the technique is illustrated by an example of a universal welding machine.

Steel wire alloying elements effect on the coatings structures and properties at arc spraying. Konstantinov V. M., Gubanov A. S. P. 13—18.

Steel wire various alloying elements effect on the structure-formation and properties of coatings at arc spraying is dissected. It is established that boron and aluminium loaded into the steel wire diffusively significantly improve the properties of coating. In order to obtain coatings of higher and high hardness it is suggested to use alloys of Fe—C—B, Fe—B, Fe—Cr—B, Fe—C—Cr, Fe—Al—B systems, and of high bond resistance — Fe—Al, Fe—B, Ni—Al systems.

Adhesives and adhesive materials for the aeronautical engineering ware. Lukina N. F., Anikhovskaya L. I., Dementyeva L. A., Petrova A. P., Tyumeneva T. Yu. P. 19—27.

Main properties and application fields of structural adhesives, composite materials on the base of glass- and carbon fillers adhesive matrices, of class "СИАЛ" aluminium-polymeric composite materials, of special purpose adhesives, alfol-based self-adhesive materials are considered. Adhesives application, aimed at producing cellular and layer-built load-bearing units from metal and polymeric composite materials, ensures high mechanical and deformative properties, vibration and fracture

toughness, and decreasing production labour-output ratio at the same time.

Application practice of electron-beam welding, strengthening and building-up techniques in Diesel-engineering industry. Radchenko M. V., Radchenko B. G., Shevtsov Yu. O., Krovyakov K. S. P. 27—30.

Practical application effect of research activities carried out at the I. I. Polzounov AltSTU intercollege laboratory for electron-beam techniques in the field of vacuum electron-beam techniques as applied to welded joints and protective coatings of different parts and units for forced Diesel engines of special purpose is described.

Electronic units' subambient in-focus light beam soldering. Bazhanov A. V., Fiodorov S. A., Pronin N. S., Frolov V. A. P. 31—35.

Methodical and technical aspects of applying light beam heating to solder electronic units are covered. Great theoretical and experimental data array has been studied. It is shown that application of light beam is to forward further development of the domestic instrument-making industry.

Unfilled wear-resistant coatings vacuum production applying formative separator. Matveyev N. V. P. 35—38.

In order to divide plasma flow of the evaporated material into elementary jets, forming single spots of non-continuous antiwear coating it is suggested to use punched tape or gauze nets from rust-resisting steel.

Economical and technological availability of the gauze nets application is shown, basing on experimental investigation of manufacturability and stability of shape at heating up in vacuum. Experimental data is given.

Primary processes and features of heterogeneous plastics welding. Volkov S. S. P. 38—43.

Specific character of heterogeneous plastics supersonic welding is shown. Techniques enabling to compensate differences in acoustic properties of welded materials and hence to obtain high-grade welded joints are suggested. Four step of welded joint forming mechanism at heterogeneous plastics supersonic welding are determined. It is proved by experiment that one of the heterogeneous thermoplastics' weldability criterions must be their conformability, evaluated by melt density and viscosity.

Industrial adaptive welding robot pneumohydraulic control system. Novinkov N. N. P. 44—50.

Conceptual solutions for the developed industrial adaptive welding robot pneumohydraulic control system are given. Control is carried out due to linear hydraulic drives mutual action in vector space systems with lateral movement of dominant, auxiliary and amending velocities, forming sum vector of the constant end effector' velocity in the stabilizer system at any curvature stage of the curve tracking. Techniques of robot adaptation to determined and probabilistic perturbations of the product position in the Cartesian area of robot are described.

Обращение Союза работодателей машиностроения России к предприятиям и организациям машиностроительного комплекса РФ

Открытое письмо

Уважаемые машиностроители!

В экономике России настал исторический период, когда необходима незамедлительная консолидация потенциала машиностроительного комплекса России и всех властных структур. Пришло время, когда дискуссии по вопросам частно-государственного партнерства в промышленности должны перерасти в практические действия, направленные на развитие отечественного машиностроения — базовой отрасли российской экономики.

Союз работодателей машиностроения России полагает, что главная цель частно-государственного партнерства, созданного в интересах развития отечественной промышленности в том, чтобы соединить интересы бизнеса, государства и гражданского общества в целом.

Союз работодателей машиностроения России имеет реальные возможности и инструменты для создания такого партнерства, которое, по нашему мнению, необходимо выстраивать профессионально, методически продуманно и обоснованно.

Сегодня позиция государства обозначена готовностью к активному взаимодействию с бизнесом для скорейшего обеспечения современного уровня эффективности и конкурентоспособности отечественных производителей. Соответственно, потенциал российских машиностроителей необходимо консолидировать и продемонстрировать.

Мы полагаем, что делать это нужно не с позиции протеста или декларативного отстаивания собственной значимости, а на основе продуманных и обоснованных программ по развитию конкурентоспособной продукции, которая, в том числе, должна быть ориентирована на экспорт. Необходимы современные разработки наукоемкой продукции. Делать это следует через продуманную и обоснованную программу НИР и НИОКР, через активное участие в ведомственных и федеральных целевых программах.

Союз работодателей машиностроения России руководствуется в своей деятельности следующими базовыми принципами:

- российское машиностроение, его научно-технический и производственный потенциал необходимо информационно продвигать на рынке и в обществе: текущие возможности и перспективы отечественного машиностроения должны понимать все, в том числе молодежь с позиции позитивной перспективы решения кадровых проблем;
- технологическое перевооружение промышленных предприятий — важнейшая задача на пути развития конкурентоспособного машиностроения и ее решение требует продуманной методологии разработки и реализации таких программ;

- технологическое перевооружение должно осуществляться на основе серьезной модернизации самой идеологии производства. Необходим переход от "натурального хозяйства" к эффективным предприятиям, оптимизированным по производственным мощностям, с развитой системой производственной кооперации, активно использующим в своей деятельности передовые информационные технологии и базирующимся на системе менеджмента качества, отвечающей мировым стандартам;
- необходимо формирование региональных систем объединения научно-производственного потенциала предприятий и организаций, в том числе построенных на принципах кластера;
- осуществление партнерского взаимодействия участников СРМР с построением эффективной консолидированной деятельности по продвижению продукции и услуг на внутреннем и внешнем рынках;
- соблюдение принципов солидарности внутри Союза работодателей машиностроения России, что означает обеспечение эффективной защиты предприятий от недобросовестной конкуренции или действий, направленных на уничтожение предприятий через инициированное банкротство, рейдерство.

Принципиальная позиция Союза работодателей машиностроения России сформирована на базе исследований, которые были проведены Экспертным научно-техническим советом Союза. В результате была разработана стройная система комплексного решения задач на основе методик, обобщающих мировой опыт формирования эффективных производств. Причем, эта система в полной мере адаптирована под реальную ситуацию и специфику российских предприятий. В разработке принимали участие российские и зарубежные специализированные компании.

Потенциал Союза работодателей машиностроения России может и должен быть направлен на решение актуальных задач всей отрасли и отдельных предприятий машиностроения. Мы полагаем, что следует незамедлительно приступить к разработке комплексной программы развития машиностроения с максимальным использованием открывающихся возможностей частно-государственного партнерства.

Принято на заседании Правления СРМР 12.03.07, Москва.

Мы приглашаем все предприятия машиностроительного комплекса России, а также органы государственной власти всех уровней, профильные общественные организации, политические партии и движения к обсуждению Меморандума **"Конкурентоспособное машиностроение — основа кардинального увеличения темпов экономического развития России"**.

По всем вопросам, касающимся обсуждения и подписания Меморандума, просим обращаться к Наталии Юрьевне Александровой (тел.: +7 (495) 626 02 49, 626 02 89). <http://www.smr.ru/>

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 15.03.2007. Подписано в печать 23.04.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 10,04. Заказ 09/07.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

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