



Сварочное производство

1 (866)
Январь
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. Суслов
Корректор М. Г. Джавадян

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 78,
ОАО "Издательство "Машиностроение"
(для журнала "Сварочное производство").
Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;
редакция — (495) 682 3856.

Факс: (495) 687 6316.

Е-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

- | | |
|--|----|
| Кархин В. А., Левченко А. М., Хомич П. Н. — Методика ускоренного определе-
ния концентрации диффузионного водорода в наплавленном металле _____ | 3 |
| Дмитрик В. В., Ляпунов А. М. — Закономерности скольжения в структуре металла
шва сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей _____ | 7 |
| Гайтов Б. Х., Кашин Я. М. — Многофазный сварочный аппарат _____ | 11 |
| Царьков А. В., Раевский В. А. — Оптимизация режимов сварки трубных досок
теплообменных аппаратов методами компьютерного моделирования _____ | 15 |

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- | | |
|--|----|
| Фурман Е. Л., Горин М. В. — Влияние легирующих элементов на склонность
наплавленного металла к образованию горячих трещин _____ | 22 |
| Ананьев С. П., Коротков В. А., Головизнин Б. Л., Козлов В. В. — Совершенст-
вование технологий наплавки крановых колес _____ | 23 |
| Зенин В. В., Бокарев Д. И., Козинцев О. Г. — Устройство для дистанционной ре-
гистрации трещин в материалах и сварных швах _____ | 28 |
| Коротков В. А., Михайлов И. Д., Бабайлов Д. С. — Исследование наплавленного
слоя опорных роликов машин непрерывного литья заготовок _____ | 30 |
| Алпеева Т. В., Котельников А. А. — Роботизированное производство сварных
ферм для мачтовых сооружений _____ | 33 |
| Корольков П. М. — Современные методы термической обработки сварных
соединений магистральных нефтегазопроводов _____ | 36 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- | | |
|---|----|
| Агеева Н. Г. — Методология обеспечения конкурентных преимуществ предпри-
ятий авиастроения _____ | 41 |
|---|----|

ИНФОРМАЦИЯ

- | | |
|--|----|
| Суслов Ан. А. — 6-я Международная специализированная выставка
"РОССВАРКА/WELDEX — 2006" _____ | 45 |
|--|----|

БИБЛИОГРАФИЯ

- | | |
|--|----|
| Содержание зарубежных журналов по сварке _____ | 59 |
| Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства
и патенты СССР на изобретения в области сварки _____ | 60 |
| Рефераты опубликованных статей _____ | 63 |



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](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

- Karkhin V. A., Levchenko A. M., Khomich P. N.** — Experimental effective technique of diffusible hydrogen concentration accelerated determination in built-up metal ____ 3
- Dmitrik V. V., Lyapunov A. M.** — Slide mechanism in the weld metal structure of the thermal-stable pearlitic steel joints in the conditions of creepage _____ 7
- Gaytov B. Kh., Kashin Ya. M.** — Polyphase welding apparatus _____ 11
- Tsarkov A. V., Rayevsky V. A.** — Effective conditions specification for the heat-exchange apparatus tube plates welding by computer simulation _____ 15

PRODUCTION SECTION

- Furman Ye. L., Gorin M. V.** — Study of the alloying element effect on the weld metal tendency to the hot-crack formation _____ 22
- Ananyev S. P., Korotkov V. A., Goloviznin B. L., Kozlov V. V.** — Crane wheels deposition improvement _____ 23
- Zenin V. V., Bokarev D. I., Kozintsev O. G.** — Device for crack remote monitoring in materials and weld seams _____ 28
- Korotkov V. A., Mikhaylov I. D., Babaylov D. S.** — Rollers deposition study of blanks continuous casting machine _____ 30
- Alpeyeva T. V., Kotelnikov A. A.** — Welded girders robotic production for mast structures _____ 33
- Korolkov P. M.** — Advanced techniques of the main pipeline welded joints heat treatment _____ 36

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Ageeva N. G.** — Control of competitive advantages for the aircraft industry plants ____ 41

INFORMATION

- Suslov An. A.** — The 6th International specialized exhibition "ROSSVARKA/WEL-DEX'2006" _____ 45

BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding _____ 59
- RF patents**, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____ 60
- Abstracts** of the published articles _____ 64

УДК 621.791.92

**В. А. КАРХИН, д-р техн. наук, А. М. ЛЕВЧЕНКО, канд. техн. наук,
П. Н. ХОМИЧ, аспирант
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет**

Методика ускоренного определения концентрации диффузионного водорода в наплавленном металле

Одним из основных факторов образования холодных трещин при сварке стали является водород, источником которого при ручной дуговой сварке покрытыми электродами служат покрытие и стержень электрода, окружающий воздух, основной металл и загрязнения его поверхности.

Практически применяют два метода сбора и измерения диффузионного водорода [11]:

— водород, проходящий в виде пузырьков через слой жидкости (спирт, глицерин, масло), собирают и измеряют в колбе;

— водород собирают в предварительно вакуумированном пространстве известного объема, где определяют его количество, либо измеряя давление (вакуумный метод), либо проводят анализ состава газа (хроматографический метод) (ГОСТ 23338—91).

Практическим недостатком первого метода является большой разброс результатов (до 50 %) из-за высокой растворимости водорода в жидкости и чувствительности метода к физическим свойствам жидкости. Общим недостатком является неучет водорода, выделившегося из образца в промежуток времени от начала сварки до начала регистрации выделения водорода. Эта доля водорода не постоянна и зависит от сварочных материалов, условий сварки и времени последующей подготовки образца. Оценка этой доли представляет практический интерес. Например, при решении краевой задачи массопереноса в реальном сварном соединении необходимо знать начальное количество водорода в жидком металле ванны.

Вакуумный метод относительно прост и технически надежен. Недостаток — длительность испытания (5 сут.). Возникает вопрос: можно ли по начальному участку кривой выделения водорода из образца предсказать величину полного (предельного) объема диффузионного водорода? Положительный ответ позволил бы сократить время эксперимента и определить количество водорода, поступающего в сварное соединение.

Цель исследования — разработать расчетную методику ускоренного определения концентрации диффузионного водорода в наплавленном металле в течение ограниченного по времени эксперимента. Методика основана на решении обратной задачи массопереноса, которая в свою очередь использует решение прямой задачи диффузии водорода.

Решение прямой задачи диффузии водорода

При решении соответствующей задачи массопереноса для тела с наплавленным валиком на поверхности примем следующие допущения (рис. 1):

— тело имеет правильную форму параллелепипеда длиной L , шириной W и толщиной H ;

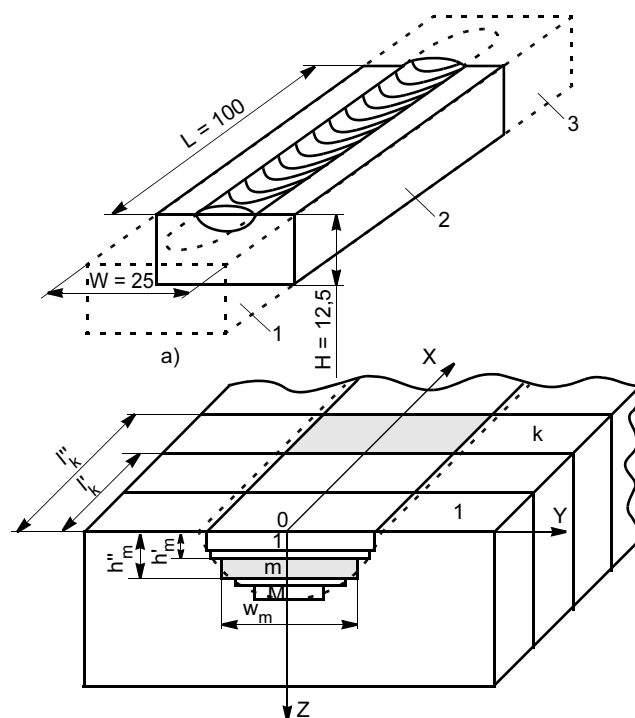


Рис. 1. Образец (а) и геометрическое представление шва продольными и поперечными слоями (б): 1, 3 — вводная и выводная планки; 2 — рабочая часть

— расчетный шов имеет плоскую поверхность, а его высота в продольных сечениях равна высоте реального шва (т. е. площади поперечного сечения расчетного и реального швов A_w равны);

— площадь поперечного сечения расчетного шва представима с достаточной точностью в виде набора M прямоугольников;

— шов выполняется короткими участками длиной $l_k'' - l_k'$, $1 \leq k \leq K$. Длина участка может быть связана с частотой переноса жидких капель с электрода в сварочную ванну. Момент выполнения k -го участка t_k определяется его положением на оси X ;

— водород поступает в тело через наплавляемый жидкий металл и сразу же равномерно распределяется по всей площади сечения шва A_w . При этом концентрация водорода в сечении шва увеличивается на C_0 ;

— до наплавки концентрация водорода в теле $C = 0$;

— концентрация водорода на поверхности тела $C = 0$ (согласно закону Сиверса при низкой растворимости водорода в теле и низком парциальном давлении водорода в газовой среде);

— весь водород растворен в кристаллической решетке и способен к диффузии;

— коэффициенты диффузии водорода в горячем (до принудительного охлаждения) D_h и холодном D образцах постоянны.

Наряду со шкалой реального времени Δt (за нуль принят момент начала регистрации выделившегося водорода) введем шкалу эквивалентного времени t (нуль — начало сварки рабочей части образца) (рис. 2). Эквивалентное время позволяет свести диффузионный процесс, проходящий при различной температуре, к диффузии при постоянной температуре [2]. При принятых допущениях связь эквивалентного времени t с реальным временем Δt имеет вид

$$t = t_0 + \Delta t \text{ при } \Delta t \geq 0,$$

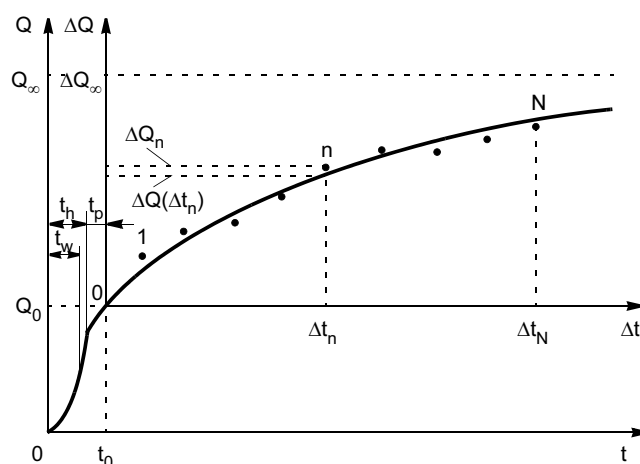


Рис. 2. Схема выделения водорода из образца (— — расчет, • — эксперимент)

где

$$t_0 = t_h + t_p; \quad t_h = D_h / D \Delta t; \quad t_p = \Delta t_p; \\ t_w = D_h / D \Delta t_w.$$

Здесь Δt_w , Δt_h , Δt_p — реальное время сварки, нахождения образца в горячем состоянии, подготовки холодного образца к испытанию соответственно.

При принятых допущениях решение прямой задачи может быть получено методами источников и отражения:

$$C(x, y, z, t) = \frac{C_0}{8} \sum_{k=1}^K \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-1,1} r \sum_{s=-1,1} s \times \\ \times \Phi \left(\frac{x - 2iL + (r+1)(l_k'' + l_k')/2 + (s+1)(l_k' - l_k'')/2 - l_k'}{\sqrt{4D(t-t_k)}} \right) \times \\ \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=-\infty}^{\infty} (-1)^{|i|} \sum_{r=-1,1} r \Phi \left(\frac{y - iW + rw_m/2}{\sqrt{4D(t-t_k)}} \right) \times \\ \times \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-1,1} r \sum_{s=-1,1} s \times \\ \times \Phi \left(\frac{z - 2iH + (r+1)(h_m' + h_m'')/2 + (s+1)(h_m' - h_m'')/2 - h_m'}{\sqrt{4D(t-t_k)}} \right),$$

где Φ — интеграл ошибок; l_k' , l_k'' , w_m , h_m' , h_m'' — геометрические параметры слоев шва (см. рис. 1, б).

Объем водорода, выделившегося через всю поверхность тела, определяется разностью объема поступившего Q_∞ и оставшегося в образце водорода:

$$Q(t) = Q_\infty - 2 \int_0^L \int_0^{W/2} \int_0^H C(x, y, z, t) dx dy dz = \\ = Q_\infty - \frac{C_0}{4} \sum_{k=1}^K \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-1,1} r \sum_{s=-1,1} s \times \\ \times \int_0^L \Phi \left(\frac{x - 2iL + (r+1)(l_k'' + l_k')/2 + (s+1)(l_k' - l_k'')/2 - l_k'}{\sqrt{4D(t-t_k)}} \right) dx \times \\ \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=-\infty}^{\infty} (-1)^{|i|} \sum_{r=-1,1} r \times \\ \times \int_0^{W/2} \Phi \left(\frac{y - iW + rw_m/2}{\sqrt{4D(t-t_k)}} \right) \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{r=-1,1} r \sum_{s=-1,1} s \times \\ \times \int_0^H \Phi \left(\frac{z - 2iH + (r+1)(h_m' + h_m'')/2 + (s+1)(h_m' - h_m'')/2 - h_m'}{\sqrt{4D(t-t_k)}} \right) dz,$$

$$Q_\infty = C_0 A_w L.$$

Все интегралы выражаются через известные функции:

$$\int_0^A \Phi\left(\frac{u-B}{\sqrt{4D(t-t_k)}}\right) du = (A-B) \Phi\left(\frac{A-B}{\sqrt{4D(t-t_k)}}\right) - B \Phi\left(\frac{B}{\sqrt{4D(t-t_k)}}\right) + \sqrt{\frac{4D(t-t_k)}{\pi}} \times \left[\exp\left(-\frac{(A-B)^2}{4D(t-t_k)}\right) - \exp\left(-\frac{B^2}{4D(t-t_k)}\right) \right].$$

Таким образом, по приведенным формулам можно определить распределение концентрации водорода в образце и количество выделившегося водорода в любой момент после начала диффузии водорода. Все ряды быстросходящиеся.

Отметим, что учет сложной геометрии образца (наличие выпуклости шва), ловушек водорода и гидридов, неравномерности распределения температуры, растворимости и коэффициента диффузии существенно усложняют формулировку задачи, которая может быть решена только численными методами [3–5].

Расчетный метод определения концентрации водорода в наплавленном металле (решение обратной задачи)

В прямой задаче предполагалось, что начальная концентрация C_0 и коэффициенты диффузии D и D_h известны. В данном случае они неизвестны. Определим C_0 , D и D_h экспериментально и из решения следующей обратной задачи.

Пусть в некоторые моменты времени Δt_n ($n = 1, \dots, N$) известен объем выделившегося водорода ΔQ_n (см. рис. 2). Найдем такие значения C_0 , D и D_h , которые соответствуют оптимальному положению расчетной кривой $Q(t)$ относительно экспериментальных точек. Иными словами, решим следующую оптимизационную задачу с ограничениями типа неравенства:

$$F(C_0, D, D_h) = \sum_{n=1}^N w_n [\Delta Q_n - \Delta Q(C_0, D, D_h, \Delta t_n)]^2 \rightarrow \min, \\ C_0 > 0, D > 0, D_h > 0.$$

Здесь w_n — масса n -го измерения (она тем больше, чем ниже погрешность измерения). Если погрешность всех замеров одинакова, то $w_n = 1$.

Минимум функции цели F , зависящей от параметров варьирования C_0 , D и D_h , можно определить одним из методов оптимизации [6]. Соответствующие значения C_0 , D и D_h определяют искомые значения Q_∞ , ΔQ_∞ и Q_0 .

Решение обратной задачи может основываться не только на аналитическом, но и численном реше-

нии прямой задачи, в последнем случае временные затраты на решение общей задачи увеличиваются на много порядков. Это обстоятельство имеет практическое значение, так как все алгоритмы решения нелинейных задач сводятся к последовательному решению десятков прямых задач (количество прямых задач зависит от количества искомых параметров, методов решения обратных задач и начального приближения, которое, в свою очередь, принимается в результате анализа поведения функции цели F в области допустимых значений искомых параметров).

Пример

На рабочую часть четырех образцов из стали 10ХСНД размером $100 \times 25 \times 12,5$ мм наплавляли валик на следующем режиме: ток 150 А, напряжение 24 В, скорость 1,67 мм/с. Электроды УОНИ-13/45 диаметром 4 мм прокаливали за 24 ч до сварки в течение 1,5 ч при 330–350 °С. Время сварки (наплавки) $\Delta t_w = 60$ с, продолжительность нахождения образца в горячем состоянии $\Delta t_h = 65$ с, время подготовки образца в холодном состоянии $\Delta t_p = 250$ с. Площадь сечения шва $A_w = 23 \text{ мм}^2$, площадь сечения наплавленного металла 13 мм^2 (что соответствует 10 г наплавленного металла). Объем выделившегося водорода замеряли в течение 4 сут. Замеры в первые 12 ч (на рис. 3 показаны темными кружками) были взяты в качестве исходных данных при решении оптимизационной задачи. Принимали $w_n = 1$, $M = 4$, $K = 100$. Решением задачи являются начальная концентрация $C_0 = 0,3668$ (единиц объема выделившегося водорода на единицу объема шва), коэффициенты диффузии $D = 2,617 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2/\text{с}$ и $D_h = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$. Время решения одной прямой задачи (количество экспериментальных точек 22) с точностью до пятого знака составляет менее 1 с при использовании персонального компьютера сред-

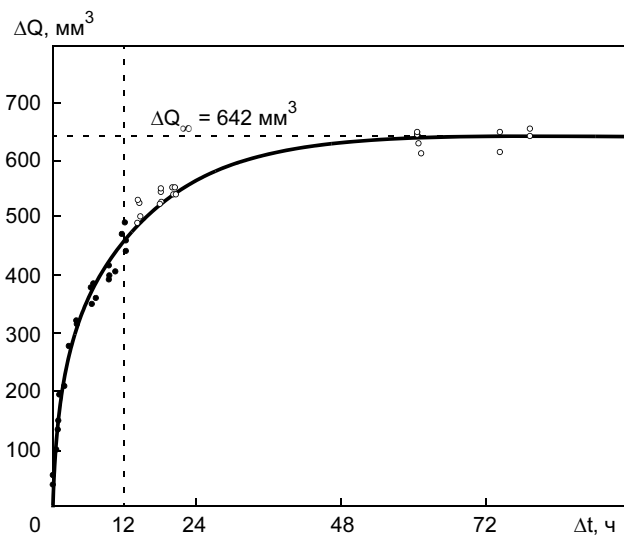


Рис. 3. Кинетика выделения водорода из образца (обозначения — см. рис. 2)

ней мощности. Решение соответствует начальному содержанию водорода $Q_{\infty} = 844 \text{ мм}^3$ или начальной концентрации диффузионного водорода $8,44 \text{ см}^3$ на 100 г наплавленного металла. До начала измерений выделилось $Q_0 = 202 \text{ мм}^3$ (24 % от общего объема), откуда предельное значение водорода, выделившегося после начала измерений, составляет $\Delta Q_{\infty} = Q_{\infty} - Q_0 = 642 \text{ мм}^3$.

Из сравнения расчетной кривой с замерами выделившегося водорода после первых 12 ч (на рис. 3 показаны светлыми кружками) следует, что разработанная методика позволяет достаточно точно (с точностью разброса экспериментальных данных) выявлять кинетику выделения водорода из образца, пользуясь экспериментальными данными, полученными только в первые сутки.

В качестве примера на рис. 4 показано концентрационное поле водорода в центральном поперечном сечении образца (в плоскости yz при $x = 50 \text{ мм}$) в момент $\Delta t = 12 \text{ ч}$, когда $\Delta Q = 0,7 Q_{\infty}$. Размерность концентрации — единица объема водорода (если бы он находился в состоянии молекулярного газа) в единице объема металла шва. Штриховой линией показана расчетная граница шва. Видно, что максимум концентрации находится вне шва. Градиент концентрации у верхней поверхности образца выше, чем у нижней, а у боковых поверхностей они минимальны. Отсюда следует, что потоки водорода через верхнюю поверхность максимальны, а через боковые поверхности — минимальны.

Распределения концентрации в центральном поперечном сечении вдоль оси Z в различные моменты времени Δt приведены на рис. 5. Видно, что максимум концентрации смещается вглубь. По этим кривым можно судить о кинетике концентрации водорода в ЗТВ, что важно при анализе вероятности образования холодных трещин.

Так как шов выполняется не одновременно по всей длине, то распределение концентрации водорода вдоль шва неравномерное (рис. 6). Уже в мо-

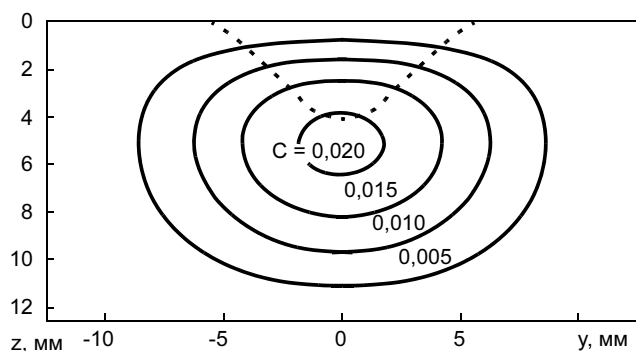


Рис. 4. Поле концентрации водорода в центральном поперечном сечении образца ($x = 50 \text{ мм}$) при $\Delta t = 12 \text{ ч}$

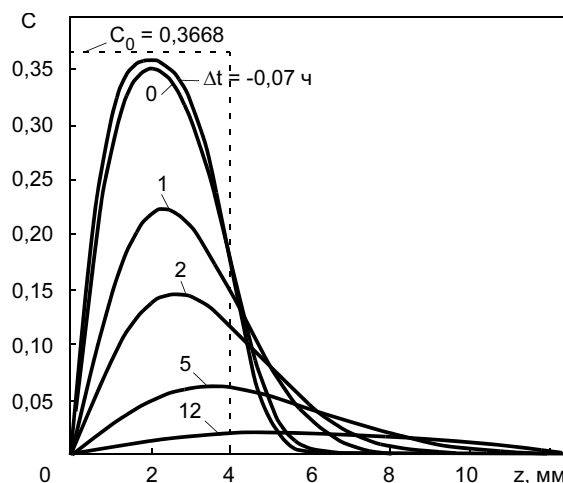


Рис. 5. Распределение концентрации водорода в центральном поперечном сечении образца в различные моменты времени ($x = 50 \text{ мм}$, $y = 0$)

менты окончания сварки и принудительного охлаждения образца ($\Delta t = -\Delta t_p = -250 \text{ с} = -0,07 \text{ ч}$) и начала регистрации выделившегося водорода ($\Delta t = 0$) концентрация водорода под поверхностью шва на глубине 2 мм значительно ниже концентрации водорода, внесенного в металл шва через наплаваемый металл, C_0 . Столь большое влияние продолжительности сварки объясняется высоким коэффициентом диффузии водорода при высокой температуре ($D_h \gg D$). Далее концентрация постепенно снижается, а ее распределение по длине шва приближается к симметричному относительно центрального поперечного сечения образца. Неравномерное распределение оставшегося после сварки водорода вдоль шва обнаружено экспериментально [7].

Отметим, что с повышением точности измерения объема выделившегося водорода ΔQ_n продолжительность измерений Δt_n может быть сокращена. Может быть увеличено время подготовки образца

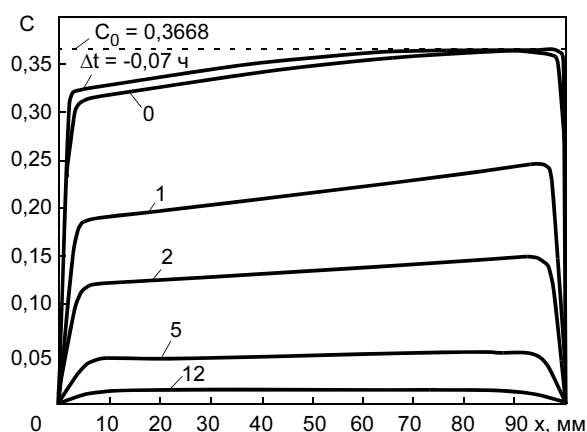


Рис. 6. Распределение концентрации водорода в центре шва по всей длине в различные моменты времени

Δt_p , что позволит более тщательно подготовить образец к испытанию (удалить все источники водорода с поверхности образца). Предложенная методика может быть использована и при других способах сварки плавлением.

Подчеркнем, что предположение об однородности образца с наплавкой относительно коэффициента диффузии и растворимости водорода существенно. Большая неоднородность может значительно влиять на распределение концентрации и кинетику выделения водорода из образца [8].

ВЫВОДЫ

1. Решена прямая трехмерная задача диффузии водорода в стандартном образце в форме параллелепипеда. Аналитическое решение позволяет по известным свойствам и начальным условиям вычислять распределения концентрации водорода в образце и объем выделившегося водорода в любой момент времени.

2. Сформулирована и решена обратная задача диффузии водорода, позволяющая по отдельным замерам выделившегося из образца водорода восстанавливать свойства металла и начальные условия прямой задачи.

3. Разработанная расчетная методика позволяет определять концентрацию диффузионного во-

дорода в наплавленном металле по отдельным замерам в начале процесса десорбции водорода (когда выделяется приблизительно две трети общего содержания водорода) и тем самым сократить время экспериментального определения диффузионного водорода по ГОСТ 23338—91 в несколько раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко А. М. Контроль качества покрытых электродов для дуговой сварки (определение водорода). Л.: ЛДНТП, 1986. 22 с.
2. Кархин В. А., Мнушкин О. С., Петров Г. Л. Приближенная расчетная схема перераспределения водорода в сварных соединениях. Л.: ЛПИ, 1978. Вып. 364. С. 3—8.
3. Кархин В. А. Моделирование диффузии водорода при сварке // Автоматизация технологической подготовки сварочного производства. Тула: ТПИ, 1986. С. 43—50.
4. Кархин В. А., Мнушкин О. С. Расчетная методика выбора конструктивно-технологического варианта сварного соединения с заданной сопротивляемостью образованию холодных трещин. Ч. 2. Расчет состояния сварного соединения и экспериментальная проверка методики // Сварочное производство. 1988. № 5. С. 33—35.
5. Yuorica N. A review of numerical analyses on the hydrogen diffusion in welding of steel // IIW Doc. IX-1553-89. 11 p.
6. Амметков А. В., Галкин С. В., Зарубин В. С. Методы оптимизации. М: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 439 с.
7. Christensen N., Gjermundsen K., Rose R. Hydrogen in mild-steel weld deposits // British Welding Journal. 1958. Vol. 5. N 6. P. 272—281.
8. Кархин В. А., Маркс О. Ю. Анализ влияния разнородности сварного соединения на концентрацию водорода в зоне термического влияния // Автоматическая сварка. 1994. № 2. С. 9—14.

УДК 621.791:669.539.376

В. В. ДМИТРИК, канд. техн. наук, А. М. ЛЯПУНОВ, канд. техн. наук
Украинская инженерно-педагогическая академия

Закономерности скольжения в структуре металла шва сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей

При исследовании сопротивляемости разрушению по механизму порообразования сварных соединений ТЭС из теплоустойчивых перлитных сталей, эксплуатируемых в условиях ползучести ($T_3 \leq 0,5 T_{пл}$) при ограниченном (не более 1 %) пластическом деформировании, целесообразно установить закономерности скольжения в структуре α -фазы. Это обусловлено тем, что повреждаемость структур участков сварных соединений происходит

раньше и интенсивнее, чем структуры основного металла [1, 2].

Установлено, что повреждаемость существенно связана с наличием в сварных соединениях исходных локальных структур, где сама структура является либо браковочной, либо близкой к ней. Заметим, что браковочные структуры образуются в результате локального перегрева металла сварных соединений и не выявляются неразрушающими методами контроля. Координаты таких структур применительно к штатному про-

цессу сварки выявляли путем моделирования сварочного нагрева выполняемых сварных соединений [3—5]. Определяли температурный режим, обеспечивающий образование в структуре металла шва удлиненных зерен α -фазы (50—80 мкм) и цепочек из равноосных укрупненных зерен (рис. 1). На участке неполной перекристаллизации в зависимости от сварочного нагрева образуются новые продукты распада аустенита, представляющие грубопластинчатый или сфероидизиро-

ванных перлит [5], что согласуется с данными работы [6].

Моделирование сварочного нагрева включало решение сопряженной тепловой задачи в условиях законов Навье-Стокса и Фурье [3, 4, 7]. Однако в отличие от решений подобных задач [8, 9], предусматривающих использование методов конечных элементов и конечных разностей, данную задачу решали с использованием метода Галеркина [10] и R -функций [11]. Время учитывали по методу Роте [10]. Решение тепловой задачи обеспечило получение гладких аппроксимаций изотерм в сварных соединениях, что позволило с большей точностью, чем при использовании известных решений, выявлять координаты перегретых участков, где локально

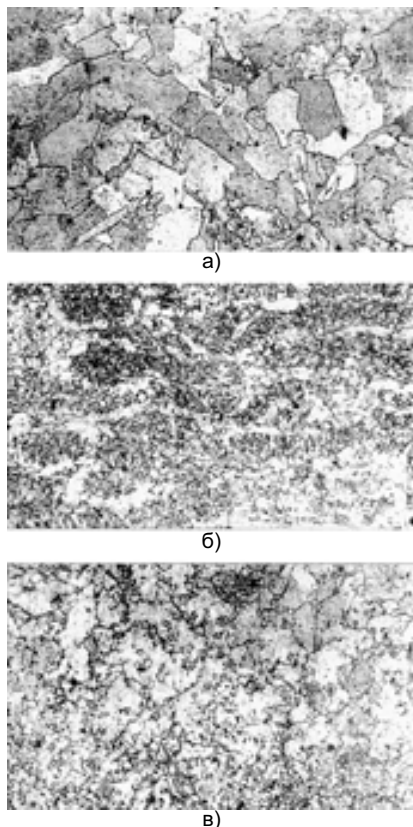


Рис. 1. Структура ($\times 100$) сварного соединения паропровода свежего пара (325×60 мм) блока 300 МВт (ручная дуговая сварка на штатных режимах, ресурс наработки 180 000 ч, $T_3 = 545^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0,5\%$, $\sigma_p = 25,5$ МПа): а — основной металл; б — металл шва; в — металл участка неполной перекристаллизации

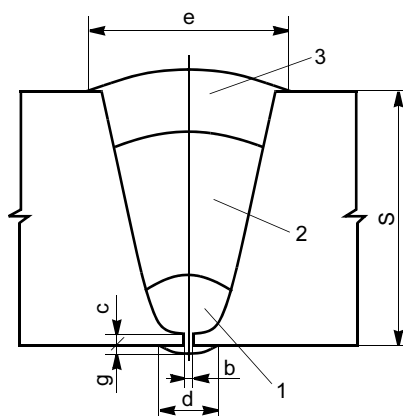


Рис. 2. Схема поперечного сечения сварного соединения ($S = 60$ мм, $d = 12$ мм, $b = c = 2$ мм, $g = 0,5 \div 1,0$ мм, $e \leq 44$ мм)

формируются структуры, отнесенные к браковочным. Для получения исходной структуры сварных соединений с улучшенными качественными характеристиками на основе расчетных данных их сварочного нагрева подбирали соответствующие параметры режима сварки, т. е. обеспечивали соответствие практического сварочного нагрева расчетному.

Пример. На основе данных моделирования сваривали трубные образцы диаметром 325 мм с толщиной стенки 60 мм из стали 15Х1М1Ф (рис. 2) механизированной сваркой в смеси защитных газов 75 % CO_2 + 25 % Ar электродной проволокой Св-09ХМФА диаметром 2 мм. Суммарный расход смеси CO_2 + Ar составлял 15—17 л/мин. Температура предварительного и сопутствующего подогрева $300\text{—}350^\circ\text{C}$. Установили, что корневой 1, средний 2 и верхний 3 участки (см. рис. 2) данного сварного соединения следует сваривать на следующих режимах: $I_{\text{св}} = 340 \div 350$ А, $U_{\text{д}} = 28 \div 32$ В; $I_{\text{св}} = 310 \div 320$ А, $U_{\text{д}} = 28 \div 30$ В и $I_{\text{св}} = 360 \div 370$ А, $U_{\text{д}} = 30 \div 32$ В соответственно.

Оптимизация сварочного нагрева на основе данных его моделирования обеспечила предотвращение формирования подобных структур, а также позволила уменьшить в целом исходную

структурную неоднородность данных сварных соединений.

Знание закономерностей скольжения в структуре α -фазы позволяет оптимизировать способы повышения сопротивляемости разрушению по механизму порообразования, что целесообразно для увеличения паркового ресурса данных сварных соединений, составляющего 0,6—0,8 ресурса основного металла. Заметим, что в условиях эксплуатационного старения имеет место определенное число проявлений скольжения и его неравномерность, что характерно для участков сварных соединений, отличающихся по структуре, т. е. для основного, наплавленного металла и металла ЗТВ.

Следы скольжения, возникающие при низкотемпературной ползучести, исследовали на внешней поверхности образцов сварных соединений, которую предварительно шлифовали и полировали. Для данных сварных соединений также допускали [12], что скольжение на поверхности имеет такой же характер, как и под ней. Иллюстративно скольжение представлено в виде прямых линий на рис. 3 и происходит в зернах α -фазы по плоскостям $\{110\}$, хотя линии могут иметь и волнистую форму. Установили, что общее число следов скольжения зависит от физических условий эксплуатации, в том числе пусков-остановов энергоблоков. Можно показать, что образование волнистых участков скольжения связано с увеличенной исходной структурной неоднородностью, а также характерно для местного перегрева, т. е. при превышении в процессе эксплуатации температуры выше предельной для данных сварных соединений.

Кроме следов скольжения, связанных с металлографическими плоскостями и направлениями, практический интерес представляют складки на фрагментах зерен, а также на участках их стыка (рис. 4, а), где могут находиться и

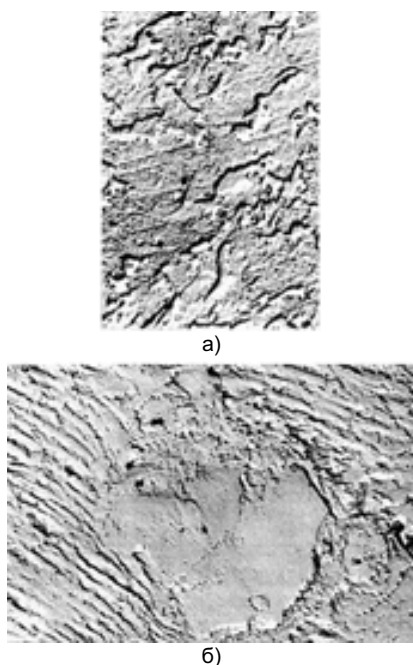


Рис. 3. Прямолинейные следы скольжения в α -фазе металла шва (сплав 08ХМФ, паропровод свежего пара блока 300 МВт, ресурс 180 000 ч, $\varepsilon = 0,5\%$, $T_3 = 545^\circ\text{C}$, $\sigma_p = 25,5\text{ МПа}$). $\times 6000$ (а); волнистая форма следов скольжения (участок неполной перекристаллизации, экспериментальный образец, ресурс 270 000 ч, $\varepsilon = 1,2\%$). $\times 8200$ (б)

коагулирующие карбиды $M_{23}C_6$, а также образуются полосы деформации (полосы сброса) (рис. 4, б). Приведенные особенности скольжения отмечают в сварных соединениях паропроводов "свежего пара" из перлитных теплоустойчивых сталей после 150 000 ч эксплуатации. Причем на различных участках сварных соединений число и форма следов также будут отличаться.

Установили, что исходная структурная неоднородность при низкотемпературной ползучести обеспечивает различный уровень деформации как отдельных зерен, а также их фрагментов, так и отличающуюся деформацию зерен в целом на отдельных участках сварных соединений [13]. Неоднородность деформации при низкотемпературной ползучести связана с неравномерностью величины и направлений напряжений в зернах α -фазы, что определяется ее легированием, наличи-

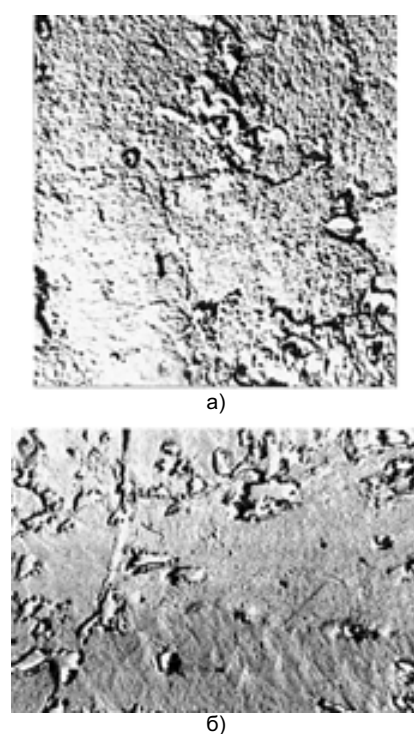


Рис. 4. Участок ($\times 6000$) неполной перекристаллизации ЗТВ сварного соединения из стали 15Х1М1Ф (ресурс 186 000 ч, $T_3 = 545^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0,7\%$, $\sigma_p = 25,5\text{ МПа}$): а — складки на фрагментах зерен; б — полоса деформации

ем и распределением карбидных выделений, а также зависит от ориентировки зерен относительно внешних сил [2, 14—17]. Равномерное распределение карбидов, в том числе мелкодисперсных VC и Mo_2C , в фрагментах зерен структуры обуславливает наложение механических ограничений на деформацию таких фрагментов. При наработке 150 000—180 000 ч деформация преимущественно носит локальный характер и происходит в основном в фрагментах, примыкающих к границам зерен, может способствовать частичному устранению (размыванию) границ зерен [1, 2], а также обеспечивает образование новых полос скольжения дополнительно к существующим, т. е. действующим по всему объему зерна α -фазы. Наличие коагулирующих карбидных выделений $M_{23}C_6$ способствует увеличению числа систем скольжения. Заметим, что от локальной деформа-

ции зерен α -фазы зависит неоднородность ее формоизменения, т. е. образование фрагментов. При низкотемпературной ползучести имеют место два конкурирующих процесса: упрочнения и разупрочнения структуры. Отмечаемое после 150 000 ч наработки нивелирование деформации α -фазы связано с ее относительной стабильностью, для которой характерно примерно одинаковое по объему образование систем скольжения, обеспечиваемое равномерностью распределения выделений Mo_2C , и особенно VC.

Исследование следов скольжения с помощью электронного микроскопа (методом реплик) позволило выявить строение следов скольжения и их тонкую структуру, состоящую из пачки плоскостей, которые на основе положений работы [12] можно представить уточненной схемой (см. рис. 4). Следы скольжения представляют в отличие от принятой схемы [12] непараллельные линии скольжения, образующие элементарные ступеньки, число которых зависит от структуры сварных соединений и времени (см. рис. 2). Установили, что число следов скольжения возрастает при увеличении пусков-остановов энергоблоков, а их строение также меняется. Повышение температуры выше расчетной (перегрев) увеличивает число элементарных плоскостей в уже существующих следах скольжения, что можно проследить как по внешнему виду, так и расстоянию между плоскостями.

Применительно к физическим условиям ($T_3 = 560^\circ\text{C}$, $p_3 = 25,5\text{ МПа}$) выявили, что число следов скольжения в структуре участков сварных соединений растет с отличающейся интенсивностью: наиболее интенсивно в той структуре участка неполной перекристаллизации, где новые продукты распада аустенита представляют глобуляризованный перлит (рис. 5) и которая локально примыкает к наружной поверхности сварных соединений.

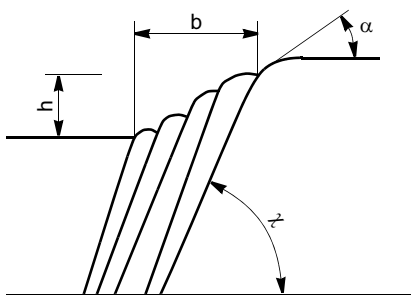


Рис. 5. Уточненная схема следа скольжения по пачке одинаково направленных (непараллельных) плоскостей скольжения (χ — угол между последней плоскостью и осью образца, α — угол, вычисленный при ширине b и высоте h следа скольжения, и $\alpha < \chi$) ($\operatorname{tg} \alpha = h/b$)

Считаем, что для уточнения количественного сопоставления числа и распределения следов скольжения на поверхности и в объеме образцов данных сварных соединений требуется совершенствование методик выявления дислокаций травлением [18], так как известно, что именно в плоскостях скольжения образуется увеличенная плотность дислокаций.

Можно показать, что число грубых следов скольжения для различных участков сварного соединения после наработки 180 000 ч будет отличаться. Например, на участке нормализации ЗТВ или в основном металле (сталь 15Х1М1Ф) их будет меньше, чем на участке неполной перекри-

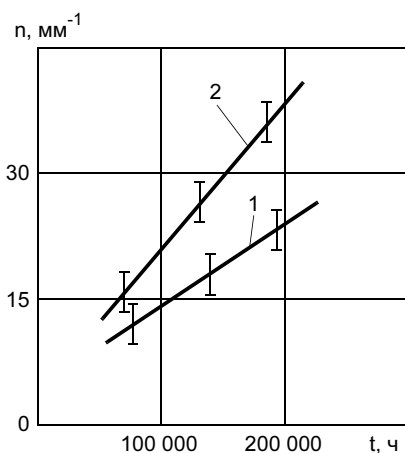


Рис. 6. Зависимость усредненного числа следов скольжения на участке неполной перекристаллизации ЗТВ сварных соединений от наработки: 1, 2 — разработанная [5, 13] и штатная технологии сварки соответственно

сталлизации и в металле шва (сплав 08ХМФ). Очевидно, что указанные различия обусловлены исходной структурной неоднородностью сварных соединений, вытянутой формой и границами зерен α -фазы, а также распределением карбидных выделений.

Установили влияние исходной структуры сварных соединений и следов скольжения в зернах α -фазы на порообразование. Например, если в структуре участка неполной перекристаллизации новые порции распада аустенита представлены в виде сфероидизированного перлита, зарождение пор размером 0,05—0,10 мкм происходит при наличии относительно грубых следов скольжения и локальной пластической деформации (усредненной) $\varepsilon \geq 0,7$ %. После наработки 190 000 ч размеры пор в структуре данного участка увеличились до 1,1—2,0 мкм при плотности до 700 пор на 1 мм^2 . В аналогичной структуре, где новые продукты распада аустенита представляли сорбит, следы скольжения были менее грубыми, а средние размеры пор составляли 0,5—0,9 мкм при их плотности до 400 пор на 1 мм^2 (рис. 6).

В целом общее число следов скольжения, в том числе грубых, зависит от исходной структурной неоднородности, формирование которой обеспечивается соответствующим сварочным нагревом, физических условий эксплуатации и наработки. Следовательно, получение сварных соединений из данных сталей следует обеспечивать с возможно меньшей их структурной неоднородностью.

ВЫВОДЫ

1. Стабильность структуры сварных соединений и ее повреждаемость после 180 000 ч наработки существенно зависят от исходных качественных характеристик самой структуры, а также степени ее структурной неоднородности.

2. На основе данных моделирования сварочного нагрева можно получать сварные соединения с улучшенными качественными характеристиками исходной структуры и уменьшенной структурной неоднородностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромченко Ф. А. Ресурс сварных соединений паропроводов. М.: Машиностроение, 2002. 351 с.
2. Земзин В. Н. Жаропрочность сварных соединений. Л.: Машиностроение, 1972. 269 с.
3. Дмитрик В. В. Метод определения температурного режима в расплаве сварочной ванны // Сварочное производство. 1998. № 8. С. 19—21.
4. Дмитрик В. В., Калиниченко В. И. Численные решения краевых задач теории электродуговой сварки на основе схемы Галеркина // Доклады НАН Украины. 2002. № 5. С. 101—108.
5. Дмитрик В. В. Моделирование структуры сварных соединений теплоустойчивых перлитных сталей // Автоматическая сварка. 2000. № 4. С. 27—29.
6. Тонкая структура зоны термического влияния при сварке стали 15Х1М1Ф / Т. Г. Березина, Э. Р. Бородина, Л. А. Ашихмина, А. З. Лепехин // Автоматическая сварка. 1974. № 12. С. 19—22.
7. Sakuma Atsushi, Inone Tatsuo. Nihonikai gakkai ronbunshu. // Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. 1996. Vol. 62. N 596. P. 1032—1037.
8. Березина Т. Г., Бугай Н. В., Трунин И. И. Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок. Киев: Техника, 1991. 118 с.
9. Ohring S., Lugt H. J. Numerical Simulation of a Time — Dependent 3-D GMA Weld Pool Due to a Moving Arc // Welding Research Supplement. 1999. N 12. P. 416—423.
10. Дмитрик В. В., Калиниченко В. И. Моделирование процесса электродуговой сварки // Известия вузов. 2003. № 4. С. 59—64.
11. Громадко Т., Лей Ч. Комплексный метод граничных элементов. М.: Мир, 1990. 300 с.
12. Розенберг В. М. Ползучесть металла. М.: Металлургия, 1967. 257 с.
13. Дмитрик В. В. К решению проблемы увеличения ресурса эксплуатации сварных соединений энергетического оборудования свыше 200 000 ч // Сварные конструкции. Киев, 2000. С. 10—11.
14. Иванова В. С. Разрушение металлов. М.: Металлургия, 1979. 166 с.
15. Портной К. И., Бабич Б. Н. Дисперсно-упрочненные материалы. М.: Металлургия, 1974. 199 с.
16. Финкель В. М. Физические основы торможения разрушения. М.: Металлургия, 1974. 358 с.
17. Миллер К. Ползучесть и разрушение. М.: Металлургия, 1986. 118 с.
18. Беккерт М., Кемм Х. Способы металлографического травления: Справочник. М.: Металлургия, 1988. 398 с.

Многофазный сварочный аппарат

Конкурентоспособность и экономическая эффективность сварочных аппаратов, как и любых технических устройств, оценивается интегральным критерием цена/качество.

Цель данной работы — разработка перспективных технологий изготовления трансформаторов для сварочных аппаратов, позволяющих существенно повысить качество сварных швов вследствие высокого качества применяемого выпрямленного напряжения и за счет исключения операции штамповки и получения открытой зубцовой зоны значительно упростить укладку обмоток, обеспечив малоотходное изготовление магнитопроводов.

Существующие недорогие сварочные аппараты на базе одно- и трехфазных сварочных трансформаторов переменного тока в основном применяют для сварки неответственных сварочных конструкций ввиду низкого качества получаемых сварных швов. К ряду узлов наиболее ответственных конструкций (трубопроводы газотранспортных систем, элементы опор оснований морских платформ и т. д.) предъявляют высокие требования по прочности и усталостной выносливости.

В традиционных сварочных выпрямителях требуемые служебные качества достигаются за счет использования падающей ВАХ выпрямителя, получаемой путем включения последовательно с трансформатором дросселей или магнитных шунтов. Таким сварочным выпрямителям присущи следующие недостатки: неравномерная нагрузка питающей сети, сравнительно плохое использование вентилей, активных материалов трансформатора и дросселя, высокая пульсация вы-

ходного напряжения и тока, большие потери в вентильях тока, низкая нагрузочная способность выпрямительного блока.

Получить сварные швы надлежащего качества можно, используя сварочный генератор постоянного тока. Однако последний как любая вращающаяся электрическая машина, требующая наличия другой приводной машины, имеет низкие эксплуатационные и массогабаритные показатели, невысокую надежность работы при высокой стоимости.

Использование известных одно- и трехфазных сварочных трансформаторов переменного тока не обеспечивает требуемого качества сварки даже при использовании двухполупериодного выпрямителя вследствие высокого уровня пульсаций выпрямленного напряжения. Диапазон колебаний напряжения при этом (рис. 1, б)

$$k_n^3 = \frac{U_{\max}^3}{U_{\min}^3} = 1,155,$$

где k_n^3 — пульсация при трехфазном двухполупериодном выпрямлении; $U_{\max}^3$ — максимальное значение напряжения, равное ам-

плитудному значению фазного напряжения; $U_{\min}^3$ — минимальное значение напряжения, равное мгновенному значению фазного напряжения при $\omega t = \frac{\pi}{3}$, т. е.

$$U_{\min}^3 = U_{\max}^3 \sin \frac{\pi}{3} = 0,866 U_{\max}^3.$$

Из полученного значения $k_n^3 = 1,155$ следует, что максимальное напряжение при трехфазном двухполупериодном выпрямлении превосходит минимальное на 15,5 %.

Для снижения уровня пульсаций напряжения применяют сглаживающие LC-фильтры, что приводит к удорожанию сварочного аппарата в целом и ухудшению его массогабаритных показателей. Традиционные трехфазные трансформаторы имеют также ряд других существенных недостатков. Технология изготовления магнитопроводов таких трансформаторов сложна и экономически нецелесообразна. Она основана на штамповке пластин магнитопроводов, при которой 20—30 % электротехнической стали идет в отходы. Кроме того, в кривой магнитодвижущих сил (МДС) таких трансформаторов могут присут-

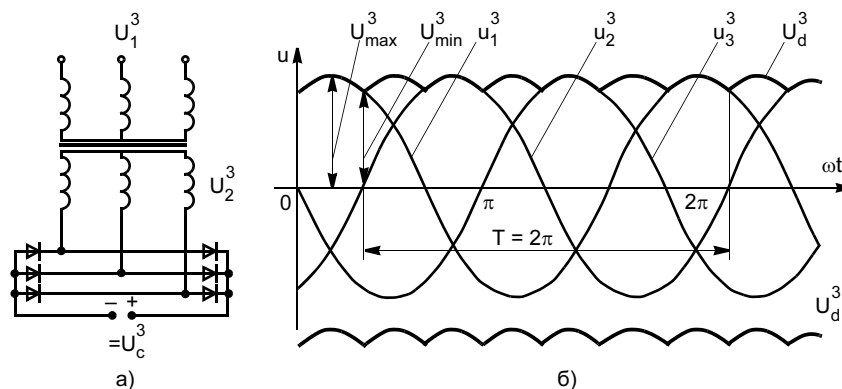


Рис. 1. Электрическая схема (а) и зависимость фазных и выпрямленного напряжений от времени (б) трехфазного сварочного трансформатора

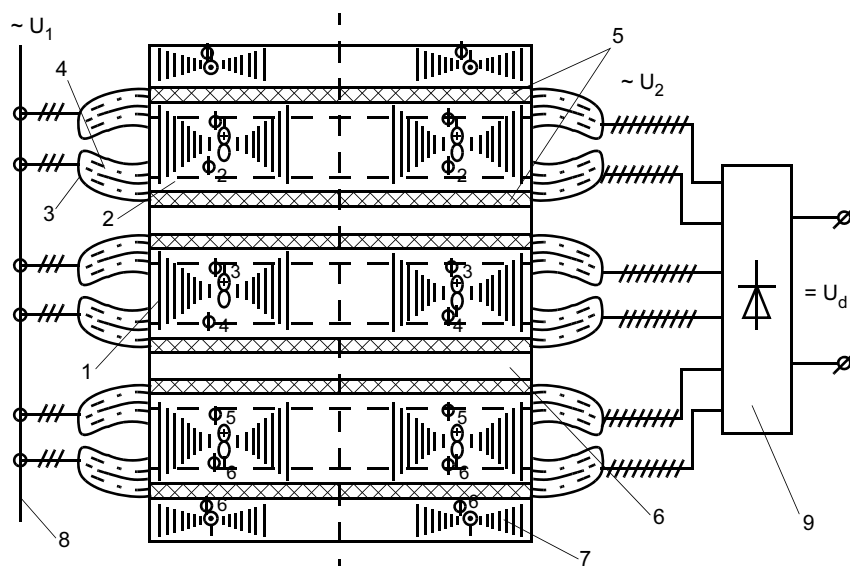


Рис. 2. Общий вид многофазного сварочного аппарата (в разрезе)

ствовать высшие гармоники порядка $v = 2im \pm 1$, где m — число фаз вторичной обмотки. Эти гармоники, особенно третья, вносят существенные искажения в форму кривых вторичного напряжения, влияют на источники питания ограниченной мощности, ухудшая тем самым качество преобразования электрической энергии в преобразователе, снижают его мощность и кпд. Такие трансформаторы не обеспечивают симметричности выходных напряжений.

В связи с этим разработан недорогой трансформатор для сварочного аппарата, обеспечивающий высокое качество сварки, простой по конструкции и имеющий хорошие массогабаритные показатели.

Авторам удалось простым и экономичным способом существенно повысить качество сварки путем снижения коэффициента пульсаций выходного напряжения за счет замены известных одно- и трехфазных трансформаторов на многофазные трансформаторы с вращающимся магнитным полем, выполненные по принципу аксиальной электрической машины (аксиальные многофазные трансформаторы (АМТ)) [1]. При этом значительно упрощена технология изготовления магнитопроводов разработанных

трансформаторов. АМТ можно выполнить содержащим два аксиальных магнитопровода¹, однако для увеличения мощности трансформатора и получения любого числа фаз при выполнении минимально допустимого числа пазов и унификации активных торцовых поверхностей магнитопроводов целесообразно выполнить агрегатированный АМТ^{1, 2}.

На рис. 2 представлен общий вид многофазного сварочного аппарата² в разрезе; на рис. 1, а — электрическая схема трехфазного сварочного трансформатора, где U_1^3 — питающее напряжение, подаваемое на первичную обмотку; U_2^3 — вторичное напряжение;

U_d^3 — напряжение, полученное при трехфазном двухполупериодном выпрямлении. На рис. 1, б приведены зависимости фазных и выпрямленного напряжений трехфазного сварочного трансформатора от времени, где u_1^3 , u_2^3 , u_3^3 — фазные напряжения

вторичной обмотки, U_d^3 — напряжение, полученное при трехфазном двухполупериодном выпрямлении, $U_{\max}^3$, $U_{\min}^3$ — максимальное и минимальные значения напряжения при этом соответственно. На рис. 3, а приведена электрическая схема разработанного многофазного (девятифазного) сварочного аппарата, где U_1^9 — питающее напряжение, подаваемое на первичную обмотку, U_2^9 — вторичное напряжение, U_d^9 — напряжение, полученное при многофазном (девятифазном) двухполупериодном выпрямлении; на рис. 3, б — зависимости фазных и выпрямленного напряжений сварочного аппарата от времени, где u_1^9 , u_2^9 , u_3^9 , ..., u_9^9 — фазные напряжения вторичной обмотки, U_d^9 — напряжение, полученное при девятифазном двухполупериодном выпрямлении, $U_{\max}^9$, $U_{\min}^9$ — максимальные и минимальные значения напряжения при этом соответственно.

На рис. 1 и 3 видно, что при трехфазном выпрямлении число выпрямительных диодов равно 6, а при девятифазном — 18, т. е. в 3 раза больше, однако следует иметь в виду, что при девятифазном выпрямлении мощность каждого диода в 9 раз меньше.

Многофазный сварочный аппарат содержит (см. рис. 2) внутреннее аксиальные магнитопроводы 1 (в приведенном на рис. 1 варианте — три), каждый из которых имеет две активные торцовые поверхности с пазами 2, в которые уложены первичная трехфазная 3 (сплошные линии) и вторичная многофазная (например девятифазная) 4 (штрихпунктирные) обмотки, два боковых беспазовых аксиальных магнитопровода 7, примыкающих к внутренним магнитопроводам торцовыми по-

¹Патент 2181512 (РФ).

²Свидетельство на полезную модель 23537 (РФ).

верхностями через немагнитные прокладки 5. Внутренние магнитопроводы примыкают друг к другу активными торцовыми поверхностями через немагнитные прокладки, разделенные между собой одним промежуточным ярмом 6 в виде листа из электротехнической стали. Концы первичных трехфазных обмоток подсоединены к трехфазной сети 8, а концы вторичных многофазных обмоток — к многофазному (девятифазному) двухполупериодному выпрямителю 9, обеспечивающему высокое качество сварочных работ за счет снижения уровня пульсации выпрямленного напряжения. Количество фаз первичных и вторичных обмоток на рис. 1 показано соответственно тремя и девятью поперечно наклонными штрихами.

При подключении первичных трехфазных обмоток к питающей сети напряжением U_1 во внутренних магнитопроводах создается вращающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с многофазными вторичными обмотками, индуцирует в них многофазные эдс, сдвинутые друг относительно друга на угол $2\pi/m$, где m — число фаз вторичной обмотки трансформатора. В результате происходит преобразование трехфазной ($m = 3$) системы напряжений U_1 в m -фазную (девятифазную, $m = 9$) симметричную систему напряжений U_2 . При этом магнитные потоки, индуцированные верхней и нижней частями первичной и вторичной обмоток, находящимися на разных торцовых поверхностях каждого из внутренних магнитопроводов, замыкаются через его центральную область, представляющую собой совмещенное (сдвоенное) ярмо этих двух активных частей каждого внутреннего магнитопровода. Величина суммарного магнитного потока совмещенного ярма определяется схемой соединения (чередованием фаз) и направлением укладки обмоток. Если принять обе части первичной и обе части вторичной

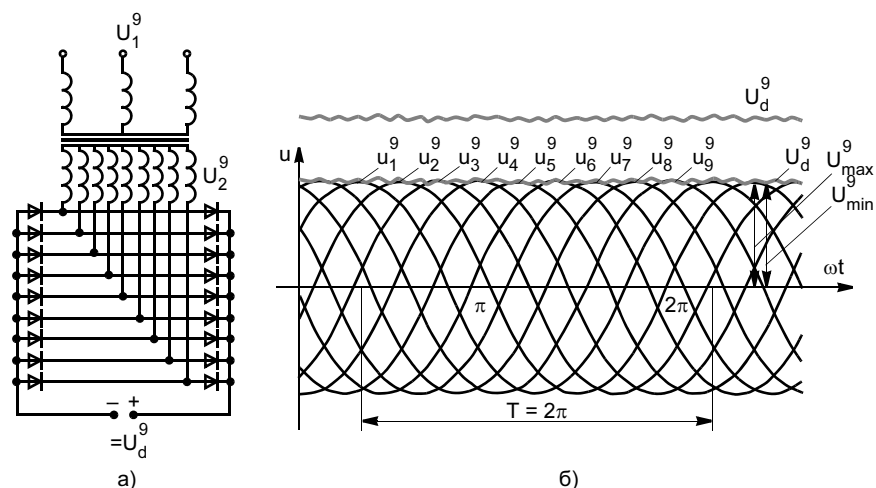


Рис. 3. Электрическая схема (а) и зависимость фазных и выпрямленного напряжений от времени (б) многофазного сварочного аппарата

обмоток каждого внутреннего магнитопровода трансформатора симметричными между собой и включить их согласно-параллельно и на одинаковое чередование фаз (либо прямое, либо обратное), то потоки, созданные параллельными частями обмоток в совмещенном ярме, будут равны и направлены встречно. В результате суммарный поток совмещенного ярма будет равен нулю, поэтому его толщина определяется только условиями обеспечения механической прочности каждого внутреннего магнитопровода. Одновременно при этом равные по величине и противоположные по направлению потоки, но только от двух рядом расположенных внутренних магнитопроводов, замыкаются через каждое промежуточное ярмо. В результате суммарный поток каждого промежуточного ярма будет равен нулю, поэтому толщина промежуточных ярм может быть выбрана минимальной, например 0,35 мм. Концы вторичных обмоток подсоединены к двухполупериодному мостовому выпрямителю 9, собранному на диодах (см. рис. 3, а) (или на тиристорах). В каждый момент времени открыта та пара диодов, которая находится под большим линейным напряжением.

Диапазон колебаний напряжения в этом случае (см. рис. 3, б)

$$k_n^9 = \frac{U_{\max}^9}{U_{\min}^9} = 1,015,$$

$$\text{где } U_{\min}^9 = U_{\max}^9 \sin \frac{\pi}{9} = \\ = U_{\max}^9 \cdot 0,985.$$

Таким образом, максимальное напряжение при девятифазном двухполупериодном выпрямлении превосходит минимальное лишь на 1,5 %, т. е. при двухполупериодном выпрямлении пульсация выпрямленного напряжения уменьшается за счет повышения фазности. В приведенном случае за счет увеличения фазности от $m = 3$ до $m = 9$ диапазон пульсации выпрямленного напряжения уменьшается от 15,5 до 1,5 % (больше, чем в 10 раз).

Таким образом, качество постоянного напряжения, полученного путем выпрямления переменного, существенно повышается при повышении фазности выпрямляемого напряжения. Поэтому многофазные агрегатированные сварочные трансформаторы можно применять без сглаживающих фильтров.

Известно, что сварочный аппарат в процессе эксплуатации непрерывно работает в переходном режиме. В связи с этим представляет интерес исследование трансформатора сварочного аппарата в динамике, т. е. в пере-

ходном процессе. Наиболее просто и в то же время наиболее точно математическая модель многофазного трансформатора может быть построена на основе теории обобщенного электромагнитного преобразователя энергии [2]. Так как магнитопроводы трансформатора многофазного сварочного аппарата неподвижны друг относительно друга, то наиболее рациональной системой координат для исследования электромагнитных переходных процессов, происходящих в многофазном трансформаторе, является неподвижная система координат α — β — γ . Однако в связи с тем, что на одном из магнитопроводов трансформатора сварочного аппарата расположены не три, а несколько (девять) обмоток, классическая система координат α — β — γ в данном случае должна быть использована в несколько измененном виде. Первичная обмотка рассматривается как трехфазная, а вторичная — как трехфазная, к которой приведены девять фаз [3].

Математическая модель электромагнитных процессов, происходящих в трансформаторе многофазного сварочного аппарата, в неподвижной системе координат α — β — γ имеет вид

$$u_i^1 = R_i^1 i_i^1 + \frac{d\psi_i^1}{dt};$$

$$u_i^2 = \sum_{j=1}^{m_2} u_j^2 \cos\left(j - \frac{m_2}{3}(i-1) - 1\right) \frac{360^\circ}{m_2}.$$

Здесь u_i^1 , R_i^1 , i_i^1 , ψ_i^1 — напряжения, активные сопротивления, токи и результирующие потокоцепления фаз первичной обмотки трансформатора соответственно (i равно 1, 2, 3, при этом $i = 1$ соответствует оси α неподвижной системы координат, $i = 2$ — оси β , $i = 3$ — оси γ); u_i^2 — напряжения

вторичной обмотки трансформатора по осям неподвижной системы координат (i равно 1, 2, 3); m_2 — число фаз вторичной обмотки трансформатора; u_j^2 — напряжения фаз вторичной обмотки трансформатора ($j = 1, \dots, m_2$), определяемые по формуле

$$u_j^2 = R_j^2 i_j^2 + \frac{d\psi_j^2}{dt},$$

где u_j^2 , R_j^2 , i_j^2 , ψ_j^2 — напряжения, активные сопротивления, токи и результирующие потокоцепления фаз вторичной обмотки трансформатора ($j = 1, \dots, m_2$) соответственно.

Применение разработанного сварочного аппарата, выполненного на базе многофазного трансформатора аксиальной конструкции, взамен известных одно- и трехфазных сварочных трансформаторов стержневой или броневой конструкции позволяет значительно упростить технологию изготовления их магнитопроводов, существенно сократив при этом расход электротехнической стали.

Технология изготовления магнитопроводов разработанного трансформатора, а также других АМТ, которые могут быть использованы в качестве сварочных, состоит из следующих последовательно выполняемых этапов:

— разрезка листов электротехнической стали на полосы шириной, равной высоте магнитопроводов;

— вырубка в полосах единичных пазов из расчета, что по мере увеличения диаметра навивки расстояние между единичными пазами соответственно увеличивается;

— отжиг полос с пазами в специальной печи с кварцевым песком при 900 °С. Отжиг сопровождается образованием на поверхности полос оксидной пленки, обеспечивающей весьма тонкую и надежную изоляцию соприкасающихся элементов полос. При

этом коэффициент заполнения пакета сталью близок к единице;

— навивка обработанных таким образом полос на каркас. При этом единичные пазы ложатся строго в радиальном направлении, поскольку расстояние между ними увеличивалось в функции диаметра навивки;

— укладка обмоток в пазы магнитопроводов.

АМТ имеет простую конструкцию, достаточно простую и малоотходную технологию изготовления, так как при такой технологии отсутствуют отходы электротехнической стали, связанные со штамповкой в ее классическом понимании, как у обычных (цилиндрических) магнитопроводов электрических машин и традиционных конструкций магнитопроводов трансформаторов. Так, при мощности 5 кВт расход электротехнической стали на изготовление магнитопроводов уменьшается на 20—25 %. Кроме того, массогабаритные показатели многофазного сварочного аппарата лучше за счет отсутствия сглаживающих фильтров, а пульсация выходного тока невелика за счет высокой фазности выходного напряжения трансформатора. Технология изготовления АМТ упрощается также за счет непрерывности технологического процесса от разрезки листов электротехнической стали до укладки обмоток в пазы магнитопроводов включительно. При использовании холоднокатаной стали для изготовления магнитопроводов АМТ и направлении вращающегося магнитного поля вдоль проката (по пути наименьшего сопротивления) потери в стали сердечника уменьшаются на 20—25 %, что позволяет сэкономить до 5—10 % электротехнической стали [4]. Магнитная цепь АМТ при этом получается симметричной.

Немаловажное значение имеет и тот факт, что выход из строя одного, двух и т. д. диодов в многофазном выпрямителе разработанного многофазного сварочного

аппарата оказывает значительно меньшее воздействие на ухудшение качества выходного напряжения, чем в традиционных одно- и трехфазных сварочных трансформаторах.

Значительно улучшить (уменьшить) массогабаритные показатели сварочного аппарата позволяет агрегатирование сварочного трансформатора.

В целом применение разрабатываемых аксиальных многофазных трансформаторов в качестве основы для сварочных аппаратов позволяет исключить присущие традиционным сварочным трансформаторам недостатки при относительно простой конструкции и высоких сварочных качествах.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая аксиальная конструкция трансформатора для сварочного аппарата является новой и перспективной: она обеспечивает простую и малоотходную

(практически безотходную) технологию изготовления магнитопроводов трансформатора, возможность получения многофазного симметричного напряжения, что при выпрямлении последнего обеспечивает высокое качество постоянного тока, необходимого для сварки наиболее ответственных конструкций.

2. Принцип совмещенного ярма (выполнение обеих частей первичной и обеих частей вторичной обмоток каждого внутреннего трансформатора симметричными, включение их согласно-параллельно и на одинаковое чередование фаз, в результате чего магнитный поток в совмещенном ярме равен нулю) обеспечивает дополнительную экономию электротехнической стали и улучшение массогабаритных показателей сварочного аппарата в целом.

3. Повышение фазности выходного напряжения аксиального трансформатора обеспечивает

повышение надежности его работы (так как выход из строя нескольких диодов выпрямителя оказывает на кривую выходного напряжения меньшее искажающее воздействие, чем в традиционных трансформаторах) и улучшение массогабаритных показателей (за счет отсутствия сглаживающих фильтров).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Многофазный трансформатор как эффективное средство улучшения качества выпрямленного напряжения / Б. Х. Гайтов, Т. Б. Гайтова, Я. М. Кашин, Л. Е. Копелевич // Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение. Алушта, 2003. С. 541—544.
2. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 1994. 321 с.
3. Гайтов Б. Х., Кашин Я. М. Математическое моделирование аксиального многофазного трансформатора-фазорегулятора // Тр. Кубанского ГТУ. Т. III. Сер. Энергетика. Краснодар: КубГТУ, 2000. Вып. 1. С. 159—163.
4. Гайтов Б. Х., Праско Д. Г., Гайтова Т. Б. Разработка многофазных трансформаторов // Электротехника. 2000. № 8. С. 42—45.

УДК 621.791:621.57

А. В. ЦАРЬКОВ, д-р техн. наук, В. А. РАЕВСКИЙ, инж.
Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана

Оптимизация режимов сварки трубных досок теплообменных аппаратов методами компьютерного моделирования

Сварное соединение типа труба — трубная доска является неотъемлемым ответственным конструктивным элементом всех теплообменных аппаратов. При сварке среди большого количества контролируемых параметров, как правило, наиболее значимыми являются глубина проплавления по стыку и величина наплыва (рис. 1) внутри ввариваемой трубки. В настоящее время, учитывая высокие требования к стабильности процесса сварки, на отечественных заводах чаще всего применяют аппаратуру известных зарубежных производителей (ESAB Int. AB, Kemppi OY, Fronius, Polysoud, Messer Cutting & Welding AG и др.).

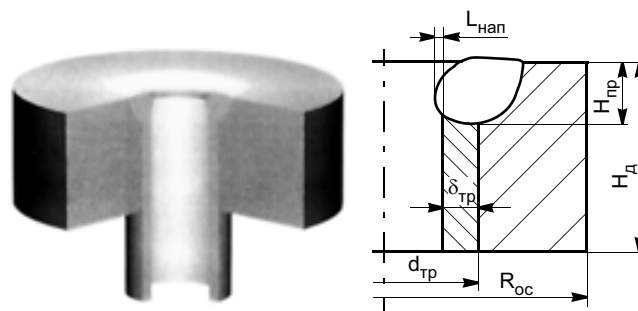


Рис. 1. Заводской опытный образец для подбора оптимальных режимов сварки

Как правило, при изготовлении конструкций из тонких трубок применяют импульсно-дуговую сварку (ИДС) неплавящимся электродом. Такой процесс позволяет повысить концентрацию нагрева за счет увеличения сосредоточенности теплоты дуги, что благоприятно сказывается на снижении временных и остаточных сварочных напряжений. Варьируя ток, скорость, а также длительность импульса и паузы, можно в широких пределах изменять параметры шва. Большинство западных фирм осуществляют одновременную поставку сварочного оборудования и технологии, что, казалось бы, должно избавить потребителей от необходимости отработки режимов сварки. Вместе с тем в ряде отечественных отраслей промышленности требования к трубным соединениям значительно превосходят аналогичные зарубежные стандарты. Например, в отечественной атомной промышленности требуемая глубина проплавления при сварке трубных решеток из аустенитной стали (см. рис. 1) превосходит значение, указанное в ряде зарубежных стандартов, почти в 2 раза. Таким образом, возникает ситуация, когда необходимо проведение дополнительных исследовательских работ с целью оптимизации существующей технологии. С учетом большого числа существующих типоразмеров труб, вариантов их компоновки в трубном пучке и набивки в трубные доски (рис. 2) экспериментальная отработка конкретных режимов сварки превращается в самостоятельную, довольно трудоемкую задачу.

В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования при оптимизации параметров сварки труб с трубной доской (см. рис. 1). В качестве основного параметра оптимизации (функции отклика) используется максимальная глубина проплавления H , а другие конструктивные параметры (величина наплыва, отсутствие пор, сплошность шва, стабильность проплавления и др.) рассматриваются в качестве ограничений.

ИДС отличается более широким диапазоном регулирования теплового воздействия источника теплоты на металл по сравнению с аргонодуговой

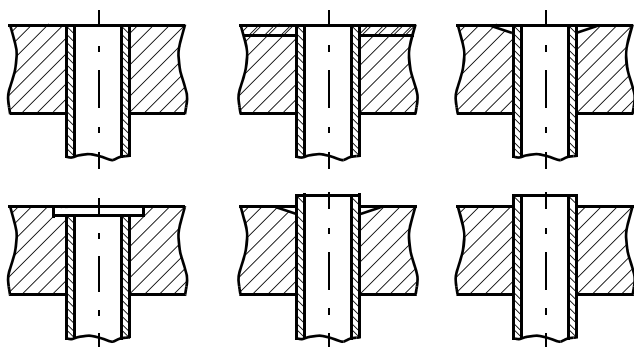


Рис. 2. Типовые виды сварных соединений "труба — трубная доска"

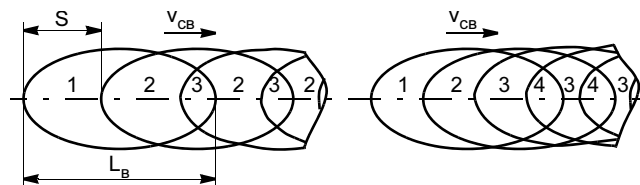


Рис. 3. Схема перекрытия сварных точек для различных скоростей сварки при импульсно-дуговом процессе

сваркой. Это связано с тем, что высокая концентрация тепловой энергии за период импульса обеспечивает более эффективное расплавление свариваемого металла. При автоматической сварке в импульсном режиме шов формируется периодическим расплавлением отдельных точек с шагом S , величина которого зависит от скорости перемещения источника нагрева и продолжительности цикла сварки (рис. 3). Степень перекрытия точек определяется их размером L_B и шагом S :

$$P = \frac{S}{L_B}. \quad (1)$$

Для получения равномерного профиля шва со стабильным проваром, без кратеров и дефектов усадочного характера перекрытие точек принимается большим половины длины L_B отдельной сварной точки (см. рис. 3). Однако завышенное перекрытие точек или уменьшенный их шаг обуславливает многократное и бесполезное переплавление, что влияет на свойства металла шва и производительность процесса [1].

Как показано в работе [1], с точки зрения минимального суммарного переплавления точки по площади и обеспечения наибольшей стабильности физико-химических свойств металла наибольший интерес представляют режимы ИДС с шагом точек $S = 0,25 \div 0,444 L_B$.

Кроме того, чрезвычайно важно, что применение ИДС способствует уменьшению пористости в швах по сравнению со швами, полученными при сварке непрерывной дугой [2].

Математическая модель

Расчет температурных полей выполняли на базе трехмерного уравнения теплопроводности, записанного в цилиндрической системе координат:

$$c\gamma(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial R} i_R + \lambda(T) \frac{1}{R} \frac{\partial T}{\partial \varphi} i_\varphi + \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} i_z \right) + Q(R, \varphi, z). \quad (2)$$

Сварочная дуга рассматривается как поверхностный нормально распределенный источник, опи-

сываемый известным математическим выражением

$$q_{2m} = \frac{I_{св} U_d \eta_{эф} k}{\pi} e^{-kr^2}, \quad (3)$$

где q_{2m} — удельная плотность мощности; $I_{св}$ — ток; U_d — напряжение дуги; $\eta_{эф}$ — эффективный кпд; k — коэффициент сосредоточенности дуги.

Калориметрические исследования [3] показывают, что значение эффективного кпд дуги для импульсного процесса составляет 80—85 %. В расчетах $\eta_{эф}$ принимали равным 80 %. Коэффициент сосредоточенности k определяли расчетно-экспериментальным путем исходя из совпадения расчетного контура сварочной ванны с контуром на шлифе в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В качестве граничных условий принимали граничные условия третьего рода. Коэффициент теплоотдачи [4]

$$\alpha(T) = 2,4 \cdot 10^{-3} \varepsilon(T) T^{1,61}, \quad (4)$$

где $\varepsilon(T)$ — коэффициент поверхностной термоэмиссии.

Материал изделия — коррозионно-стойкая сталь, часто применяемая в подобных конструкциях. Свойства стали принимали согласно данным, приведенным в работе [5]. Расчеты проводили с учетом скрытой теплоты плавления и зависимости теплофизических свойств от температуры. Теплоперенос в сварочной ванне учитывали с помощью эффективного коэффициента теплопроводности

$$\lambda_{эф} \approx \varepsilon_k \lambda, \quad (5)$$

где λ — молекулярная теплопроводность жидкого металла; ε_k — коэффициент конвективной составляющей.

Согласно методике расчета работы [6], ε_k рассматривается как случайная нормально распределенная величина. Диапазон изменения ε_k при сварке листов из коррозионно-стойкой стали принимали в пределах 1,05—4,8 [7].

Расчет формы и величины наплыва выполняли по методике работы [8], согласно которой положение каждой точки свободной поверхности сварочной ванны описывается уравнением

$$\sigma \frac{\partial^2 Z / \partial R^2}{\sqrt{[1 + (\partial Z / \partial R)^2]^3}} = \rho g Z_m, \quad (6)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения; R — координата поверхности по оси R ; ρ — плотность расплава, зависящая от температуры; g — ускорение свободного падения; Z_m — металлостатическая высота.

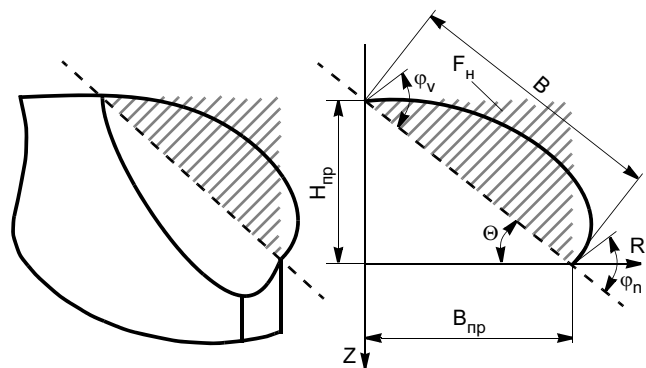


Рис. 4. Схема формирования свободной поверхности сварочной ванны

Решение данного дифференциального уравнения после подстановки $r = R/a_k$, $z = Z/a_k$, $a_k = \sqrt{\sigma/(g\rho)}$ в параметрической форме имеет вид интегральных C-кривых (рис. 4):

$$z^2 = z_0^2 + 2(1 - \cos(\varphi)); \quad (7)$$

$$R = \int_0^\varphi \frac{\cos(\varphi) d\varphi}{\sqrt{z_0^2 + 2(1 - \cos(\varphi))}}$$

или S-кривых [8]:

$$z^2 = 2(\cos(\varphi) - \cos(\varphi_0)); \quad (8)$$

$$R = \int_0^\varphi \frac{\cos(\varphi) d\varphi}{\sqrt{2(\cos(\varphi) - \cos(\varphi_0))}}.$$

В качестве граничных условий выбирали площадь сечения наплавленного металла F_H и ширину шва B , безразмерные аналоги которых определяются по формулам $b_0 = B/a_k$ и $f_0 = F_H/a_k$.

Для C-кривых решение имеет вид следующей системы уравнений:

$$b_0 \cos(\Theta) = \int_0^{\varphi_n} \frac{\cos(\varphi) d\varphi}{\sqrt{z_0^2 + 2(1 - \cos(\varphi))}} - \int_0^{\varphi_v} \frac{\cos(\varphi) d\varphi}{\sqrt{z_0^2 + 2(1 - \cos(\varphi))}}; \quad (9)$$

$$b_0 \sin(\Theta) = \sqrt{z_0^2 + 2(1 - \cos(\varphi_n))} - \sqrt{z_0^2 + 2(1 - \cos(\varphi_v))};$$

$$f_0 \sin(\Theta) = \cos(\Theta - \varphi_v) - \cos(\varphi_n - \Theta),$$

для S-кривых:

$$b_0 \cos(\Theta) = \int_{\varphi_0}^{\varphi_n} \frac{\cos(\varphi) d\varphi}{\sqrt{2(\cos(\varphi) - \cos(\varphi_0))}} \pm \int_{\varphi_0}^{\varphi_v} \frac{\cos(\varphi) d\varphi}{\sqrt{2(\cos(\varphi) - \cos(\varphi_0))}}; \quad (10)$$

$$b_0 \sin(\Theta) = \sqrt{2(\cos(\varphi_n) - \cos(\varphi_0))} \pm \sqrt{2(\cos(\varphi_v) - \cos(\varphi_0))};$$

$$f_0 \sin(\Theta) = \cos(\Theta + \varphi_n) - \cos(\varphi_v + \Theta).$$

Если $b_0 \sin(\Theta) > 2$, то использовали систему уравнений для S-кривых, в противном случае — для C-кривых.

Численная реализация модели

Численную реализацию математической модели осуществляли методом конечных разностей. Конечно-разностная сетка имеет две области: с постоянным шагом в области высоких градиентов температур и с переменным вдоль осей R и Z в области низких градиентов температур, изменяющимся по геометрической прогрессии (рис. 5).

Решение задачи теплопереноса осуществляли по неявной разностной схеме методом теплового

баланса. На границе тела принимали обычные граничные условия 3-го рода:

$$\left[\mp \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha(T)(T - T_0) \right]_{z=0} = q(r, \varphi, t); \quad (11)$$

$$\left[\mp \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha(T)(T - T_0) \right]_{z=H} = 0;$$

$$\left[\mp \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha(T)(T - T_0) \right]_{z=0, R} = 0,$$

где $\alpha(T)$ — эффективный коэффициент теплоотдачи, включающий потери на радиацию и конвекцию, вычисляемый по формуле (4).

Задачу решали в квазилинейной постановке по времени, системы разностных уравнений — методом прогонки вдоль осей R и Z , учитывая замкнутость расчетной сетки, вдоль оси φ — методом циклической прогонки.

Так как процесс носит импульсный характер, в расчете использовали как точное значение сварочного тока, так и среднеинтегральное за цикл "период паузы + период импульса":

$$I_{св} = \frac{\int_{t_{им}}^{t_{пз}} I(t) dt}{t_{им} + t_{пз}} = \frac{t_{им} I_{им} + t_{пз} I_{пз}}{t_{им} + t_{пз}}. \quad (12)$$

Необходимость введения среднеинтегрального значения тока возникает при малых значениях времени импульса и паузы (менее 0,1 с), так как при реализации модели шаг по времени не должен превышать этих значений, поскольку это приведет к недопустимо высоким затратам машинного времени.

Коэффициент теплопроводности в общем случае определяется по следующим формулам:

если металл находится в твердой фазе,

$$\lambda_{эф}(T) = \lambda(T);$$

если металл находится в жидкой фазе,

$$\lambda_{эф}(T) \approx \varepsilon_k \lambda(T).$$

Фазовые превращения, которые имеют место при плавлении и кристаллизации, определяются по уравнению скорости образования жидкой фазы

$$C'_{ж} = R_{т-ж} C_t - R_{ж-т} C_{ж}, \quad (13)$$

где $R_{т-ж}$, $R_{ж-т}$ — температурозависимые скорости превращения твердой фазы в жидкую и жидкой в твердую соответственно; C_t , $C_{ж}$ — концентрации твердой и жидкой фаз.

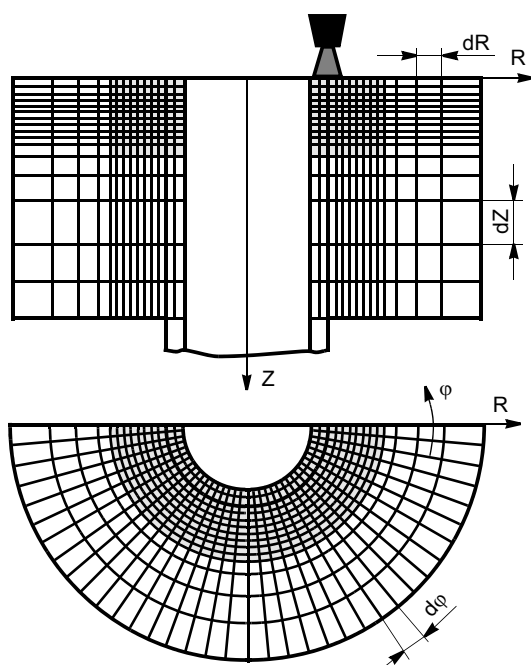


Рис. 5. Конечно-разностная модель трубного соединения

Скорость образования жидкой фазы $C'_ж$ рассчитывается только в области между изотермами ликвидуса T_{liq} и солидуса T_{sol} :

$$\begin{aligned} \text{если } T \leq T_{sol}, C_ж = 0 \text{ и } C'_ж = 0; \\ \text{если } T \geq T_{liq}, C_ж = 1 \text{ и } C'_ж = 0. \end{aligned}$$

Как следствие, в модели учитываются локальные эффекты выделения и поглощения теплоты

$$T_{sol} \leq T \leq T_{liq}, Q = Q - \Delta Q C'_ж \Delta t, \quad (14)$$

полная величина которых (при изменении $C_ж$ от 0 до 1) в точности совпадает со значением скрытой теплоты плавления ΔL .

Алгоритм реализован в среде Compaq Visual Fortran. Программа имеет модульную структуру "Препроцессор — Процессор — Постпроцессор". Препроцессор в текстовом режиме реализует ввод исходных данных. Процессор предназначен для реализации математических подмоделей и также выполнен в виде подпрограмм. Постпроцессор реализует подготовку для визуализации и возможной последующей обработки.

Экспериментальная верификация модели

Верификацию математических моделей осуществляли на заводских опытных образцах ($\delta_{тр} = 1$ мм, $d_{тр} = 12$ мм, $R_{дс} = 30$ мм, $H_{дс} = 30$ мм (см. рис. 1)) из

стали 12X18H10T путем сопоставления величин наплыва и зоны расплавления, полученных расчетным и экспериментальным путями, а также сравнением параметров термических циклов в различных зонах ОШЗ. Изображение шлифов получали, используя высокоточный планшетный сканер Microtek ScanMaker 6800. Измерение параметров термических циклов проводили на установке сбора информации, принципиальная схема которой приведена на рис. 6.

При выполнении экспериментов варьировали ток и длительность импульса, длительность паузы, скорость сварки и положение электрода относительно стыка "труба — трубная доска". В целом результаты численных экспериментов хорошо согласуются с экспериментальными данными (рис. 7), что подтверждает адекватность разработанной численной модели.

Численный эксперимент

При проведении численного эксперимента в качестве варьируемых факторов использовали ток и длительность импульса, длительность периода и скорость сварки. Длительность паузы вводится опосредованно через длительность импульса и периода. Предварительные исследования позволили исключить из числа факторов положение электрода относительно стыка "труба — трубная доска"; этот вывод полностью согласуется с данными работы [9]. В качестве основной функции отклика использовали глубину проплава

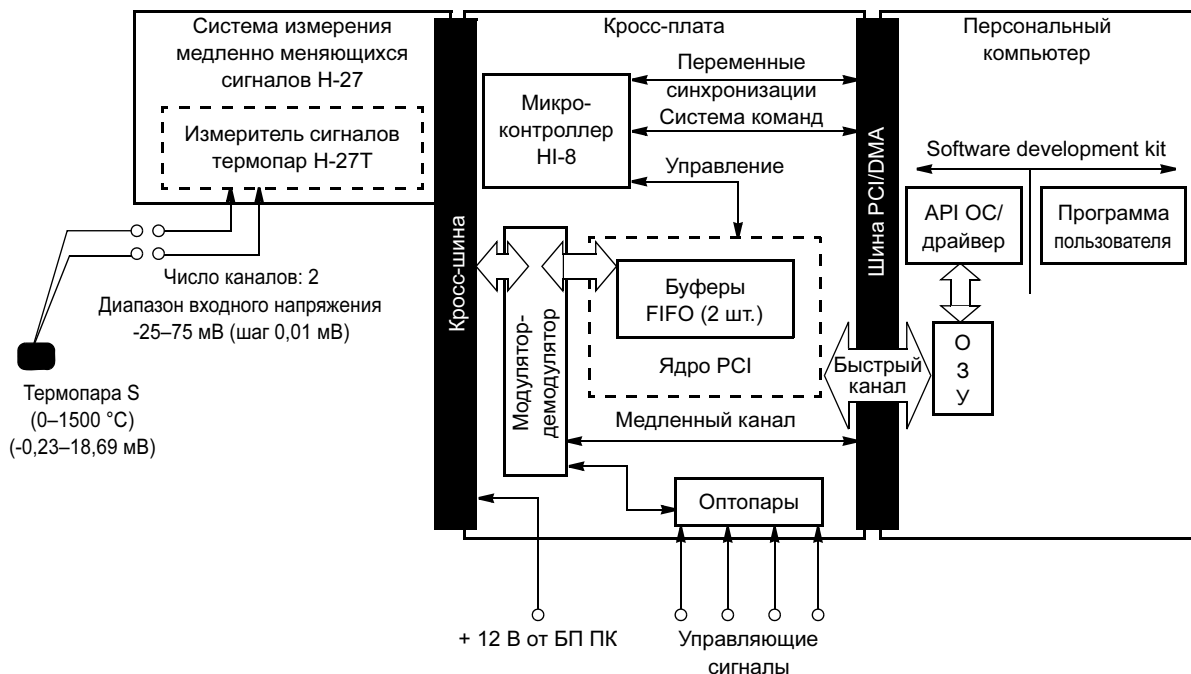


Рис. 6. Принципиальная схема установки сбора информации

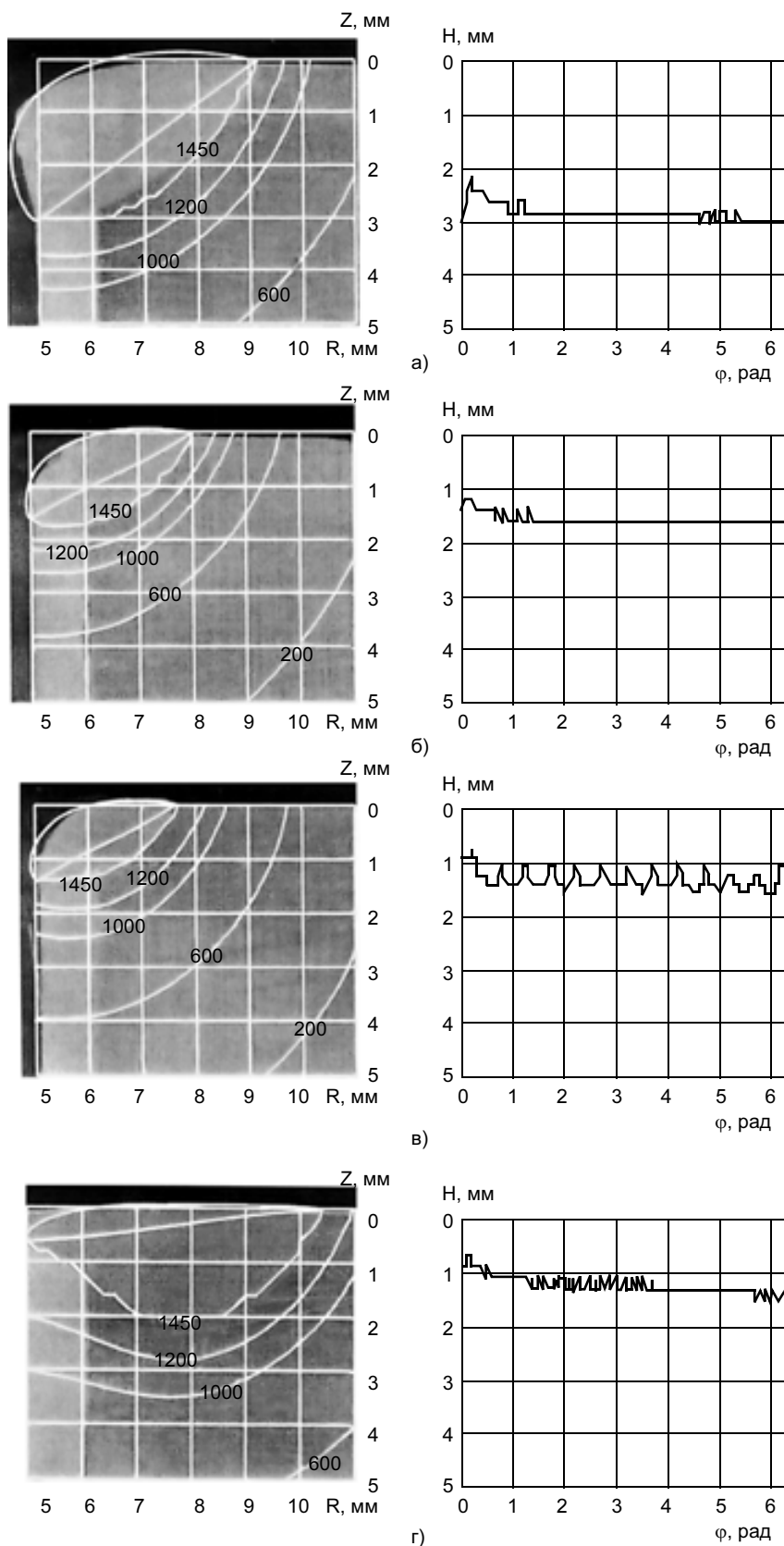


Рис. 7. Результаты верификации математических моделей

ления, максимальное значение которой определяли методом крутого восхождения.

При проведении численного эксперимента выявили две трудности. Первая — наличие трех ограничивающих параметров: величины наплыва на внутреннюю поверхность трубы, колебания глубины проплавления, степени перекрытия сварных точек. Вторая — естественные ограничения интервалов варьирования некоторых факторов (длительности импульса и периода).

Поэтому численный эксперимент проводили в два этапа. На первом определяли область варьируемых факторов, при которых получаются требуемые значения глубины проплавления, колебаний глубины проплавления, степени перекрытия сварных точек; величину наплыва не анализировали. На втором этапе проводили анализ всех перечисленных факторов и строили регрессионные модели (см. таблицу).

Согласно полученным результатам, на глубину проплавления по стыку в первую очередь влияют скорость сварки, ток и время импульса, а длительность периода — наименее существенно. Волнистость корня шва в первую очередь зависит от скорости сварки и длительности периода. Увеличение этих параметров режима сварки вызывает увеличение волнистости; в меньшей мере влияет длительность импульса — с ростом времени импульса волнистость уменьшается. Влияние тока импульса выявлено не было. В наибольшей мере на величину наплыва влияют ток и время импульса и скорость сварки. Увеличение времени и тока импульса ведет к существенному увеличению величины наплыва, повышение скорости сварки, наоборот, — к уменьшению. Наибольшее влияние на степень перекрытия оказывают скорость сварки и длительность периода — увеличение этих параметров режима сварки при-

№ п/п	Примечание	$I_{им}, A$	$v_{св}, мм/с$	$t_{им}, с$	$T_{пер}, °C$	$H_{пр}, мм$	$\delta H_{пр}, мм$	$\Sigma L_{нап}, мм$	P
Численный эксперимент									
0	Нулевой уровень	90	2,0	0,5	1,0				
1	Интервал варьирования	10	0,5	0,2	0,2				
+1	Верхний уровень	100	2,5	0,7	1,2				
-1	Нижний уровень	80	1,5	0,3	0,8				
1		-1	-1	-1	-1	1,8	0	0,3	0,34
2		+1	-1	+1	-1	2,8	0	1,0	0,29
3		-1	-1	+1	+1	2,2	0	0,5	0,5
4		-1	+1	-1	+1	1,2	0,8	0,2	0,63
5		+1	+1	-1	-1	1,8	0,2	0,3	0,43
6		+1	-1	-1	+1	2,0	0	0,3	0,38
7		-1	+1	+1	-1	1,8	0	0,3	0,38
8		+1	+1	+1	+1	2,0	0,4	0,4	0,5
h_j	$h_0 = 1,025$	0,02	-0,5	1,25	-0,5				
$h_j \times I_j$		0,2	-0,25	0,2	-0,1				
	Шаг при изменении $I_{им}$ на 5	5	-4	5	-10				
δh_j	$\delta h_0 = -0,775$	0	0,3	-0,25	0,5				
$\delta h_j \times I_j$		0	0,15	-0,05	0,1				
ΣI_j	$\Sigma I_0 = 0,044$	$9 \cdot 10^{-3}$	-0,225	0,688	-0,312				
$\Sigma I_j \times I_j$		0,09	0,113	0,138	-0,062				
p_j	$p_0 = 0,176$	$-3 \cdot 10^{-3}$	0,1	-0,069	0,356				
$p_j \times I_j$		-0,03	0,05	0,01	0,07				
Регрессионные уравнения									
$H_{пр} = 1,03 + 0,02I_{им} - 0,5v_{св} + 1,25t_{им} - 0,5T$ $\delta H_{пр} = -0,08 + 0,3v_{св} - 0,25t_{им} + 0,5T$ $\Sigma L_{нап} = 0,044 + 0,009I_{им} - 0,225v_{св} + 0,688t_{им} - 0,312T$ $P = 0,176 - 0,003I_{им} + 0,1v_{св} - 0,069t_{им} + 0,356T$									
Данные, полученные регрессионным анализом									
1		100	2,0	0,5	1,0	2,15	0,2	0,5	0,40
2		95	2,0	0,5	1,0	2,05	0,2	0,5	0,42
3		90	2,0	0,5	1,0	1,95	0,2	0,4	0,43
4		85	2,0	0,5	1,0	1,85	0,2	0,4	0,45
5		80	2,0	0,5	1,0	1,75	0,2	0,3	0,46

водит к резкому уменьшению степени перекрытия. В меньшей мере влияют ток и время импульса. Увеличение этих параметров соответственно увеличивает степень перекрытия сварных точек. На основании полученных результатов определен оптимальный режим сварки для трубы размером 12×1 мм из стали 12X18H10T: $I_{им} = 95 A$, $v_{св} = 2$ мм/с, $t_{им} = 0,5$ с, $T_{пер} = 1,0$ с.

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель нестационарной двухфазной задачи теплопроводности при импульсной дуговой сварке труб с трубными досками. Экспериментальная верификация подтвердила адекватность полученной модели.

2. Разработанная модель сварки труб с трубными досками позволяет определить параметры процесса импульсной сварки, при которых обеспечивается максимальная глубина проплавления и величина наплыва, не превышающая заданную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудко Д. А., Шнайдер Б. И., Погребиский Д. М. Перекрытие точек при импульсно-дуговой сварке неплавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1975. № 8. С. 45—49.
2. Вагнер Ф. А., Степанов В. В. Выбор параметров режима сварки пульсирующей дугой и их влияние на свойства сварных соединений // Сварочное производство. 1968. № 5. С. 14—16.
3. Tsai N. S., Eagar N. W. Distribution of the heat and current fluxes in gas tungsten arc // Metallurgical Transaction. 1985. N 12. P. 841—846.
4. Vinokurov V. A. Welding Stresses and Distortions / Translated by J. E. Baker. The British Library, Lending Division, 1977. P. 118—119.
5. Miettinen J. Calculation of Solidification Related Thermo-physical Properties for Steels // Metals and Materials Transactions. 1986. Vol. 9B. P. 587—600.
6. Numerical Simulation on Transformation Process during Multi-Pass Tig Welding / A. V. Tsarkov, G. P. Pantuhov, N. E. Hannerz, P. Kihlmark // Mathematical Modelling of Weld Phenomena. 2005. N 7. P. 219—234.
7. Славин Г. А., Трохинская Н. М. О связи тепловых и гидродинамических процессов в ванне при сварке непрерывно горящей дугой тонколистовых материалов // Сварочное производство. 1983. № 4. С. 4—6.
8. Березовский Б. М. Математическое моделирование формирования горизонтальных швов на наклонной плоскости // Автоматическая сварка. 1988. № 1. С. 26—31.
9. Степанов В. И. Изготовление теплообменного аппарата с использованием титановых сплавов // Сварочное производство. 2001. № 5. С. 53—57.

Е. Л. ФУРМАН, д-р техн. наук, **М. В. ГОРИН**, аспирант
ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет —
УПИ (Екатеринбург)

Влияние легирующих элементов на склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин

Повышение стойкости прессового инструмента горячего деформирования достигается наплавкой рабочих поверхностей износостойкими материалами. Непрерывное развитие производства ставит перед исследователями задачи по разработке новых износостойких материалов. Новый наплавочный материал для повышения стойкости прессового инструмента горячего деформирования помимо обеспечения необходимых эксплуатационных свойств наплавленного металла должен иметь хорошую свариваемость, т. е. противостоять образованию горячих трещин при наплавке. Известно, что образование горячих трещин происходит на этапе кристаллизации сварочной ванны, когда наплавленный металл находится в твердо-жидком состоянии, т. е. на завершающей стадии процесса затвердевания сварочной ванны под действием растягивающих деформаций, появление которых обусловлено неравномерным сварочным нагревом. Появление или отсутствие трещин зависит от ряда факторов, в том числе содержания и соотношения легирующих элементов в наплавленном металле. Поэтому высокая технологичность наплавочного материала обеспечивает получение наплавленного металла высокого качества [1, 2].

На основании анализа научно-технических данных [3—9] и с учетом высокой стоимости отдельных элементов для исследуемой композиции наплавленного металла были выбраны следующие легирующие элементы: хром, вольфрам, марганец, кремний, титан и железо как основа. Для исследования влияния факторов в выбранной композиции на параметр оптимизации проводили полный факторный эксперимент типа 2^3 по методу Бокса-Уилсона. Факторами в данном случае являются вольфрам, хром, марганец. В качестве параметра оптимизации принимали технологическую прочность ν . Содержание кремния и титана в напла-

вленном металле было постоянным и составляло примерно 1 и 0,2 % соответственно. Матрица полного факторного эксперимента типа 2^3 (основной уровень, интервал варьирования, величина параметра оптимизации) представлена в табл. 1.

На основании матрицы планирования для реализации линейного плана с учетом коэффициентов перехода по методике работы [10] рассчитаны и изготовлены восемь составов порошковых проволок, обеспечивающих после наплавки химический состав металла, соответствующий заданному матрицей. Расчетный состав порошковых проволок приведен в табл. 2.

Для определения склонности наплавочного материала к образованию горячих трещин применяли методику количественной оценки технологической прочности наплавленного металла, суть которой заключается в том, что затвердевающий металл подвергается принудительному растяжению внешними силами с различными скоростями с целью определения критического темпа растя-

Таблица 1

Изучаемые факторы	Свободный член	Mn	W	Cr	ν , мм/мин
Основной уровень (0)		10	7	2	
Шаг варьирования (I)		1	1	1	
Нижний уровень (-1)		9	6	1	
Верхний уровень (+1)		11	8	3	
Код	X_0	X_1	X_2	X_3	
1	+	-	-	-	6,9
2	+	+	-	-	7,1
3	+	-	+	-	8,2
4	+	-	-	+	7,7
5	+	+	+	-	8,2
6	+	+	-	+	7,7
7	+	-	+	+	8,2
8	+	+	+	+	8,2

Таблица 2

Содержание компонентов в шихте, %				
Cr	W	Mn	FeSi	FeTi
1	6	9	2	1
1	6	11	2	1
1	8	9	2	1
3	6	9	2	1
1	8	11	2	1
3	6	11	2	1
3	8	9	2	1
3	8	11	2	1

жения, достаточного для возникновения горячих трещин. Исследования технологической прочности наплавленного металла проводили на машине ЛТП. Для испытаний использовали образцы размером $12 \times 40 \times 110$ мм из стали Ст3.

Сварку образцов проводили под флюсом АН-20 по режимам, применяемым при наплавке порошковыми проволоками: сварочный ток 280—300 А, напряжение дуги 32—34 В, скорость наплавки 35 м/ч, скорость подачи проволоки 95 м/ч. Диаметр сварочной проволоки составлял 3,2 мм.

Время деформации определяли расчетным путем: по длине кратера (2,5 см) определяли время существования металла в жидком состоянии, которое при выбранных режимах составляло 2,57 с. Для того чтобы деформация металла происходила не только в жидком, но и в твердо-жидком состоянии, время деформации увеличили вдвое. В работе [2] при исследовании наплавочного материала на склонность к образованию горячих трещин установлено, что исходная величина зазора между образцами при испытании существенно влияет на показатель технологической прочности. Поэтому для получения стабильных результатов с учетом рекомендаций данной работы образцы для испытаний устанавливали в тисках машины встык с зазором

между собой 0,5 мм, который выставляли при помощи пластинки (щупа).

По полученным результатам эксперимента рассчитали уравнение регрессии

$$Y = 7,775 + 0,03X_1 + 0,43X_2 + 0,18X_3 + 0,15X_2X_3 - 0,025X_1X_2X_3,$$

где Y — параметр оптимизации — технологическая прочность; X_1 — X_3 — факторы.

Из анализа уравнения следует, что марганец (X_1) практически не влияет на технологическую прочность, а вольфрам (X_2) и хром (X_3) повышают ее.

ВЫВОД

При увеличении содержания легирующих элементов в наплавленном металле повышается технологическая прочность, а следовательно, уменьшается вероятность образования горячих трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров Н. Н. Горячие трещины при сварке. М.: Машгиз, 1952. 220 с.
2. Толстых Л. Г. Исследование и разработка дисперсионно-твердеющей стали для наплавки прессового инструмента. Дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1975. 159 с.
3. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Вексель Ю. Г. Специальные стали. 2-е изд. М: МИСИС, 1999. 408 с.
4. Штампы для горячего деформирования металлов / Под ред. М. А. Тылкина. М.: Высшая школа, 1977. 220 с.
5. Марочник сталей и сплавов / Под ред. А. С. Зубченко. 2-е изд. М: Машиностроение, 2003. 784 с.
6. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 184 с.
7. Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные мартенситно-старенные стали. М.: Металлургия, 1970. 158 с.
8. Бирман С. Р. Экономнолегированные мартенситно-старенные стали. М.: Металлургия, 1974. 152 с.
9. Перкас М. Д. Структура и свойства высокопрочных сталей со стареющим мартенситом // Металловедение и термическая обработка металлов. 1970. № 7. С. 19—20.
10. Толстых Л. Г., Фурман Е. Л. Наплавочные материалы и технология наплавки: Учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ — УПИ, 2004. 102 с.

УДК 621.791.92

**С. П. АНАНЬЕВ, аспирант, В. А. КОРОТКОВ, д-р техн. наук,
Б. Л. ГОЛОВИЗНИН, инж., В. В. КОЗЛОВ, инж.
ФГУП "ПО Уралвагонзавод" (Нижний Тагил)**

Совершенствование технологий наплавки крановых колес

Ходовые колеса моста и тележки грузоподъемных кранов эксплуатируются в тяжелых условиях, претерпевая высокие удельные нагрузки, интенсивно изнашиваются по поверхностям качения и ребордам. При износе реборд на 15—20 мм, со-

гласно техническим требованиям, колеса подлежат утилизации, что экономически нецелесообразно. С целью снижения материальных потерь изношенные рабочие поверхности восстанавливают наплавкой.

Для наплавки крановых колес в основном применяли проволоки Нп-30ХГСА и Св-18ХГС, обеспечивающие твердость материала наплавленной поверхности 260 НВ [1]. Это значение больше, чем твердость колеса в горячекатаном (не термоупрочненном) состоянии — 200 НВ. Поэтому в 60—70-х годах прошлого века наплавленные колеса имели больший срок службы, чем ненаплавленные. Однако в конце 70-х годов ситуация изменилась. На промышленных предприятиях освоили технологию термического упрочнения крановых колес, получившую название сорбитизация [2]. В результате твердость колес увеличилась до 290—370 НВ и стала превышать твердость наплавленных колес. Соответственно срок службы сорбитизированных колес увеличился по сравнению с колесами, наплавленными проволоками Нп-30ХГСА и Св-18ХГС. В результате экономическая целесообразность наплавки существенно снизилась.

Известна [3] наплавка крановых колес проволокой ПП-30Х10Г10, повышающая износостойкость до 10 раз. Это происходит благодаря следующему. В обычных сталях внешнее давление уплотняет (наклепывает) поверхностные слои и, когда наклеп достигает предельной величины, начинается изнашивание за счет отделения микрочастиц (диспергированием). Сталь 30Х10Г10 под воздействием наклепа одновременно претерпевает структурное $\gamma \rightarrow \varepsilon$ -превращение. Мягкий (200 НВ) аустенит (γ) превращается в твердый мартенсит (ε). Таким образом, значительная часть подводимой энергии тратится не на уплотнение (наклеп) металла, а на его структурное превращение. В результате начало процесса изнашивания во времени отдалается и срок службы увеличивается.

Недостаток проволоки ПП-30Х10Г10 заключается в том, что она многократно замедляет не только изнашивание, но и обточку наплавленного слоя. По этой причине уменьшают площадь наплавленного слоя, нанося его только на верхнюю часть реборд [4]. В целом же наплавка крановых колес проволокой ПП-30Х10Г10 не нашла широкого применения.

Заметное повышение твердости и износостойкости достигается применением проволоки ПП-АН120 (18Х1Г1М) (ГОСТ 26101—84). Твердость наплавленного металла (280—380 НВ) увеличивается до твердости материала сорбитизированного колеса. Но наплавка этой проволокой часто сопровождается порообразованием, особенно при наплавке реборд. Кроме того, она требует проведения термической обработки после наплавки для предотвращения образования трещин. В результате наплавка крановых колес проволокой ПП-АН120 также не нашла широкого применения, как и наплавка проволокой ПП-30Х10Г10.

На ФГУП "ПО Уралвагонзавод" применяется наплавка крановых колес проволокой Нп-30ХГСА диаметром 4 мм с твердостью наплавленного слоя 260—275 НВ, что меньше твердости изготавливаемых здесь же сорбитизированных колес (286—364 НВ). Установлено, что наплавленные колеса служат в 1,5 раза меньше, чем новые. Это стало основанием к проведению исследований по применению нового материала для увеличения твердости наплавленного металла и срока службы крановых колес.

Согласно ГОСТ 26101—84 и 10543—82, среди стандартных низкоуглеродистых, низколегированных проволок только проволока ПП-АН120 обеспечивает твердость наплавленного слоя на уровне твердости сорбитизированного колеса. Выше были отмечены недостатки проволоки ПП-АН120, затрудняющие ее применение. В связи с этим исследовали проволоку экспериментального химического состава Нп-18Х2Г2, увеличивающую твердость наплавленного металла до уровня твердости сорбитизированного колеса¹.

Для исследования износостойкости проводили испытания на машине трения МИ-8 по схеме диск — колодка (рис. 1) без применения смазки. Колодку изготавливали из рельса Р43 (сталь 70, сорбитизированная, 280 НВ). Диск выполняли из колесной стали 65Г в сорбитизированном состоянии (314 НВ), а также с наплавкой проволоками Нп-18Х2Г2 и Нп-30ХГСА. Микроструктура наплавленного металла приведена на рис. 2. Испытывали три сочетания пар трения (табл. 1), по пять образцов в каждой паре. Испытания проводили в четыре этапа длительностью по 5 мин: три этапа с нагрузкой 20 кг и последний — с нагрузкой 30 кг. Общее время

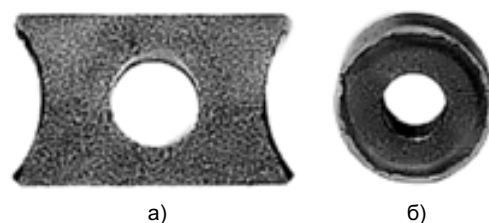


Рис. 1. Образцы для испытаний на трение: а — колодка; б — диск

Таблица 1

Колодка (сталь 70)	Номер пары трения	Диск (сталь 65Г)
Сорбитизированная	1 2 3	Сорбитизированная С наплавкой проволокой Нп-18Х2Г2 С наплавкой проволокой Нп-30ХГСА

¹Патент 50150 (РФ).

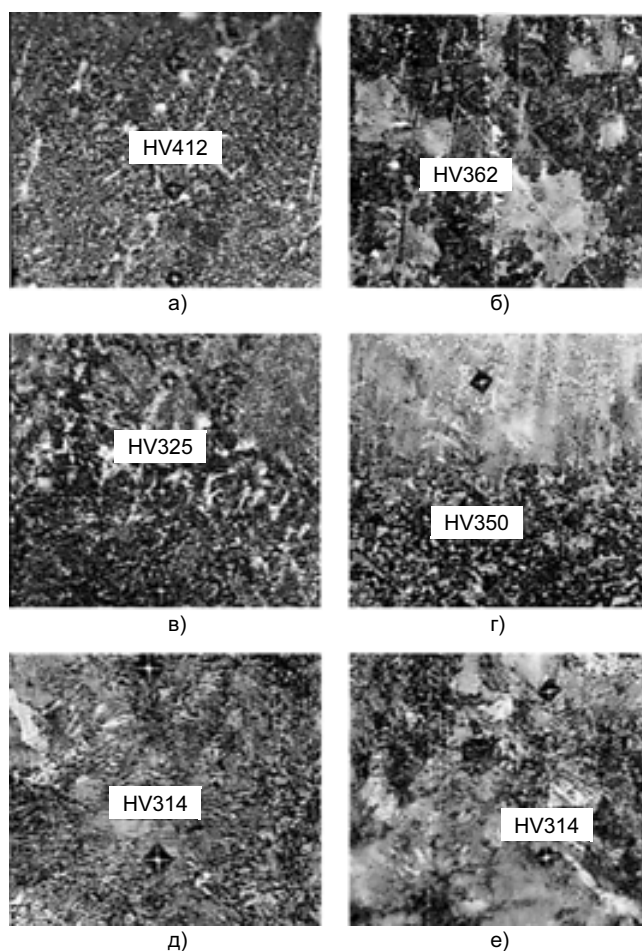


Рис. 2. Микроструктура ($\times 300$) металла диска, наплавленного проволоками Нп-18Х2Г2 (а, в, г) и Нп-30ХГСА (б, д, е): а, б — наплавленный металл; в, г — ЗТВ; д, е — основной металл

испытаний каждой пары 20 мин. После каждого этапа проводили контрольное взвешивание образцов и определяли износ. Динамика среднего по пяти парам износа колодок и дисков представлена на рис. 3.

Можно отметить, что у диска из сорбитизированной стали 65Г при увеличении нагрузки с 20 до 30 кг износ увеличивается (см. рис. 3, а), но этого почти не происходит у диска, наплавленного про-

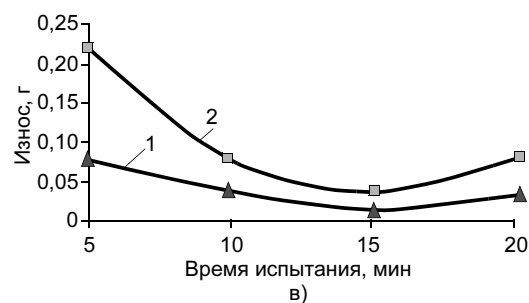
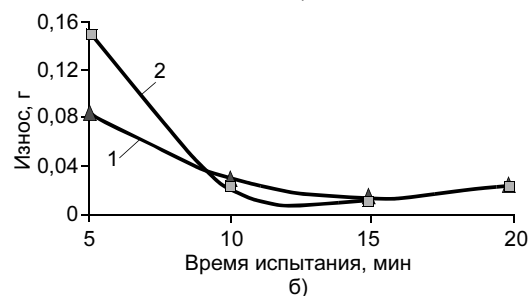
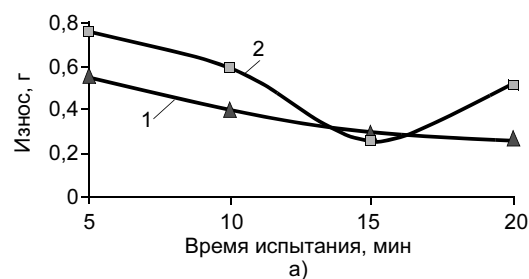


Рис. 3. Износ при испытаниях на трение: 1 — колодка — сталь 70 сорбитизированная; 2 — диск — сталь 65Г сорбитизированная (а), с наплавкой проволоками Нп-18Х2Г2 (б) и Нп-30ХГСА (в)

волокой Нп-18Х2Г2 (см. рис. 3, б), что свидетельствует о более высокой износостойкости по сравнению с сорбитизированной сталью 65Г. Металл, наплавленный проволокой Нп-30ХГСА, в этом отношении занимает промежуточное положение между металлом, наплавленным проволокой Нп-18Х2Г2, и сорбитизированной сталью 65Г (см. рис. 3, в).

Из табл. 2, где представлены данные по износостойкости различных материалов, следует, что

Таблица 2

Колодка				Диск			
Сталь 70, рельсовая	Твердость, HV	Износ*, г	Коэффициент износостойкости	Сталь 65Г, колесная	Твердость, HV	Износ*, г	Коэффициент износостойкости
Сорбитизированная	280	1,5074	1,0	Сорбитизированная	314	2,1246	1,0
	280	0,1504	10	Наплавка проволокой Нп-18Х2Г2	412	0,2048	10,4
	280	0,1612	9,3	Наплавка проволокой Нп-30ХГСА	362	0,4133	5,1

* Суммарный износ — за 20 мин испытаний, средний — по пяти парам образцов.

при наплавке проволокой Нп-30ХГСА износостойкость диска увеличивается в 5,1 раза. При этом износ колодки снизился в 9,3 раза. В еще большей мере (в 10,4 раза) увеличилась износостойкость диска, наплавленного проволокой Нп-18Х2Г2, при том же уровне снижения износа материала колодки (в 10 раз). Таким образом, износостойкость наплавленного металла проволокой Нп-18Х2Г2 оказалась в 2 раза выше, чем проволокой Нп-30ХГСА, и в 10,4 раза выше сорбитизированной стали 65Г.

Наплавку проволокой Нп-18Х2Г2 проводили на термоупрочненном (сорбитизированном) изношенном колесе диаметром 700 мм из стали 65Г. При этом одну реборду толщиной 5 мм и примыкающую часть дорожки качения предварительно протачивали на глубину 2 мм для удаления наклепа. Другую реборду толщиной 7 мм наплавливали без предварительной проточки прямо по наклепанной поверхности.

Наплавку обеих реборд на режиме $I = 450$ А, $U_d = 30$ В, $v_n = 25$ м/ч, $v_{пп} = 132$ м/ч проводили без предварительного подогрева, так как во время наплавки обод колеса быстро разогревается. После наплавки колесо укрывали асбестовой тканью для замедленного остывания. Наплавку проточенной реборды толщиной 5 мм выполняли проволокой Нп-18Х2Г2 диаметром 3 мм, а другой реборды — проволокой Св-18ХГС диаметром 3 мм. В обоих

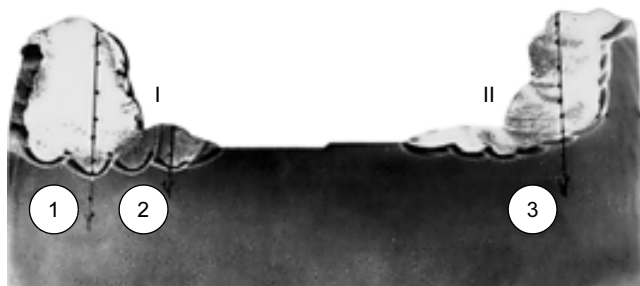


Рис. 4. Темплет кранового колеса из сорбитизированной стали с наплавленными ребордами: I — остаточная толщина реборды 5 мм, наплавка проволокой Нп-18Х2Г2; II — 7 мм, Св-18ХГС

Таблица 3

Наплавочная проволока	Средняя твердость, НВ		
	Наплавленный металл	ЗТВ	Основной металл колеса
Нп-18Х2Г2: линия 1 на рис. 4 линия 2 на рис. 4	324	296	286
	383	283	
Св-18ХГС: линия 3 на рис. 4	254	288	

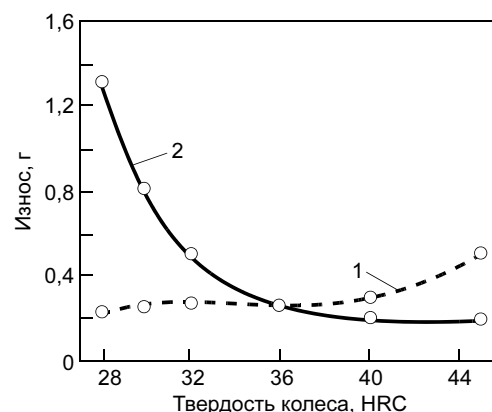


Рис. 5. Зависимость износа пары рельс (1) — колесо (2) от их твердости

случаях использовали флюс АН-348А. Из наплавленного колеса газовой горелкой вырезали сегмент обода с длиной окружности около 300 мм. Из его средней части затем вырезали темплет (рис. 4) для металлографических исследований и замера твердости (табл. 3).

Из табл. 3 следует, что наплавленный металл имеет твердость 324—383 НВ, что соответствует твердости материала вновь изготовленного сорбитизированного колеса. Здесь уместно заметить, что, как показали исследования ВНИИЖТ [5], при данном уровне твердости колеса не вызывают ускоренного изнашивания рельсов (рис. 5). Твердость металла, наплавленного проволокой Св-18ХГС, оказалась (254 НВ) ниже твердости материала сорбитизированного колеса, т. е. подтвердились результаты практического применения. Наплавка без подогрева могла вызвать появление закалочных структур повышенной твердости при укладке первого слоя. Однако этого не произошло (см. табл. 3), и твердость наплавленного слоя (383 НВ) в этом сечении незначительно отличается от средней (324 НВ). Таким образом, наплавку крановых колес проволокой Нп-18Х2Г2 вполне допустимо выполнять без предварительного подогрева, если начинать с наплавки реборд. Микроструктура металла, наплавленного проволокой Нп-18Х2Г2, приведена на рис. 6.

Экспериментальная наплавка колеса показала, что остаточная толщина реборд 5 и 7 мм не препятствует их восстановлению. Это важное заключение, так как на ФГУП "ПО Уралвагонзавод" в наплавку направляли лишь колеса с остаточной толщиной реборд 12 мм. По этой причине большая часть изношенных колес с толщиной реборд 5 и 7 мм восстановлению не подлежала, что необоснованно увеличило затраты на приобретение новых колес.

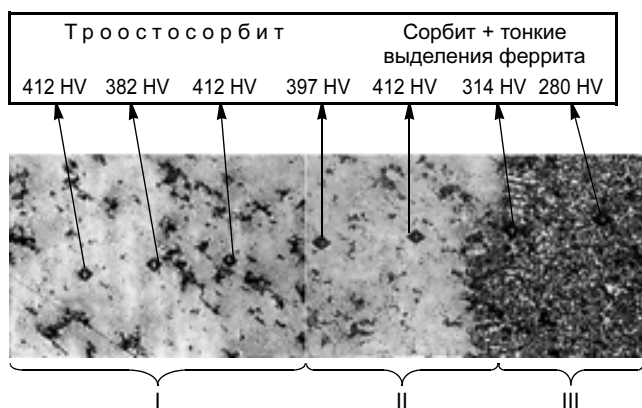


Рис. 6. Микроструктура ($\times 300$) металла, наплавленного проволокой Нп-18Х2Г2: I—III — наплавленный металл, ЗТВ, основной металл соответственно

В металлургическом цехе на грузоподъемный кран были установлены новые колеса диаметром 400 мм, холостые, и колеса с наплавкой проволокой Нп-18Х2Г2, приводные. Наплавленные колеса заменили через 17 мес. За это время одно холостое (новое) колесо заменили через 3,5 мес., вновь установленное колесо спустя 7,5 мес. отремонтировали наплавкой прямо на кране. Второе холостое (новое) колесо отремонтировали наплавкой на кране через 6,5 мес., а еще через 4,5 мес. его сняли. Таким образом, средняя стойкость новых и наплавленных вручную колес составляет 5,5 мес., что в 3,1 раза меньше стойкости колес, наплавленных проволокой Нп-18Х2Г2.

В вагонном цехе на мостовом кране были установлены четыре наплавленных проволокой Нп-18Х2Г2 крановых колеса диаметром 600 мм. Наблюдения показали, что до предельной величины холостые колеса изнашивались за 19 мес.; ведущие же колеса после 22 мес. сохранили небольшой запас (около 10 %) работоспособности. Обычно на данном кране сорбитизированные колеса из стали 65Г служат от 6 до 8 мес. Таким образом, наплавка проволокой Нп-18Х2Г2 увеличила срок службы колес в 2,3—2,8 раза.

Из двух приведенных примеров видно, что наплавленные проволокой Нп-18Х2Г2 колеса оказались более износостойкими, чем сорбитизированные, при равном уровне твердости. Вероятно, это объясняется дендритной структурой наплавленного металла, которая, как отмечают различные исследователи, например в работе [5], более износостойкая, чем равноосная.

ВЫВОДЫ

1. Износостойкость крановых колес, наплавленных проволокой Нп-18Х2Г2, при испытаниях на трение почти в 2 раза выше, чем наплавленных

проволокой Нп-30ХГСА, и в 10 раз выше износостойкости сорбитизированной стали 65Г.

2. Срок службы колес, наплавленных проволокой Нп-18Х2Г2, увеличился в 2,3—3,1 раза. При этом для предупреждения трещин не требуется дополнительных мер сверх обычно применяемых.

3. Более износостойкие колеса, наплавленные проволокой Нп-18Х2Г2, не вызывают ускоренного изнашивания рельсов. Износ рельсовой стали при трении о металл, наплавленный проволокой Нп-18Х2Г, в 10 раз ниже, чем при трении о сорбитизированную сталь 65Г, и соответствует износу при трении о металл, наплавленный проволокой Нп-30ХГСА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстов И. А., Коротков В. А. Справочник по наплавке. Челябинск: Металлургия, 1990. 341 с.
2. Тылкин М. А. Справочник термиста ремонтной службы. М.: Металлургия, 1981. 648 с.
3. Наплавка быстроизнашивающихся деталей металлом типа 30Х10Г10 / М. И. Разиков, И. А. Толстов, Б. А. Кулишенко, Б. Т. Зубов // Сварочное производство. 1966. № 9. С. 30—31.
4. Назаров Н. С., Бондарчук Н. А., Данильчук Н. П. Комбинированная наплавка крановых колес // Металлургическое машиностроение и ремонт оборудования. 1980. № 9. С. 70—72.
5. Перспективные требования к стали для железнодорожных колес / Ю. М. Парышев, Д. М. Школьник, А. М. Вихрова и др. // Бюллетень научно-технической информации "Черная металлургия". 1987. № 20. С. 21—23.
6. Васильев Н. П. Об анизотропии износостойкости наплавленного металла // Сварочное производство. 1980. № 5. С. 21—22.

Уважаемые читатели!

Оформить подписку на свой профессиональный журнал
"СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"

Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

Подписные индексы:

70807 — по каталогу
Агентства "Роспечать";

27860 — по Объединенному каталогу;
60256 — по каталогу "Почта России".

**В. В. ЗЕНИН, д-р техн. наук, Д. И. БОКАРЕВ, канд. техн. наук,
О. Г. КОЗИНЦЕВ, инж.**
Воронежский политехнический институт

Устройство для дистанционной регистрации трещин в материалах и сварных швах

Создание автоматизированных систем контроля и регистрации трещин для радиографического, рентгенотелевизионного, магнитопорошкового, капиллярного и других методов контроля, результаты которых оператор оценивает визуально по изображению дефекта, является актуальной задачей [1].

Наиболее трудоемкими и наименее надежными механизмами автоматизированных систем неразрушающего контроля являются устройства сканирования [1]. Основная особенность процесса сканирования — поддержание постоянного зазора между преобразователем, источником поля и контролируемым изделием. В особо ответственных агрегатах, где затруднен подход к контролируемой поверхности сложной конструкции, используются специальные самоходные установки, которые следят за изменением профиля контролируемой поверхности.

Для регистрации роста длины трещины применяют различные устройства. Например, датчик электрического сопротивления с упругим элементом в виде скобы с прямыми стержнями, описанный Крафтом, двухконсольный датчик Фишера, в конструкции которого в качестве гибких упругих элементов использованы консольные балки из термически обработанного бета-сплава, при этом приклеенные эпоксидным клеем фольговые тензодатчики расположены с обеих сторон каждой из балок и соединены в мостовую схему и др. [2]. Недостатками данных конструкций являются низкая точность определения развития трещины в условиях длительной эксплуатации изделий, а также невозможность дистанционного контроля.

Из современных устройств регистрации трещин в материалах и сварных швах известно устройство для обследования сварных швов¹, содержащее оптический объектив и две симметрично расположенные инфракрасные сенсорные системы. Однако устройство работает в непосредственном контакте с исследуемым материалом, что не всегда возможно, например, в атомной энергетике,

нефтяной и химической промышленности, космической технике и др.

Существует устройство с одновременным получением радиографических и томографических данных², содержащее блок источника детектора рентгеновского или гамма-излучения, держатель контролируемого объекта, размещенный между источником и детектором. При всей сложности конструкции это устройство также не решает проблему дистанционного контроля и требуется непосредственный контакт с исследуемым швом.

Разработан также ультразвуковой дефектоскоп для автоматического контроля сварных швов³, содержащий последовательно соединенные синхронизатор, генератор зондирующих импульсов, преобразователи, усилитель, первый временной селектор, блок сравнения, каскад "НЕ" и исполнительный блок, а также второй временной селектор, включенный между усилителем и блоком сравнения, два пороговых каскада, входы которых подключены к выходу усилителя, два триггера, первые входы которых соединены с выходом первого порогового каскада, вторые входы — с входом второго порогового каскада, а выходы — с входом соответствующего временного селектора, формирователь импульсов, включенный между синхронизатором и вторым входом каскада "НЕ", а оба преобразователя расположены асимметрично по обе стороны сварного шва. Это устройство также не решает проблему дистанционного контроля и требуется непосредственный контакт с исследуемым швом.

Известна установка для измерения разности электрических потенциалов со схемой экранирования и заземления [2], содержащая источник постоянного тока, датчик, вольтметр-усилитель. В данной конструкции по измеренному отношению разности потенциалов на концах датчика при нулевой и измеряемой длине трещины судят об относительной длине трещины. Такая конструкция характеризуется низкой точностью измерения за счет потери чувствительности при изменении крепления контактов датчика, а также паразитных сете-

¹ Заявка 4-31058 (Япония).

² Патент 2668629 (Франция).
³ А. с. 1472816 (СССР).

вых наводок на входные цепи вольтметра-усилителя. Кроме того, данное устройство также не позволяет дистанционно регистрировать усталостные трещины в исследуемом объекте.

С целью повышения точности регистрации трещин в материалах и сварных швах при дистанционном контроле разработано специальное устройство.

На рис. 1 приведена блок-схема устройства, на рис. 2 — временные диаграммы его работы.

Устройство работает следующим образом. Тактовый генератор 12 вырабатывает импульсы, которые поступают одновременно на счетчик импульсов 10 и первый 5 и второй 13 одновибраторы. Счетчик импульсов в момент времени t_1 с помощью первого 2 и второго 6 мультиплексоров осуществляет выбор шин X и Y датчика 3, а дешифратор 11 производит выбор адреса соответствующей ячейки запоминающего устройства (ЗУ) 15. Информация, записанная в ЗУ, отражается на индикаторе 4 с помощью буферного усилителя 7. Сигналы лог. "1", записанные в ЗУ, отображаются на индикаторе в виде светящихся точек, что соответствует разрыву шин датчика по координатам X и Y.

В момент времени t_1 импульс управления длительностью $(t_4 - t_1)$ поступает на вход управления источника постоянного тока 1, который формирует импульс тока J_u , поступающий через первый или второй аналоговый мультиплексор (в зависимости от выбранного адреса) на одну из линий X или Y шины датчика (рис. 2, а).

Если на участке, где проходит линия шины датчика, нет трещины, то сопротивление $R_{л}$ этой шины

мало и падение напряжения ΔU на этой линии меньше заданного порогового напряжения $U_{пор}$ (контролируется прибором 9), поступающего на вход компаратора 8 (см. рис. 1):

$$\Delta U = J_u R_{л} < U_{пор},$$

т. е. происходит сравнение напряжения на линии шины ΔU с пороговым напряжением $U_{пор}$.

Если напряжение $\Delta U < U_{пор}$, то на выходе компаратора формируется потенциал лог. "0", это показывает, что линия шины цела и на этом участке трещины нет. Выходной сигнал U_B компаратора поступает на вход "данных" ЗУ, а с помощью одновибратора вырабатывается импульс U_{13} длительностью $(t_2 - t_1) \sim 0,5(t_2 - t_1)$, необходимый для устранения влияния переходных процессов при переключении и выбора различных линий шины датчика (рис. 2, б).

От заднего фронта импульса (рис. 2, в, г) в момент времени t_2 формирователь 14 (см. рис. 1) вырабатывает строб-импульс записи U_{14} (см. рис. 2, г), который записывает значение потенциала входа "данные" ЗУ. На этот вход информация поступает с выхода компаратора. Выходной сигнал компаратора, соответствующий сигналам лог. "0" или "1", записанным в ЗУ, через буферный усилитель управляет работой индикатора, на котором отражается информация о наличии трещины и ее форме. Сигнал лог. "1" на выходной шине ЗУ отражается на индикаторе в виде светящихся точек.

При образовании трещины в момент времени t_9 происходит разрыв линии X и Y шины датчика, при этом напряжение ΔU на шине превышает $U_{пор}$

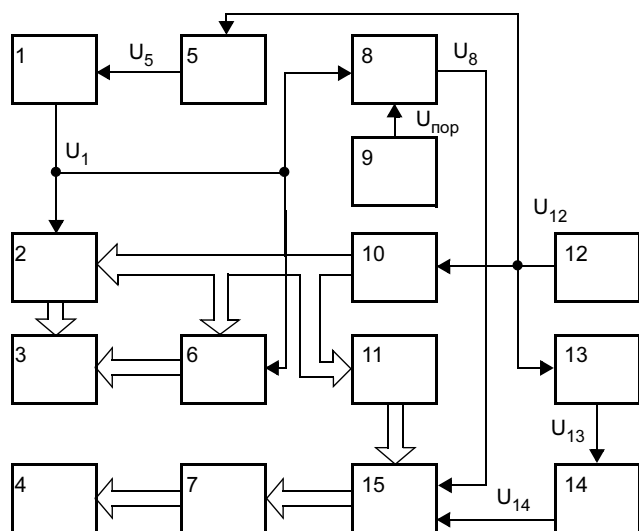


Рис. 1. Блок-схема устройства для регистрации трещин в материалах и сварных швах

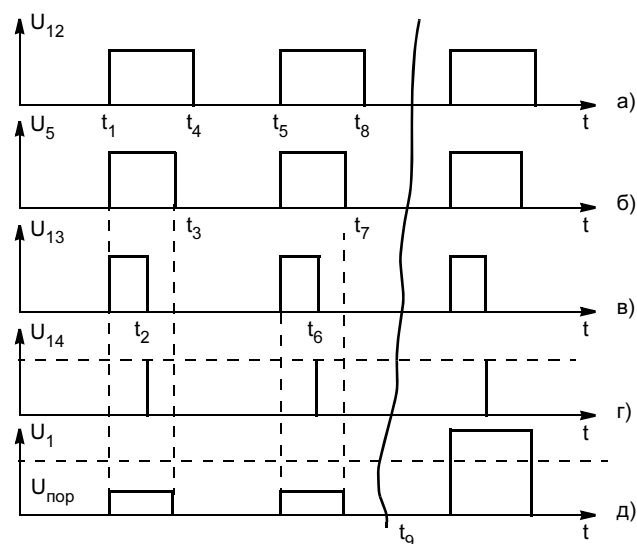


Рис. 2. Диаграммы работы устройства

(рис. 2, д) и с выхода компаратора по соответствующим адресам информация в виде сигнала лог. "1" записывается в ЗУ и отображается на индикаторе светящимися точками, которые повторяют форму (размеры в масштабе) трещины.

Выбирая координатные линии шины датчика (размер по X и Y и их количество), можно добиться требуемой разрешающей способности при воспроизведении формы и размеров трещины на индикаторе.

Экспериментальные исследования показали, что предлагаемое устройство позволяет дистанци-

онно осуществлять контроль трещин в материалах и сварных швах, в том числе трещин сложной формы в условиях длительной эксплуатации, на труднодоступных участках в сложных конструкциях, при этом значительно повышается точность контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник* / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др. / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. 448 с.
2. *Браун У., Сроули Дж.* Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации. М.: Мир, 1972. 220 с.

УДК 621.791.92

**В. А. КОРОТКОВ, д-р техн. наук, И. Д. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук,
Д. С. БАБАЙЛОВ, инж.
ООО "Композит" (Нижний Тагил)**

Исследование наплавленного слоя опорных роликов машин непрерывного литья заготовок

Машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) все шире применяются в промышленности. Формируется тенденция разливать всю выплавляемую сталь на МНЛЗ. Разрабатываются специальные радиально-ковочные машины, работающие в одной технологической линии с МНЛЗ, на которых скорость обработки синхронизируется со скоростью литья непрерывной заготовки. Применение таких комплексов не только позволяет снизить расходы на ковочный (прокатный) нагрев, но и устраняет в металле литейные трещины.

Важным элементом МНЛЗ являются ролики, отводящие заготовку от кристаллизатора. Сначала они ее загибают, затем на радиусном участке переводят из вертикального положения в горизонтальное и, наконец, разгибают, направляя на горизонтальный рольганг.

Для первых МНЛЗ в 1960—1970-х гг. ролики изготавливали из углеродистых сталей с учетом механических нагрузок. Но эксплуатация показала, что тепловые циклы приводят к образованию трещин разгара, которые инициируют поломки. Поэтому в 80-х годах стали применять теплостойкие (24ХМ1Ф) и жаропрочные (20Х13) стали.

Из соображений экономии ролики начали наплавлять. При этом ролик выполняли из относительно дешевой теплостойкой стали (24ХМ1Ф), а наплавку — из более дорогостоящей, жаропрочной. Сначала для наплавки использовали проволо-

ки из хромистых сталей — Св-12Х13, ПП-20Х17. Затем в 90-х годах появились их модификации — Св-12Х15Г2 ("Композит", Нижний Тагил), ПП-14Х14Н2МФБ ("Велтек", Киев), 04Х12Н4АМГС (Welding Alloys, Англия) и др. Однако это привело к удорожанию наплавки и в настоящее время она достигает 30—50 \$ USA за 1 кг наплавленного металла. Удорожание связано с ростом стоимости новых наплавочных проволок, особенно двух последних, и с увеличением трудоемкости самого процесса наплавки. Например, на Магнитогорском металлургическом комбинате при наплавке проволокой ПП-25Х5ФМС предусматривается высокий отпуск (650 °С). При этом окалиной повреждаются шейки, что вынуждает наплавлять их, даже если они не были изношены. Наплавке двух рабочих слоев проволокой ПП-04Х12Н4АМГС предшествует наплавка дорогостоящего хромистого подслоя. При наплавке проволокой ПП-14Х14Н2МФБ требуется подогрев до 300—450 °С, нередко затрудняющий отделение шлаковой корки, и отпуск при 570 °С, при котором повреждаются окалиной уже обработанные шейки.

Дополнительное легирование хромистых сталей направлено на увеличение их жаропрочности при рабочей температуре роликов. В работе [1] показано, что даже при идеальном контакте водоохлаждаемого инструмента с разогретой заготовкой температура поверхности инструмента относи-

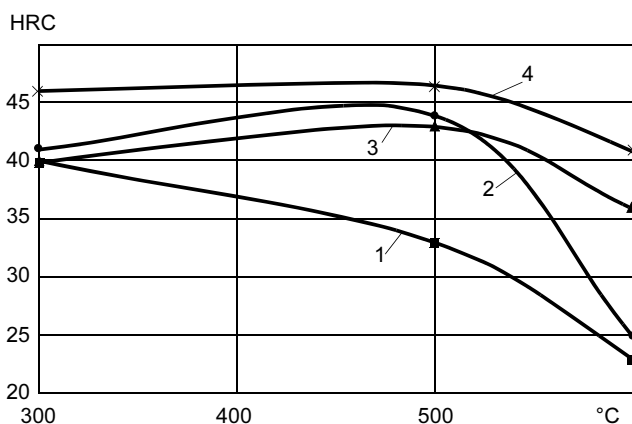


Рис. 1. Зависимость твердости металла наплавленного слоя от температуры отпуска: 1—4 — соответственно проволоки Св-12Х13, Св-12Х15Г2, ПП-04Х12Н4АМГС и ПП-14Х14Н2МБФ

тельно невелика и составляет ~500 °С. Аналогичный результат получен в работе [2]. Для оценки жаропрочности наплавов измеряли твердость после отпуска в области рабочей температуры роликов.

На рис. 1 видно, что наплавка проволокой Св-12Х13 при температуре отпуска 500 °С снижает твердость в отличие от других проволок, в том числе Св-12Х15Г2. Последняя по сравнению с проволокой Св-12Х13 несколько дороже (на 25 %), но при этом помимо жаропрочности улучшает сварочные качества. При наплавке проволокой Св-12Х13 в защитных газах (СО₂ и аргоновых смесях) плохое растекание наплавленного металла, формируются шнуроподобные валики, плохо сплавляющиеся между собой. Кроме того, часто появляются поры. В результате наплавку проволокой Св-12Х13 выполняют под флюсом, что не позволяет использовать ее для наплавки роликов малых диаметров. Многолетний опыт применения проволоки Св-12Х15Г2 показал, что она отлично наплавляется как в СО₂, так и аргоновых смесях, с хорошим формированием наплавленного металла, без образования пор и трещин. В чистом аргоне и смесях (Аг + СО₂) обеспечивается струйный перенос наплавленного металла, при котором разбрызгивание невелико и, как следствие, не требуется специальных остановок на очистку сопла горелки от налипших брызг расплавленного металла. Высокая стойкость против образования холодных трещин позволяет наплавлять ею ролики диаметром до 250 мм без предварительного подогрева, а при наплавке больших диаметров ограничиваться подогревом до 200 °С, что существенно меньше принятого подогрева до 300—450 °С. Наплавку роликов МНЛЗ проволокой Св-12Х15Г2 производят как с последующим отпуском при 300—450 °С, так и без него, но с замедленным охлаждением под асбестовым по-

крывалом. При этом отпуск при 450 °С не снижает твердости металла наплавленного слоя, которая сохраняется на высоком уровне (400 НВ) (рис. 2).

Подтверждение более высокой жаропрочности наплавленного металла при наплавке проволокой Св-12Х15Г2 по сравнению с проволокой Св-12Х13 получено при эксплуатации роликов МНЛЗ № 2 на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате (НТМК). На рис. 3 показан край бочки ролика со стороны средней опоры, имеющий глубокие трещины разгара, разделанные перед заваркой абразивным

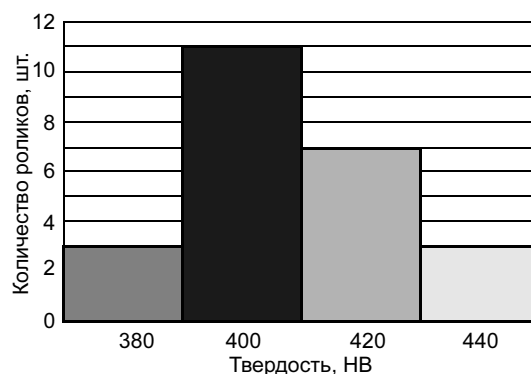


Рис. 2. Твердость наплавленных проволокой Св-12Х15Г2 роликов после отпуска



Рис. 3. Разделка глубоких трещин разгара

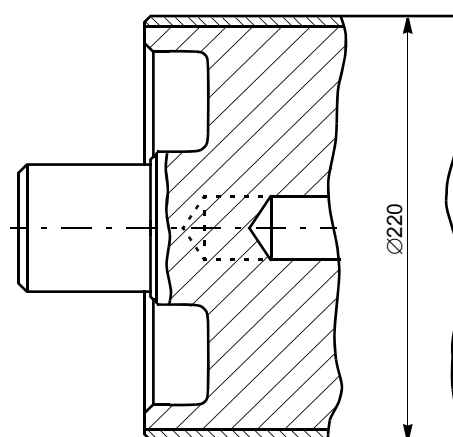


Рис. 4. Центральное отверстие для подвода воды (сплошная линия — стандартное, штриховая — экспериментальное)



Рис. 5. Поломки роликов по шейкам

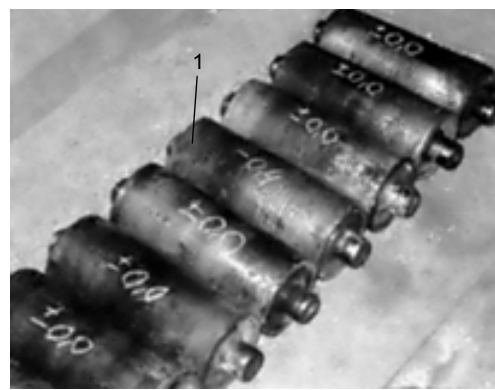


Рис. 6. Ролики, направленные на ремонт: 1 — износ по диаметру бочки лишь у одного ролика из семи

кругом. Этот конец ролика охлаждается хуже, так как центральное отверстие для подвода воды не достигает шейки (рис. 4). Когда на Уралмаше попытались увеличить глубину сверления, то начались поломки шеек (рис. 5), поэтому в эксплуатации находятся ролики с неодинаковым охлаждением концов. Наблюдения показали, что в роликах, наплавленных проволокой Св-12Х13, перегретый край у средней опоры повреждается глубокими трещинами гораздо чаще, чем в роликах, наплавленных проволокой Св-12Х15Г2.

В табл. 1 приведены значения износа роликов в средней части. Из анализа данных следует, что однотипные ролики с различными наплавленными слоями изнашиваются примерно одинаково. Таким образом, в нормальных условиях эксплуатации роликов МНЛЗ преимущества дорогостоящих импортных наплавочных проволок ПП-04Х12Н4АМГС, ПП-14Х14Н2МБФ по сравнению с проволоками отечественных производителей (Св-12Х13, Св-12Х15Г2) не выявлены.

С конца 90-х годов ролики МНЛЗ № 1 на НТМК наплавляют проволокой Св-12Х15Г2. На повторную наплавку ролики чугунных подшипников скольжения поступают в основном из-за износа шеек. Бочку же браковали не по трещинам разга-

ра или износу (рис. 6), а в связи с образованием "лысок" при заклинивании ролика в подшипниках. После того как вращение роликов в осях заменили на вращение бочки ролика на неподвижной оси износ шеек и заклинивание роликов почти устранились, стойкость роликов возросла в 2,5 раза (табл. 2) и достигла уровня стойкости роликов, поставляемых фирмой "Фест Альпини" при пуске МНЛЗ № 1 в 1995 г.

При разливке на МНЛЗ № 2 в два ручья блюмовой заготовки размером 240 × 240 мм вблизи средней опоры на поверхности роликов проявляется краевой эффект от неравномерного нагрева. Он выражается в утяжке металла с образованием морщинистого рельефа. Установлено, что на ролике, наплавленном проволокой ПП-04Х12Н4АМГС краевой эффект усилился, а при наплавке проволокой Св-12Х15Г2 не проявился.

Следует отметить преимущество высоколегированных проволок ПП-04Х12Н4АМГС и ПП-14Х14Н2МБФ при более высокой температуре эксплуатации 600 °С. Вероятно, не все конструкции роликов и условия эксплуатации позволяют избежать перегрева и их температура может превышать расчетную 500 °С. В этих случаях применение

Таблица 1

Размер ролика (диаметр × длина), мм	Количество плавок, шт.	Наплавочный материал (твердость, HRC)	Уменьшение диаметра, мм
330 × 520	6450	ПП-04Х12Н4АМГС (40)	0,3
		ПП-14Х14Н2МБФ (48)	0,2
		ПП-14Х14Н2МБФ (46)	0,2
		Св-12Х13 (42)	0,2
330 × 820	6450	Св-12Х15Г2 (45)	0,2
		Св-12Х15Г2 (43)	0,3
		ПП-14Х14Н2МБФ (47)	0,2
		ПП-14Х14Н2МБФ (47)	0,3
205 × 500	1059	ПП-04Х12Н4АМГС (43)	0,6
		Св-12Х13 (39)	0,7

Таблица 2

Тип ролика	Расход роликов за базовый период, шт.	Отлито стали, т	Стоимость, т/ролик
С вращающейся осью	945	1 123 134	1188
С неподвижной осью	378	1 099 058	2907

дорогостоящих проволок типа ПП-04Х12Н4АМГС и ПП-14Х14Н2МБФ вполне оправдано.

Таким образом, выполненные исследования и производственные испытания показали, что в

нормальных условиях эксплуатации МНЛЗ стойкость роликов, наплавленных экономнолегированными проволоками типа Св-12Х13, Св-12Х15Г2 отечественного производства, сравнима со стойкостью роликов, наплавленных дорогостоящими импортными проволоками типа ПП-04Х12Н4АМГС и ПП-14Х14Н2МБФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков В. А. Расчет оптимальной толщины наплавленного слоя инструмента горячего деформирования // Сварочное производство. 1996. № 3. С. 6—8.
2. Эксплуатация и ремонт металлургического оборудования / В. Б. Крахт, А. П. Гиря, О. Н. Ермаков и др. М.: Металлургия, 1983. С. 28—31.

УДК 621.791.75.03—52:621.865.8

Т. В. АЛПЕЕВА, студентка, А. А. КОТЕЛЬНИКОВ, канд. тех. наук
Курский государственный технический университет

Роботизированное производство сварных ферм для мачтовых сооружений

При сооружении радиомачт, радиобашен, буровых вышек и ряда других конструкций широко используют трубчатые элементы, которые хорошо работают на сжатие и кручение. Применение труб во многих случаях позволяет снизить массу конструкции на 25—50 %, однако их соединение в узле как непосредственно, так и с помощью фасонки оказывается весьма трудоемким. Решетчатые конструкции обычно изготавливают с применением ручного труда и простейших приспособлений.

Снижение трудоемкости и повышение качества решетчатых трубных конструкций достигаются применением роботизированных технологических комплексов (РТК).

В данной работе поставленная задача решена путем создания автоматической сборочно-сварочной линии для производства ферм мачтовых сооружений (рис. 1) длиной до 6 м и высотой до 1,2 м с конструктивными элементами, изготовленными из многосортаментных трубчатых элементов.

Линия (рис. 2) состоит из роликового конвейера 1, пульта управления 2, универсального станда для сборки и прихватки решетчатых металлоконструкций 3, модуля автоматической сборки двух одновременно работающих промышленных роботов РМ-01 для сварки раскосов и стоек с поясами.

Модуль автоматической сборки включает два магазина-питателя поясов ферм 4, магазины-питатели раскосов 5 и стоек 6, промышленный робот

РМ-01 7, порталый манипулятор 8. Точное перемещение универсального станда при сборке и прихватке обеспечивается от привода через зубчатую передачу и шариковинтовую пару. Подача раскосов и стоек к месту схвата манипулятора производится в ориентированном относительно обработанных торцов положении.

Два пояса по одному из каждого магазина подаются по наклонному лотку к точке захвата отсекающего устройства и затем в ложементы универсального станда. Пояса, раскосы и стойки фиксируются в требуемом положении относительно друг друга с помощью ложементов универсального станда.

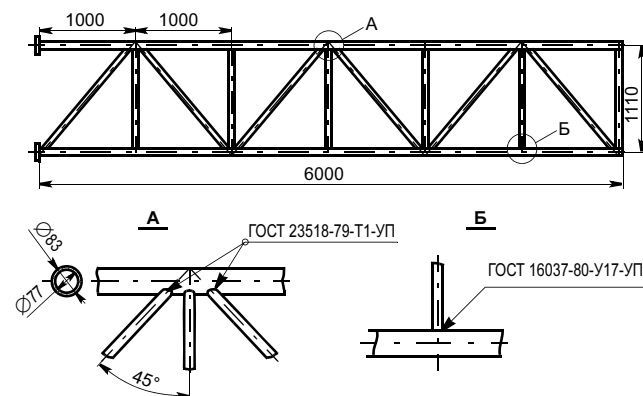


Рис. 1. Ферма мачтового сооружения

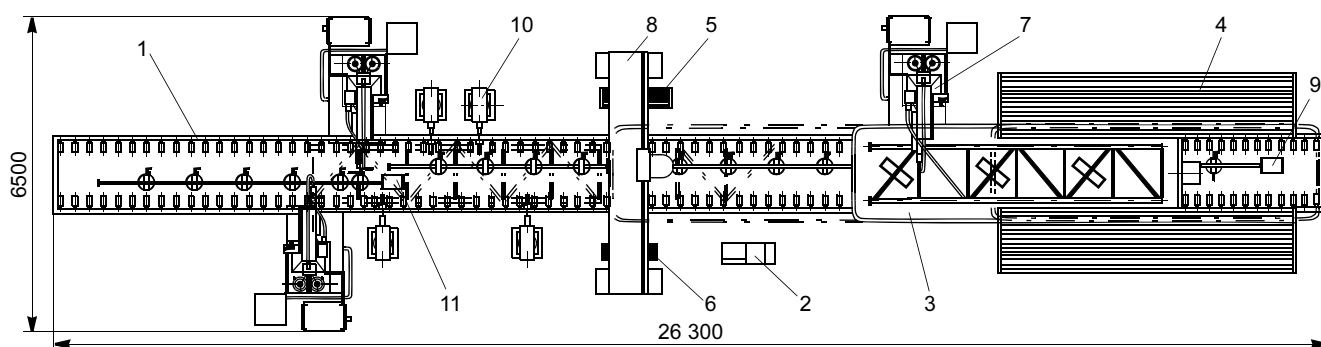


Рис. 2. Автоматическая сборочно-сварочная линия для производства ферм мачтовых сооружений

После фиксации элементов фермы производится прихватка раскосов и стоек к двум поясам с помощью автоматической сварки в CO_2 промышленным роботом РМ-01. При этом каждый раскос и стойка прихватываются к каждому из поясов в двух точках. Перемещение универсального стэнда от одного узла к другому с заданной скоростью осуществляется по программе ЭВМ челночным транспортом 9.

После сборки и прихватки универсальный стэнд перемещается транспортером на позицию для разгрузки фермы и последующей сварки. По команде от ЭВМ включаются нагреватели биметаллических подъемников универсального стэнда, в результате срабатывания подъемников ферма поднимается из ложементов стэнда и фиксируется захватами кантователя штучных грузов 10.

По команде от ЭВМ включается привод челночного транспортера 11 и осуществляется захват крайней стойки фермы вилочным захватом транспортера. При включении вертикальных пневмоцилиндров кантователя ферма укладывается на ролики конвейера (захваты раскрепляются срабатыванием горизонтальных пневмоцилиндров кантователя).

Челночным транспортером ферма подается на одновременную приварку раскосов и стоек к поясам (узел фермы) парой роботов РМ-01. После завершения сварки одного узла ферма перемещается транспортером на шаг между узлами фермы с целью введения в рабочую зону этих же роботов следующего узла фермы для его сварки.

После приварки всех раскосов и стоек с одной стороны фермы челночный транспортер возвращает сваренную конструкцию на позицию кантовки, где ферма кантуется кантователем штучных грузов на 180° и процесс сварки всех раскосов и стоек с противоположной стороны повторяется.

Большие размеры ферм, сложная форма линии соединения, погрешности изготовления раскосов, стоек и поясов, а также погрешности их сборки под сварку затрудняют применение автоматической сварки.

Автоматизация сварки ферм практически возможна только с помощью роботов, оснащенных сенсорными устройствами, обеспечивающими автоматическую корректировку траектории сварочной горелки в зависимости от фактического поло-

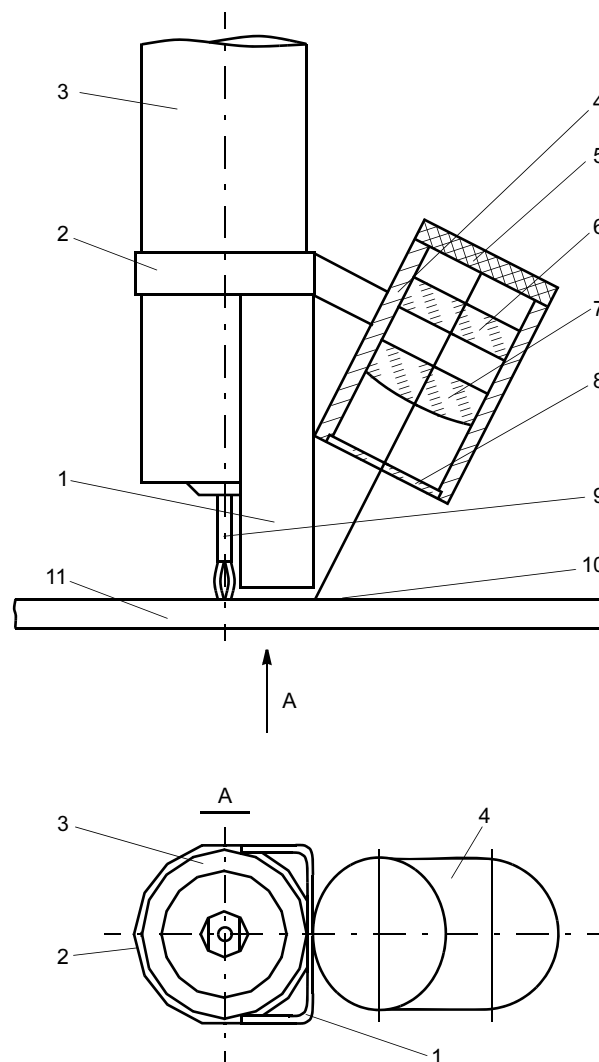


Рис. 3. Видеосенсорное устройство

жения свариваемых элементов в рабочем пространстве.

При оснащении роботов системой адаптации применена прямая горелка. Видеосенсорное устройство (рис. 3) состоит из экрана 1, который хомутом 2 закрепляется на сварочной горелке 3. На хомуте установлена также фотоприемная камера 4, состоящая из фотоприемника 5, интерференционного фильтра 6, объектива 7 и сменного входного окна 8.

При движении электрода 9 по средней линии вдоль стыка 10 излучение от дуги проходит через щель между экраном и свариваемым изделием 11, отражается от его поверхности и попадает на фотоприемную камеру, проходя через сменное входное окно, объектив, интерференционный фильтр и фотоприемник. При этом производится анализ формы стыка перед сваркой и сравнение с эталоном. При недопустимых отклонениях на соответствующие приводы робота поступает команда от ЭВМ для коррекции траектории электрода.

Применение автоматической сборки поясов с раскосами и стойками и прихватки ферм, роботизированной сварки рабочих швов, автоматической кантовки и транспортировки ферм между сборочными и сварочными позициями позволяет значительно сократить число рабочих-сварщиков, улучшить условия труда и повысить качество продукции.

Обслуживание линии предусмотрено всего двумя операторами в смену: одним на позиции сборки ферм (для загрузки магазинов-питателей и наблюдения за работой модуля автоматической сварки) и одним на позиции сварки роботами (для наблюдения за работой роботов и их периферийного оборудования).

Производительность линии — 50 ферм в смену.

Для перехода на выпуск ферм других типоразмеров необходимо заменить управляющую программу и провести настройку универсального стенда (рис. 4) для сборки и прихватки новой конструкции изделия. Настройка универсального стенда производится в следующей последовательности. При помощи нагревательного элемента 2 поддон 1, заполненный легкоплавким металлом, нагревают до температуры плавления легкоплавкого металла; собранный образец решетчатой металлоконструкции помещают в поддон с расплавленным металлом, затем нагрев прекращают. После затвердевания легкоплавкого металла решетчатую конструкцию извлекают из поддона. Для этого включают нагреватели подъемного устройства 3. При этом происходит нагрев биметаллических пластин, которые деформируются за счет различных значений температурных коэффициентов линейного расширения металлов, и приподнимают решетчатую металлоконструкцию над затвердевшим легкоплавким металлом. В результате легкоплавкий металл

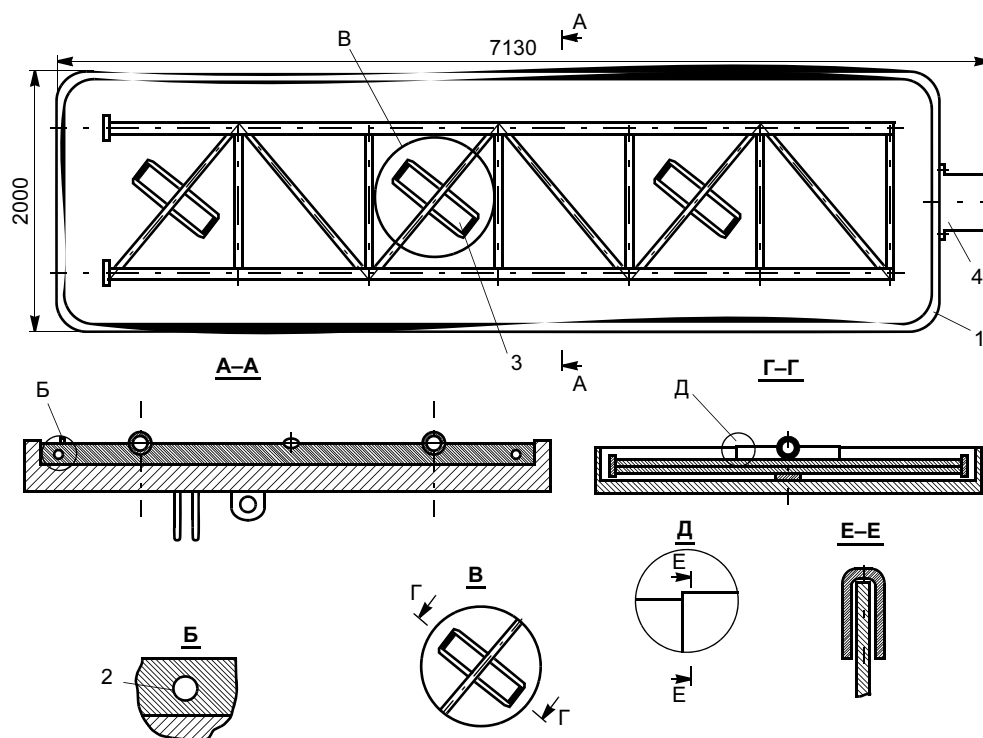


Рис. 4. Универсальный стенд для сборки плоских решетчатых металлоконструкций

принимает форму (рельеф) металлоконструкции. Затем с помощью полученной формы собирают и прихватывают остальные изделия данного типа-размера.

ВЫВОД

Разработанная автоматическая сборочно-сварочная линия позволяет повысить точность взаимозависимых параметров технологического процесса роботизированной сварки многосортамент-

ных трубчатых элементов мачтовых сооружений, значительно сократить число рабочих-сварщиков, улучшить условия труда и повысить качество продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпеева Т. В., Котельников А. А. Технологическое оборудование и оснастка в составе РТК сборки и сварки крупногабаритных узлов // Сварочное производство. 2006. № 4. С. 33—35.
2. Патон Б. Е., Лобанов Л. М. Роботизированное производство сварных ферм для перекрытий промышленных зданий // Автоматическая сварка. 1994. № 12. С. 26—29.

УДК 621.791:621.643.1/2

П. М. КОРОЛЬКОВ, инж.
ООО "Нагрев" (Москва)

Современные методы термической обработки сварных соединений магистральных нефтегазопроводов

В настоящее время и ближайшие годы магистральные газонефтепродуктопроводы (далее магистральные трубопроводы) диаметром до 1420 мм будут прокладывать в регионах нашей страны с холодными климатическими условиями (север Европейской части России, восточные регионы Сибири, Сахалин и др.). Для эксплуатации магистральных трубопроводов в таких климатических условиях требуются легированные стали с высоким уровнем хладостойкости, что обуславливает повышенные требования к строительно-монтажным организациям в обеспечении качества сварочных работ. С этой целью применяют различные технологические операции и, в частности, подогрев для сварки кромок труб (предварительный и сопутствующий) и термическую обработку сварных соединений. К операциям, проводимым с помощью средств нагрева и относящимся к сварочным работам, следует отнести также нагрев выполненных сварных соединений для наложения постоянной гидротеплоизоляции (антикоррозионной изоляции).

Необходимость подогрева для сварки и термической обработки сварных соединений определяется требованиями нормативно-технической документации (НТД). В настоящее время часть магистральных трубопроводов, в частности на Сахалине, проектируется зарубежными организациями с поставкой оборудования и материалов по НТД этих стран. В этом случае сварочные работы, в том числе и термическая обработка сварных соединений, должны выполняться по нормативам этих стран. Например, по нормативам США, которые практиче-

ски считаются международными, согласно коду ASME B 31.8, термическую обработку сварных соединений проводят для углеродистых и низколегированных сталей MO1 (W01) (аналог в России — стали 20, 15ГС, 09Г2С и др.) с толщиной стенок более 19 мм.

В нормативах нашей страны (ВСН 006—89) регламентировано проведение термической обработки сварных соединений промысловых нефтегазопроводов, транспортирующих рабочие среды с высокими содержанием и парциальным давлением сероводорода H_2S . Однако отсутствуют указания по термической обработке сварных соединений магистральных трубопроводов, транспортирующих "чистые" (без содержания H_2S) нефтегазопродукты. Назначение термической обработки таких сварных соединений должно проводиться согласно указаниям проектной документации. Исключения составляют требования, предъявляемые СП 105-34—96 к магистральным газопроводам "Ямал—Европа", для сварных соединений которых предписано проведение термической обработки по режиму высокого отпуска в отдельных случаях (для разнотолщинных стыковых соединений при толщине стенки более 42 мм и др.).

Подогрев для сварки (предварительный до начала сварки) до 100—200 °С в соответствии с требованиями НТД выполняют для свариваемых кромок труб с целью их осушки и создания запаса теплоты, необходимой для успешного проведения сварочного процесса. В отдельных случаях необходимо проведение сопутствующего подогрева в

процессе сварки, когда кромки труб остывают ниже минимальной температуры, предписанной требованиями НТД. При этом особое внимание обращается на недопустимость загрязнения кромок труб (например при подогреве газопламенным способом с использованием пропана), а также при необходимости обеспечения равномерного нагрева.

Термическую обработку сварных соединений магистральных трубопроводов проводят по требованиям НТД, как правило, по режиму высокого отпуска с целью снижения содержания диффузионного водорода и уровня сварочных напряжений, а также улучшения механических свойств и структуры металла сварного соединения.

Подогрев поверхности сварных соединений до 150—200 °С для наложения гидротеплоизоляции выполняют после окончания сварки и контроля качества сварных соединений. Особое внимание при этом обращают на чистоту поверхности и равномерность нагрева различных зон сварного соединения.

При разработке оборудования для выполнения подогрева при сварке, термической обработки и подогрева сварных соединений для наложения антикоррозионной изоляции следует учитывать возможность выполнения этих трех операций с применением одного и того же типа оборудования.

Согласно положениям НТД развитых зарубежных стран, подогрев для сварки является первой фазой термической обработки и включен в НТД по термической обработке сварных соединений [1]. Согласно коду ASME В 31.8, для российского аналога стали М01-1 подогрев для сварки при толщине стенки до 25 мм производят до 10 °С (осушка), а свыше 25 мм — до 79 °С, для российского аналога стали М02-1 при толщине стенки до 13 мм — до 10 °С (осушка), более 13 мм — до 79 °С. Безусловно, при проведении работ в условиях холодного климата температура подогрева должна быть увеличена. Согласно ВСН 006 — 89, подогрев для сварки относится к сварочным операциям и в зависимости от химического состава металла труб, типа электродов и толщины стенки свариваемых труб его температура находится в пределах 100—200 °С.

При подогреве для сварки магистральных трубопроводов применяют четыре технологии: с использованием газопламенного нагрева от кольцевых пропановых горелок, электронагревателей сопротивления и комбинированного действия, индукционного нагрева токами средней частоты до 10 кГц.

Основным методом подогрева при сварке магистральных трубопроводов, проектируемых российскими организациями, является газопламенный нагрев кольцевыми пропановыми горелками. Этот метод нагрева отличается простотой и не требует применения электрических источников питания.

Однако качество подогрева, особенно для труб большого диаметра, может оказаться невысоким из-за трудности осуществления равномерного нагрева по окружности свариваемых кромок труб и их загрязнения от копоти пламени. Кроме того, при работе в северных условиях, когда сварка стыков труб происходит под переносными укрытиями, сложно обеспечить необходимые правила техники безопасности. По этой причине при строительстве магистральных нефтепроводов "Сахалин-II" и "Сахалин-I" диаметром 219—925 мм с толщиной стенки 8—12 мм из низколегированной стали Х65 по проектам "Сахалин Энерджи" (Англия) и "Эксон-Мобил" (США) применение газопламенного подогрева для стыковых соединений запрещено. Для этих целей используют специально изготовленные фирмами РН (Англия) и "Миллер" (США) индукционные установки токов средней и высокой частоты мощностью до 20 кВт. Кроме того, успешно применяется разработанная ООО НПП "Курай" (Уфа) специальная индукционная установка токов средней частоты для подогрева труб диаметром 525—1220 мм (рис. 1).

Техническая характеристика установки

Напряжение питающей сети, В	380, три фазы
Максимальная мощность, кВт	20
Диапазон рабочих частот, кГц	7—10
Ток, А	180
Напряжение, В	110
Охлаждение	Воздушно-принудительное
Кпд, %	90
Диапазон регулирования мощности, %	10—100
Габаритные размеры, мм	450 × 550 × 900
Масса, кг	87
Температура окружающей среды, °С	От 40 до -40
Время подогрева до 100 °С, мин	2—7

Установка укомплектована соединительными кабелями и гибкими индукторами для труб диаметром 525, 625, 920 и 1220 мм. В настоящее время

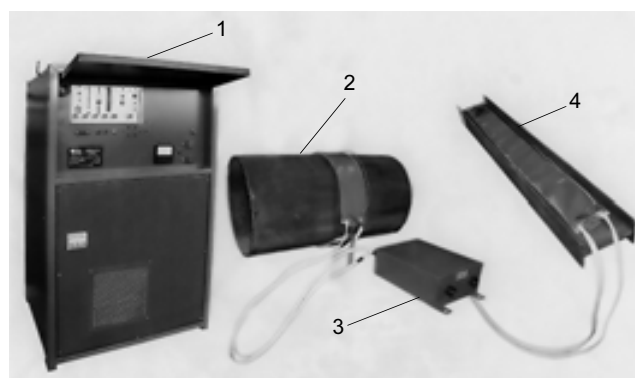


Рис. 1. Установка ООО "НПП Курай" для подогрева при сварке труб диаметром 525—1220 мм: 1 — пульт управления установки; 2 — секция индуктора на трубе; 3 — устройство для соединения секций индукторов; 4 — резервная секция индуктора

проводится разработка аналогичной установки для подогрева при сварке труб диаметром 1420 мм.

Индукционные электронагреватели легко устанавливаются на трубы, имеют высокую удельную мощность до 8 Вт/см².

Применение электронагревателей сопротивления носит ограниченный характер. Электронагреватели типа ГЭН в 1980-х гг. имели значительное применение, однако в последние годы практически не применяются (сняты с производства в 1990 г.) [2]. Применение поверхностных электронагревателей (типа нагревательных матов) мощностью 2,7 кВт (45 А, 60 В), как зарубежных, так и отечественных, нерационально в связи с их небольшими размерами, незначительной удельной мощностью (4—5 Вт/см²) и обязательной необходимостью использования программной установки.

Подогрев для сварки рационально выполнять с использованием электронагревателей комбинированного действия типа КЭН-3 и КЭН-4-3 [3]. Эти электронагреватели обладают высокой удельной мощностью (до 9 Вт/см²), легко устанавливаются на свариваемые трубы, не требуется применения программных установок, допускается выполнение сопутствующего подогрева в процессе сварки, возможно применение для труб диаметром до 1420 мм.

Термическую обработку сварных соединений магистральных трубопроводов диаметром до 1020 мм, транспортирующих среды с H₂S, проводили в нашей стране примерно с 1960 г., используя передвижные программные установки ОТС-62 в комплекте с электронагревателями сопротивления типа ПТО и ГЭН [4]. Для выполнения этих работ в системе Миннефтегазстроя СССР были организованы два специализированных монтажных треста (в Оренбурге и Узбекистане), которые направляли персонал термистов с установками ОТС-62 в различные регионы страны. В 1990-х гг. изготовление этого оборудования было прекращено и в настоящее время в регионах Оренбургской обл. находятся только отдельные единицы. Ремонтные работы на магистральных трубопроводах, транспортирующих среды с H₂S, в регионе Оренбурга проводят с использованием электронагревателей ГЭН, в регионе Астрахани — нагревательными матами мощностью 2,7 кВт.

В настоящее время большой объем работ по строительству магистральных трубопроводов, транспортирующих среды с H₂S, проводят в Казахстане. Термическую обработку сварных соединений проводят, в частности, на двух мобильных комплексах на автомашинах "Урал 6 × 6" с программной установкой "Термо-3000" мощностью 200 кВт, изготовленных ООО РСП "Алексий" (Пермь) (рис. 2) [5]. Установки предназначены для термической обработки сварных соединений труб диаметром

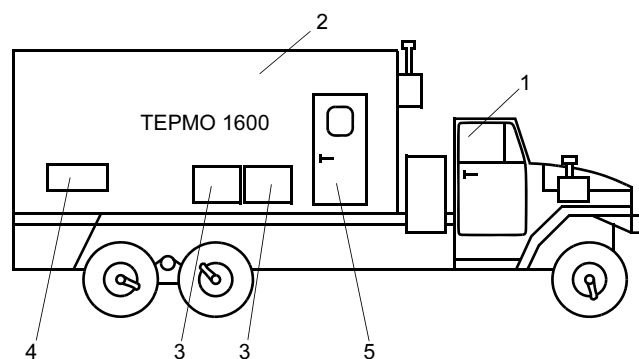


Рис. 2. Мобильный комплекс ООО РСП "Алексий" для термической обработки сварных соединений в условиях трассы: 1 — кабина автомобиля "Урал"; 2 — фургон (кунг); 3, 4 — люки для подключения и хранения кабелей соответственно; 5 — дверь отсека дизель-генератора

до 1420 мм с использованием электронагревателей комбинированного действия КЭН-4-3, изготовленных ООО "Нагрев". В кабине автомобиля вместе с установкой для термической обработки размещен дизель-генератор ДГУ-200. Один такой передвижной комплекс эксплуатируется в ООО "Пермтрансгаз".

В последние годы в России термическую обработку сварных соединений магистральных газопроводов проводили при сооружении газопровода "Голубой поток" (Россия — Турция) [6].

Техническая характеристика автомобиля "Урал 6 × 6"

Номинальная мощность, л. с.	240
Масса груза на шасси, кг	12 000
Масса автомашины, кг	8310
Полная масса мобильного комплекса, кг .	20 535
Максимальная скорость движения автомобиля, км/ч.	75
Габаритные размеры фургона (кунга), мм.	5700 × 2500 × 2100

Техническая характеристика дизель-генератора ДГУ-200

Номинальная мощность, кВт	200
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Удельный расход топлива, кг/(кВт · ч) ...	0,3
Ток.	Переменный, трех- фазный
Линейное напряжение, В	380
Частота тока, Гц.	50
Температура окружающей среды, °С. ...	–50—50
Габаритные размеры, мм	2865 × 1330 × 1715
Масса, кг.	3000

Две линии магистрального газопровода длиной 1 км включают трубы диаметром 610 мм с толщиной стенки 38 мм из стали ЛР15ЛХ65 (аналог 09Г2С). На этих линиях выполняли термическую обработку 219 сварных соединений по режиму высокого отпуска с нагревом до 595—615 °С с применением программных установок ТП6-100 и ТП8-120

производства ООО НПП "Курай" (Уфа), мощностью соответственно 100 и 120 кВт с шестью и восемью каналами нагрева. Для нагрева использовали нагревательные маты мощностью 2,7 кВт фирмы "Велдотерм" (Германия) и высокотемпературную теплоизоляцию ЗАО РЛБ "Силика" (Московская обл.) типа "Супер-Сил" толщиной 25 мм. Согласно технологии, разработанной ВНИИМонтажспецстроем, на сварные соединения устанавливали 18 электронагревателей суммарной мощностью 48 кВт. Время установки электронагревателей, термопар и теплоизоляции составляло 6 ч, время нагрева до 600 °С — 3 ч. Кроме того, были обработаны четыре сварных соединения трубных элементов размером 1220 × 30 и 1300 × 70 мм с установкой 56 электронагревателей суммарной мощностью 151 кВт. Время установки электронагревателей, термопар и теплоизоляции составило 10 ч, время нагрева до 600 °С — 6 ч. Термическую обработку по нормативам кода ASME В 31.8 проводила фирма "Катран-К" (Франция), персонал термистов был российский. Следует отметить, что электронагреватели устанавливали с параллельным подключением (каждая секция имела два подсоединения). Установки ТП6-100 и ТП8-120 были размещены в специальных кабинах и перемещались вдоль трассы тракторами совместно с дизель-генераторами. Следует отметить, что работы проходили в регионе с теплым климатом (Краснодарский край) в летнее время.

В настоящее время термическую обработку сварных соединений нефтегазопроводов проводят на Сахалине в системах "Сахалин-I" — "Сахалин-IV". Так, например, на нефтяном месторождении Чаево (район г. Оха) термическую обработку сварных соединений размером 610 × 76 мм из стали А533 (аналог 09Г2С) по проекту фирмы "Эксон-Мобил" (США), согласно нормативам ASME код В 31.8, проводил российский персонал термистов по предложению ВНИИМонтажспецстроя. Для этих целей использовали установку "Стандарт-Европа" 84-6 фирмы "Велдотерм" с установкой 30 секций нагревательных матов мощностью 2,7 кВт (суммарной мощностью 81 кВт). Работы выполняли при температуре –26—30 °С и сильном ветре, на сварное соединение была установлена защитная палатка. При этом время нагрева составляло 15—17 ч, а размещения электронагревателей, термопар и теплоизоляции — 9—10 ч.

Проведенные работы показали, что применение нагревательных матов мощностью 2,7 кВт, предлагаемых зарубежными фирмами для термической обработки сварных соединений магистральных трубопроводов больших диаметров (более 600 мм) или с большими толщинами стенок (более 40 мм), нерационально вследствие их не-

большой удельной мощности (4—5 Вт/см²). При этом это зависит и от типа программных установок, в том числе российских, что также было подтверждено первым опытом работ по приварке фитингов для врезки в нефтегазопроводы под давлением.

Для проведения термической обработки в северных условиях и на Северо-Европейском газопроводе необходимы разработка и применение других средств нагрева. К числу требований, предъявляемых к ним, относятся значительная удельная мощность (не менее 8—9 Вт/см²), упрощение электрической схемы нагрева, связанной с применением относительно мощных электронагревателей, что уменьшает количество их подключений к источникам питания и требует небольшой длины участка сварного соединения для установки электронагревателей (не более 400 мм для ввода мощности 150 кВт).

К таким средствам нагрева относится индукционный нагрев токами средней частоты 2500 Гц (единичная мощность индуктора до 160 кВт) и нагрев электронагревателями комбинированного действия КЭН-4-3 (единичная мощность 25—28 кВт) [2]. Индукционный нагрев токами средней частоты 2500 Гц эффективен при местной термической обработке сварных соединений крупногабаритных конструкций барабанов котлоагрегатов диаметром до 2 м с толщиной стенки до 110 мм [6].

Электронагреватели КЭН-4-3 успешно использовались при местной термической обработке сварных соединений газопроводов при рекуперации газокompрессорных станций в течение 5 лет по технологии, разработанной ВНИИМонтажспецстроем [5]. Более 2 тыс. сварных соединений труб диаметром 820—1220 мм с толщиной стенки до 27 мм из стали 12ХМ итальянской поставки обрабатывали по режиму высокого отпуска с нагревом до 700 °С электронагревателями КЭН-4-3.

В настоящее время для местной термической обработки сварных соединений магистральных трубопроводов в полевых условиях можно рекомендовать передвижную всесезонную установку "Интерм-160" производства ООО НПП "Курай" для индукционного нагрева токами средней частоты 2500 Гц мощностью 100 кВт.

Техническая характеристика установки "Интерм-160"

Параметры питания.	380 В, три фазы, 50 Гц
Допустимые колебания напряжения сети	10—15 % $U_{ном}$
Выходное напряжение установки, В:	
номинальное.	400
регулируемое.	200—600
Частота выходного напряжения, кГц:	
номинальная.	2,4

регулируемая	1,6—3,0
Потребляемая мощность, кВт	180
Выходная мощность, кВт:	
номинальная	160
регулируемая	30—160
Охлаждение	Жидкостное (вода или тосол)
Расход охлаждающей жидкости, м ³ /ч, не более	2,2
Температура окружающего воздуха, °С ..	От -40 до 40
Габаритные размеры кабины установки, мм	4500 × 2400 × 2500
Масса установки с кабиной, кг	2600

Оборудование для термической обработки размещено в передвижной кабине на полозьях, что облегчает ее перемещение вдоль трассы трактором совместно с дизель-генератором. В установке возможно использование индукторов как из оголенного медного провода, так и водоохлаждаемых. Существует также вариант кабины на колесном ходу.

Нагрев сварных соединений для наложения постоянной изоляции может выполняться с помощью средств, применяемых при предварительном подогреве свариваемых кромок труб. Для наиболее ответственных трубопроводов, к которым относятся магистральные трубопроводы систем "Сахалин-I" и "Сахалин-II", для нагрева применяют английские и американские индукционные установки, а также индукционные установки, изготовленные

ООО НПП "Курай". Также возможно применение электронагревателей типа КЭН и средств нагрева для термической обработки сварных соединений.

В заключение следует отметить, что необходима разработка специальной НТД по термической обработке сварных соединений магистральных трубопроводов, где кроме режимов должны быть приведены рекомендуемые средства нагрева, технологические приемы проведения термической обработки и средства контроля качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольков П. М. Режимы термообработки сварных соединений по нормативным документам разных стран // Сварочное производство. 1997. № 1. С. 7—43.
2. Корольков П. М. Термическая обработка сварных соединений. Киев: Экотехнология, 2003. 199 с.
3. Корольков П. М. Рациональные методы подогрева для сварки магистральных и технологических нефтегазопроводов // Химическая техника. 2004. № 4. С. 32—36.
4. Корольков П. М. Термообработка сварных соединений трубопроводов в полевых условиях // Монтажные и специальные работы в строительстве. 1996. № 11—12. С. 21—24.
5. Корольков П. М. Местная термообработка сварных соединений технологических трубопроводов при рекуперации газоконденсаторных станций // Химическая техника. 2003. № 10. С. 18—21.
6. Корольков П. М. Термическая обработка сварных соединений газопровода Россия — Турция "Голубой поток" // Сварочное производство. 2003. № 12. С. 39—44.
7. Анохов А. Е., Корольков П. М. Сварка и термическая обработка корпусного энергетического оборудования при ремонте. Киев: Экотехнология, 2003. 88 с.

ВНИМАНИЕ! ИНФОРМАЦИЯ

II Региональная выставка "СВАРКА И РЕЗКА. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ. ТЕХНОХИМИЯ"

19—22 февраля 2007 г.

ВК "Стачек 47" ОАО "Кировский завод"
(С.-Петербург, пр-кт Стачек, 47 ж)

Тематика выставки

- оборудование
- технологии
- оснащение
- силовая электроника
- сварочные материалы
- кабельная продукция
- газы, газовая аппаратура
- пневмогазавтоматика
- средства механизации и автоматизации
- средства контроля
- САПР сварки
- средства защиты, спецодежда
- экология
- структурные соединения
- системы контроля обеспечения качества, обучение
- реновационные материалы и оборудование
- технологии восстановления, ремонта, упрочнения
- пайка, наплавка, родственные технологии
- методы и средства защиты от коррозии
- ремонт и защита трубопроводных систем, резервуаров, конструкций
- вентиляционное оборудование
- инновационные программы
- аттестация производства

Во время работы выставки пройдут тематические семинары, экскурсии в ОАО "Кировский завод" и др.

Оргкомитет выставки: (812) 784 6530; 702 0438; 702 0480; 702 0105.

E-mail: info@stachek47.ru; vikom@inbox.ru

www.stachek47.ru

УДК 621.791:338.45

Н. Г. АГЕЕВА, канд. экон. наук

Московский авиационный институт (государственный технический университет)

Методология обеспечения конкурентных преимуществ предприятий авиастроения

Для эффективной работы в настоящее время, сохранения и повышения уровня конкурентоспособности в будущем авиационные предприятия должны полностью пересмотреть концепцию своего развития, обновить ключевые стратегии и заново пересмотреть возможности отрасли.

Основная проблема, с которой сталкивается каждое авиационное предприятие, формируя конкурентное преимущество — это прогнозирование доли будущих возможностей на рынках, на которую оно может рассчитывать, исходя из имеющихся навыков и умений (ключевых компетенций). Поэтому необходимо решать: какие новые возможности нужно создавать, как использовать существующие навыки, которые могут привести к новым возможностям.

Авиационные предприятия должны быть готовы не только к изменениям видов бизнеса и сокращению ресурсов, перестройке технологических процессов, но и к их непрерывному улучшению на основе обновления стратегий развития. Предприятие уступит в бизнесе в будущем, если достигает наилучших показателей, принципиально при этом не меняясь.

В настоящее время конкуренция в наукоемких отраслях — это конкуренция не отдельных видов продукции/сервиса или бизнес-единиц — это конкуренция между компаниями. Ведь возможности определяются не рамками отдельных продуктов или бизнес-единиц — это должны быть общефирменные возможности, распространяющиеся на ряд направлений бизнеса и требующие значительных ресурсов и сфер применения. Победить в конкуренции сможет та компания, которая располагает более широкими возможностями в организации, управлении, технике, технологии, производстве, НИОКР по сравнению с конкурирующей фирмой.

Конкуренция сегодня выходит за рамки, например, рынка авиационной и радиоэлектронной про-

дукции/услуг, и распространяется на предвидение и создание новых границ отрасли за счет развития интеграционных образований. Необходимо учитывать эту глубокую по содержанию конкуренцию, чтобы помочь предприятиям быть готовым к будущему отраслевому развитию, в том числе связанному и с глобализацией.

Поэтому задача обеспечения конкурентных преимуществ должна опираться на оценку уровня, достигнутого конкурентами, предполагать как особенности развития конкуренции в будущем, так и перспективные возможности развития. Авиационные предприятия должны организовать разработку техники новых поколений и ее производство, а также первыми выйти на рынок с новыми продуктами/услугами.

Конкуренция на рынке наукоемкой высокотехнологичной продукции, в том числе авиационной, существует между предприятиями или интеграционными образованиями ряда предприятий. При этом сами предприятия конкурируют в области создания ключевых компетенций, которые превышают ресурсы отдельных производств и их подразделений, поэтому актуальной становится разработка направлений обеспечения конкурентных преимуществ.

Предлагаемая в данной работе методология процесса обеспечения конкурентных преимуществ применима для предприятий наукоемких отраслей, в том числе авиационной отрасли, и включает три четких, перекрывающих друг друга этапа (см. рисунок).

Поэтапное обеспечение конкурентных преимуществ включает конкуренцию за предвидение отраслевого развития и интеллектуальное лидерство, в области управления развитием существующего потенциала отрасли и эффективного использования действующего потенциала на рынке наукоем-



Методология поэтапного обеспечения конкурентных преимуществ

кой, высокотехнологичной продукции и увеличения рыночной доли на этом рынке.

Главная цель первого этапа — формирование направлений развития системы наукоемких отраслей, позволяющих наиболее полно представить их будущее и сформировать эволюционную модель их развития. Для этого необходимо определить:

- перспективу развития новых разработок продукции/услуг и совершенствование действующих разработок в ближайшие пять, десять лет путем глубокого исследования участников авиационной отрасли и смежных с ней отраслей;
- систему ключевых компетенций, которую потребуется создать или развить для этих разработок на основе творческого подхода к функциональным разработкам в НИОКР и производстве, а также маркетинговым исследованиям, направленным на усиление взаимоотношений с потребителями;
- новые технологии в разработках и производстве;
- взаимодействия интеграционных образований в отрасли.

Поставленные задачи должны дать представление о предполагаемых возможностях развития системы наукоемких отраслей. Но это не простое отслеживание достижений ведущих стран в исследуемых отраслях и копирование их методов. Это самостоятельное понимание возможностей разви-

тия наукоемких отраслей в России и путей их использования на основе отечественных компетенций и возможностей.

Глубокое восприятие будущих возможностей основывается и на знании текущего положения отрасли и предположительных изменениях в будущем. Необходимо рассмотреть перспективы исследуемого рынка, его сегментов, концепции предоставляемых продуктов/услуг, выявить движущие силы, потенциально способные глубоко преобразовать отраслевую структуру, обозначить разрывы закономерностей как в своей отрасли, так и смежных отраслях.

Конкуренция за будущее, за потенциальный рынок — это больше соревнование за долю возможностей, чем за долю рынка. Это конкуренция за получение максимальной доли возможностей, к которым предприятие сможет получить доступ. Поэтому, ориентируясь на имеющиеся активы (ключевые компетенции), необходимо предположить будущие возможности и навыки, приводящие к конкурентным преимуществам для создания ценностей.

Именно ключевые компетенции позволяют компаниям создавать новые продукты и быстро адаптироваться к изменениям в технологии и методах производства. В быстро изменяющейся среде бизнеса такой уровень адаптации очень важен, ес-

ли предприятие или компания хотят создавать или сохранять свои конкурентные преимущества.

Проблема заключается в том, чтобы определить, какие новые компетенции нужно создавать и как изменить существующий рынок, чтобы иметь большую долю будущих возможностей. Часто вопрос может звучать и как использовать существующий потенциал и компетенции, которые должны привести к новым возможностям.

Знание того, как координировать различные производственные навыки, умения, технологии, материальные и информационные потоки образует целостную, общефирменную способность решать стратегические задачи и обеспечивает производственным предприятиям уникальные качества и долгосрочные преимущества на рынке.

Важно, чтобы в конкуренции за отраслевое лидерство оценка портфеля заказов (совокупность бизнес-единиц предприятия, корпорации) рассматривалась как портфель компетенций, а не только как совокупность бизнес-единиц. В обеспечении конкурентоспособности более важным оказывается выделение ключевых компетенций, а не стратегических бизнес-единиц и производственных подразделений. Именно портфель ключевых компетенций позволит расширить возможности производственных систем и обеспечит широкий выбор потребительских ценностей.

Для оценки, выбора и обоснования системы уникальной ключевой компетенции используются ряд критериев:

- критерий подхода к потребителю оценивает, действительно ли потенциальная ключевая компетентность исключительно важна в системе ценностей для потребителя и большой ли вклад вносит деятельность компании, по мнению потребителя;

- критерий конкурентоспособности показывает, есть ли у компании преимущества по сравнению с конкурентами, трудно ли данное преимущество воспроизвести, насколько критична потенциальная ключевая компетентность для нынешнего положения в отрасли;

- критерий стратегического видения показывает, является ли компания критически важной для отрасли в настоящее время, в какой степени потенциальная ключевая компетентность позволит компании определять будущее отрасли, являются ли достижения компании наивысшими в отрасли.

Итак, конкуренция за отраслевое предвидение и интеллектуальное лидерство — это нахождение оптимального пути перехода из нынешнего состояния в будущее отрасли, это борьба за интеллектуальное лидерство в отрасли, обеспечить которое

возможно при эффективном управлении и использовании существующего потенциала отрасли.

Цель второго этапа — обеспечение конкурентоспособности предприятия и его производства. Направлена она на использование будущих возможностей — увеличение степени своего влияния на развитие наукоемкой отрасли и развитие существующего потенциала предприятия, производства.

К основным задачам, позволяющим реализовать данную цель, можно отнести:

- наличие и создание ключевых компетенций как набора взаимосвязанных навыков и технологий, составляющих основу производства и позволяющих предлагать новые направления в продуктах/услугах;

- умение и возможности создавать интеграционные образования (стратегические альянсы, коалиции и т. д.) и управлять ими, обеспечивая тем самым доступность дополнительных ресурсов, имеющихся у других организаций;

- умение создавать, разрабатывать и обобщать новые знания и технологии, отражающие наиболее важные направления развития науки и техники и находящие спрос у потребителей, изменять отношения с потребителями;

- формирование известности и развитие марки (бренда) предприятия, развитой инфраструктуры;

- разработку системы новых стандартов, продуктов/услуг, контроль интеллектуальной собственности;

- продвижение отечественной авиационной продукции за рубеж, в страны третьего мира.

Когда наступает третий — последний — этап обеспечения конкурентоспособности предприятия, она уже завершается в области технологических подходов, концепций товаров или услуг и стратегии распределения. Конкуренция между предприятиями перемещается в сферу борьбы за положение на рынке на основе хорошо известных параметров — стоимости, затрат, цен и услуг. Инновации сводятся к расширению производства, повышению эффективности и получению предельных прибылей от продукции или услуг. Поэтому основная цель третьего этапа обеспечения конкурентоспособности предприятия, производства — это оптимальное использование и развитие существующего (накопленного) потенциала.

Основные задачи:

- оптимизация стратегии, структуры и бизнес-процессов создания продукции/услуг;

- создание сети поставщиков;

- подготовка необходимой стратегии работы на рынке;

- опережение конкурентов на критически важных рынках;
- максимизация эффективности и производительности;
- управление конкурентным взаимодействием.

Основные положения концепции работы на рынке на этом этапе направлены в первую очередь на обеспечение доступа к национальным и международным рынкам. Работая с целевыми сегментами, необходимо учитывать перспективу их роста, а также возможность расширения за счет мировых тенденций развития.

Учитывая благоприятные тенденции развития рынка и лояльное отношение потребителей к бренду предприятия, необходимо расширять существующие и развивать смежные направления деятельности. Основные используемые параметры на

этом этапе — стоимость, уровень затрат, цен и разнообразие продуктов/услуг. Необходима максимизация эффективности и производительности, управление конкурентным взаимодействием. Инновации должны быть направлены на расширение видов продукции/услуг.

Таким образом, перспективная стратегия развития авиационной отрасли и предприятий в ней должна быть направлена в первую очередь на повышение конкурентоспособности. Обеспечение высокого уровня конкурентоспособности возможно только в результате накопления потенциала при реализации трех перекрывающих друг друга временных этапов развития, требующих на каждом этапе своей системы факторов и предпосылок, способствующих развитию конкурентоспособности.

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА

ФОРСАЖ

НА ТОК 125, 160, 250, 315, 500 А



- ручная дуговая сварка (ММА)
- механизированная сварка (MIG/MAG)
- аргонодуговая сварка (TIG)



- высокое качество шва
- легкий поджиг и эластичность дуги
- малое разбрызгивание металла
- небольшие вес и габаритные размеры при великолепных энергетических показателях

Производим поставку сварочного оборудования, аттестованного НАКС

Представительства по сварочным аппаратам:
 г. Санкт-Петербург ЗАО «Северная электротехническая компания»
 т/ф (812) 320-70-05, 327-68-67
 г. Москва ООО «АСТ-Техно» т/ф (495) 589-54-73, 362-28-16
 г. Москва ООО «Элмид-Техно» т/ф (495) 941-07-16, 941-03-05
 г. Уфа ООО «Горизонт плюс» т/ф (3472) 28-44-18, 79-81-43
 г. Оренбург ЧП Быченко т/ф (3532) 75-32-62, 75-46-96, 99-17-73



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЯЗАНСКИЙ ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД

Россия, 390000, г. Рязань, ул. Каляева, 32. ГРПЗ
 тел.: (4912) 29-84-53 (многоканальный), факс: (4912) 29-85-16
 E-mail: info@grpz.ru http://www.grpz.ru

Публикуется на правах рекламы

6-я Международная специализированная выставка “РОССВАРКА/WELDEX—2006”



Экспозиция выставки



Открытие выставки. А. Лапшин, президент Выставочного холдинга MVK

С 7 по 10 ноября 2006 г. в Москве в КВЦ “Сокольники” проходила 6-я Международная специализированная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий “Россварка/Weldex—2006”, организованная международным выставочным холдингом MVK “Сокольники” при содействии компании “ЭЛСВАР”, РНТСО, Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции (РСРПСР) и поддержке Министерства промышленности и энергетики РФ,

Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков (ММАГС) и журнала “Сварочное производство”.

В работе выставки приняли участие практически все ведущие производители сварочной техники (более 200 компаний и фирм) России, Украины, Белоруссии и ряд зарубежных фирм Австрии, Бельгии, Германии, Италии, Франции, Швеции, Индии, Китая и др.

На выставке были представлены технологии и оборудование для различных методов сварки, резки, наплавки и термической обработки; расходные материалы, инструменты и приспособления для сварки; средства защиты от вредных производственных факторов; способы контроля качества сварных соединений, основных и сварочных материалов; методы обучения и повышения квалификации сварочного персонала.

Ниже приведены фирмы и экспонируемые ими новые разработки в соответствии с основной тематикой выставки.

Государственный Рязанский приборный завод — сварочные аппараты инверторного типа серии “Форсаж” на ток от 125 до 500 А для ручной дуговой (MMA), механизированной (MIG/MAG) и аргонодуговой (TIG) сварки (рис. 1):

— мощный сварочный аппарат “Форсаж-500” для ручной сварки покрытыми электродами и работы в составе сварочного полуавтомата со встроенным источником питания для внешнего механизма

поддачи проволоки (максимальный сварочный ток 500 А, масса аппарата 26 кг) для различных отраслей промышленности;

— сварочные аппараты с дополнительными характеристиками “Форсаж-350MPro (MMA), “Форсаж-350CarPro (MMA, MIG, MAG) для работы в полевых условиях, в том числе для сварки трубопроводов, на железнодорожном транспорте и др.

ООО “ТОР” (Москва) — сварочный инверторный аппарат “Торус-200” нового поколения на основе высокочастотного преобразователя напряжения сети. Предназначен для дуговой сварки постоянным током. Диаметр электрода от



Рис. 1. Сварочные аппараты инверторного типа серии “Форсаж”



Рис. 2. Сварочный инверторный аппарат "Торус-200"

1 до 5 мм. Диапазон сварочного тока от 40 до 200 А. Масса 5 кг. Габаритные размеры корпуса 115 × 185 × 280 мм. Аппарат может работать от бытовой сети дома, в гаражах, на строительных площадках и в других промышленных условиях (рис. 2).

НПП "ФЭБ" (Санкт-Петербург) — комплект оборудования на базе инверторного сварочного источника ФЕБ-315 "Магма" и блока подачи проволоки ФЕБ-02М или ФЕБ-09 с цифровым управлением и возможностью переключения режимов сварки непосредственно с горелки. Область применения: судостроение, ремонт и восстановление железнодорожных путей методом наплавки, сварка элементов кузовов и других деталей автомобиля как из стали, так и алюминиевых сплавов. Универсальный инверторный сварочный источник на ток до 350 А (MMA, MAG, MIG, TIG) ФЕБ-315 "Магма" аттестован НАКС в соответствии с требованиями РД-03-614-03 и разрешен к применению на опасных производственных объектах.

ООО НПФ "Особые сварочные агрегаты" — "ОСА" (Москва) — аварийно-ремонтные мастерские АМ-01М "ОСА", АМ-02 "ОСА" и АМ-03 "ОСА" на базе различных автотранспортных средств (УАЗ, КамАЗ и др.).

Мастерские максимально оснащены необходимым энергетическим и сварочным технологическим оборудованием и инструментом, в состав которых входят однопостовый сварочный агрегат "ОСА-350", энергоагрегат сварочный дизельный "Комби-300", генератор сварочный ГС-300-2 "ОСА", электростанция дизельная "ОСА", набор сварщика и др.

В состав фирмы входит ООО "ОСА-Декор", которая работает в сфере металлического декора интерьеров и других сооружений, так и офисных помещений и других сооружений. Следует отметить, этот раздел экспозиции пользовался определенным успехом среди посетителей выставки.

АПС "Робототехнические адаптивные системы" — АПС "РАДИС" (Москва) — широкий спектр сварочного оборудования: трактор для сварки под флюсом и в защитных газах ПАРС ТГФ-1000, автоматы модульные для сварки под флюсом и в защитных газах ПАРС

ТГФ-1000, автоматы модульные для сварки под флюсом и в защитных газах ПАРС АДЦ-1250С, ПАРС АДЦ-600Г, полуавтоматы серии ПАРС Н-511/556 с цифровым устройством управления для сварки в защитных газах, а также аксессуары и дополнительное оборудование (выпрямители, пульт управления, мотор-редукторы, горелки для сварки и наплавки, охладитель и др.). Модули оборудования ПАРС позволяют создавать распределенные сварочные системы с дальностью удаления компонентов до 150 м и сохранением высоких сварочно-технологических характеристик (рис. 3).

ОАО "Завод Электрик" (Санкт-Петербург) — новейшее современное оборудование для дуговой и контактной сварки:

— выпрямитель для автоматической сварки под флюсом и в углекислом газе, возможно использование как стационарных источников постоянного тока (напряжения), инверторный источник питания для дуговой сварки "Прогресс-350", пост для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в инертных газах ПРС-501Э. Свариваемые материалы — титан и его сплавы, низколегированные и коррозионно-стойкие стали, медно-никелевые сплавы. Область применения: судостроительное производство, нефтегазовая промышленность и др.;

— машины для контактной точечной сварки переменным током УК-0501, контактной многоэлектродной сварки МТМ-317/318/320;

— новый однорольковый механизм подачи проволоки для дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах различных металлов и сплавов (рис. 4).

Завод электросварочного оборудования "Искра" (Первоуральск):

— агрегат для дуговой сварки и воздушно-плазменной резки в полевых



Рис. 3. Автомат модульный подвесной ПАРС АДЦ-1250 для сварки и наплавки под флюсом и в защитных газах



Рис. 4. Пост для ручной дуговой сварки ПРС-501Э (а) и машина для контактной точечной сварки миниатюрных деталей для приборостроительной и электротехнической промышленности УК-0501 (б)

условиях АДД-4004ПР ИУ1. Позволяет производить дуговую сварку сталей током от 35 до 350 А и разделительную резку стали, чугуна, алюминия, меди, латуни и других материалов током от 50 до 100 А, а также подключение дополнительного электроинструмента для монтажно-сварочных работ;

— сварочные агрегаты серии АДД, сварочные генераторы серии ГД, сварочные выпрямители серий ВД, ВДГ, ВДУ, ВПР, сварочные трансформаторы серий ТДМ и ТСБ (номинальный сварочный ток 145 А, напряжение питания 220 В, диаметр электрода 2—4 мм, масса 21,5 кг);

— сварочные полуавтоматы серий АДФ, ПДГО, машины для контактной сварки серий МТР, МСС, МШ и др.

ЗАО "Завод сварочного оборудования "УРАЛТЕРМОСВАР" (Екатеринбург):

— новое поколение микропроцессорных выпрямителей для сварки магистральных трубопроводов и других ответственных конструкций типа МТ (микропроцессорные трубные) с улучшенными сварочными свойствами. Одним источником можно выполнять ручную и механизированную сварку. Источники ВДУ (МТ) работают с полуавтоматом новой серии ПДГС-512 "Урал" для сварки сплошной проволокой в CO_2 , сварки по-



Рис. 5. Микропроцессорные выпрямители ВДУ (МТ) нового поколения для сварки трубопроводов (а) и агрегаты сварочные дизельные универсальные АДДУ с микропроцессорным управлением (б)

рошковой проволокой, в том числе само-защитной;

— сварочные дизельные универсальные агрегаты типа АДДУ с микропроцессорным управлением на номинальный ток 315, 400 и 500 А с алгоритмами управления режимами сварки неповоротных стыков труб (рис. 5).

Готовятся к выпуску блоки снижения напряжения холостого хода БСН-501/502 “Урал”, а также начат серийный выпуск выпрямителя ВДПР-3006 для воздушно-плазменной резки. Сварочные источники сертифицированы по безопасности и аттестованы по системе НАКС.

ЗАО “Псковэлектросвар”:

— оборудование для стыковой и шовной сварки стального листа шириной до 2400 мм, блюмсов (полупродукт металлургического производства — стальная заготовка квадратного сечения со стороной свыше 140 мм) в горячем состоянии (температура более 1000 °С) (рис. 6);

— оборудование для стыковой сварки непрерывным оплавлением одиночных труб и трубных секций магистральных нефте- и газопроводов “в единую нитку” в полевых условиях;

— оборудование для контактной стыковой сварки оплавлением рельсов Р50 и Р65 в полевых условиях со снятием грата непосредственно после сварки типа МСР. Система управления машины выполнена на базе промышленного ком-



Рис. 6. Машина для стыковки горячих блюмсов МСО-90

пьютера и обеспечивает задание и контроль параметров процесса сварки.

ОАО “Электромеханика” (Ржев):

— установки СНВ-80, ПВ-900 для вакуумного отжига сварных изделий из титановых и жаропрочных сплавов, установки ЭТА-2, “АЛТАЙ” для термической обработки алюминия и других цветных металлов (рис. 7, а);

— головка АСГВ для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с системой слежения за длиной дуги, сварочная головка ГСПД-1М для автоматической сварки погруженным электродом круговых, кольцевых и продольных швов, установка УСПК-1 для автоматической сварки в защитных газах продольных и кольцевых стыков обечаек, установки серии ЭЛУ для электронно-лучевой сварки в вакууме деталей различного уровня сложности и др. (рис. 7, б);

— оборудование для нанесения защитных, жаростойких, износостойких и других покрытий плазменным способом (плазматрон ПП-25 для нанесения износостойких и других специальных покрытий, установка АПН-250 для нанесения защитных покрытий плазменным способом в вакууме на детали, имеющие ось вращения и др.).

ОАО “Научно-исследовательский технологический институт “Прогресс” (Ижевск):

— оборудование для электронно-лучевой сварки и обработки материалов (установка АСТК-30/6-10 для сварки

в автоматическом режиме брикетов из прессованного порошка или губки циркония, установки ЭЛСМ-60/15 для сварки в автоматическом режиме деталей типа тел вращения диаметром до 600—1000 мм,

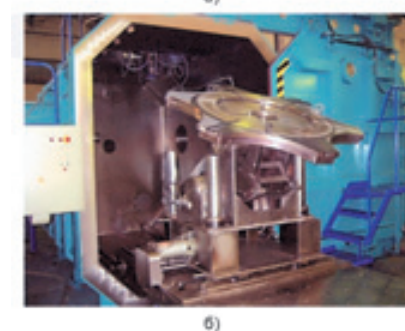
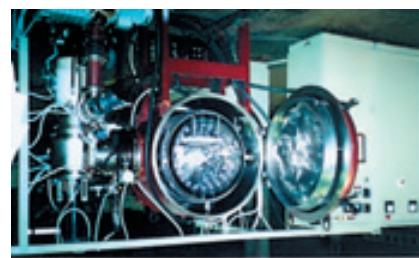


Рис. 7. Установки СНВ-80 для вакуумного отжига сварных изделий из титановых и жаропрочных сплавов (а) и ЭЛУ для электронно-лучевой сварки в вакууме деталей различной сложности (б)

прямолинейных продольных швов длиной до 800—1000 мм);

- установка УСК-50 для аргонодуговой сварки кольцевых швов (максимальные размеры свариваемых деталей: диаметр 3—50 мм, длина до 300 мм, толщина стенки 0,5—2,0 мм), универсальная установка УСКП-300/500 для сварки кольцевых и продольных швов (рис. 8);

- машины точечные многоэлектродные серии МТМ для сварки панелей радиаторов.

Филиал ФГУП “Инвестиционный строительный концерн “Росатом-строй” (Москва):

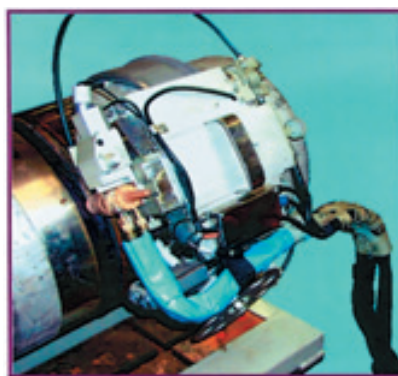
- установка СА-688 для автоматической аргонодуговой сварки труб диаметром 7—20, 20—80 и 8—300 мм в поворотном положении и продольных швов; сварочные головки ОДА для сварки неповоротных стыков труб с толщиной стенки до 3,5 мм из коррозионно-стойких сталей; комплекс оборудования СА-673 для автоматической орбитальной сварки с дистанционным управлением трубопроводов реакторных установок в ремонтных условиях, трубосварочные головки “Минора-1” и “ОДА-П” для аргонодуговой орбитальной сварки труб различного диаметра (рис. 9, а);

- установка электронно-лучевой сварки СА3 специализированного назначения для атомной энергетики;

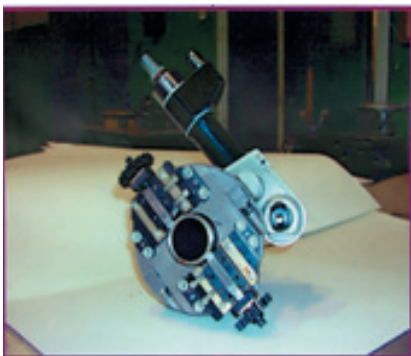
- трубофаскорезы разъемные МР и 38МР для труб диаметром 14—57, 50—110, 828—836 мм и 133—210, 210—280, 273—325 мм соответственно, фаскорезы переносные МР для обработки кромок труб под сварку (типоразмер 56—108, 133—220, 14—57 мм). Резцы выполнены из сталей Р18 и ВК8. Материал труб — углеродистые и коррозионно-стойкие стали (рис. 9, б).



Рис. 8. Установка УСК-50 для аргонодуговой сварки кольцевых швов



а)



б)

Рис. 9. Комплекс оборудования для автоматической орбитальной сварки труб СА-673 (а) и трубофаскорез для резки труб и трубных конструкций МР (б)

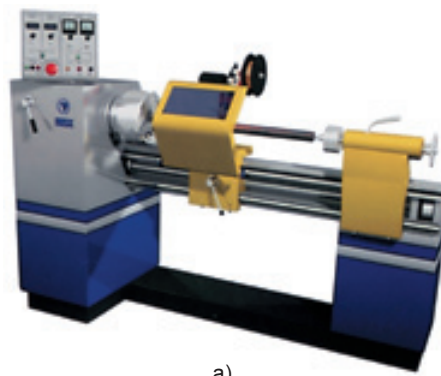
ЗАО “Пензенское конструкторско-технологическое бюро арматуростроения” “ПКТБ”:

- оборудование для обеспечения различных операционных переходов в области сварочного производства: сварочные трансформаторы, выпрямители, комплектные сварочные полуавтоматы, автоматы, установки для аргонодуговой сварки, термическое оборудование для сушки и прокали электродов и флюса, универсальные сварочные вращатели, вращатели роликовые, колонны для сварочных автоматов, столы сварщика, краны консольные, установки для сварки и воздушно-плазменной резки металлов, механизированного раскроя листового металлопроката, стационарные и переносные установки для механизированной резки труб (рис. 10).

ПКТБ является представителем ООО ПКФ “Кристалл”, EWM/HIGTEC WELDING (Германия) и других ведущих отечественных производителей сварочного оборудования.

ООО НПФ “ТОМ” (Москва) — разработка, изготовление и внедрение механического сварочного оборудования:

- универсальные установки для сварки и восстановления деталей типа вал серии ТОМ, оборудование и участки



а)



б)

Рис. 10. Установка для дуговой и плазменной наплавки тел вращения УН-6М (а) и универсальный сварочный вращатель ВСУ-3 (б)

электродуговой металлизации коленчатых валов автотранспортных средств, судовых двигателей, гидрошток, валов и др., оборудование для микродугового оксидирования алюминиевых деталей (МДО); камеры струйно-абразивной обработки материалов;

- установки для гибки профилей по радиусу (трубогибы);

- роботизированные установки для наплавки плоских поверхностей, в том числе железнодорожных рельсов, крестовин железнодорожных путей, башмаков гусеничных тракторов и др.

Основной роботизированный оборудования является направляющий рельс, который устанавливается в непосредственной близости от наплавляемого участка. Управление горелкой полуавтомата осуществляется по двум взаимноперпендикулярным координатам. Для удобства работы оператора все операционные задания необходимых координат участка наплавки и управления автомата размещены в выносном пульте управления. Траектория движения должна быть задана соответствующим программированием входящего в комплекс логического контроллера.

Научно-производственная внедренческая фирма “Сварка” (Чебокс-



Рис. 11. Автоматическая линия "АЛИКС 1004" для изготовления кладочных сеток

ры) — первые отечественные автоматические линии контактной сварки "АЛИКС", которые позволяют изготавливать арматурные, кладочные сетки и каркасы всех типов, применяемые в строительстве. Сетки выполняют в соответствии с требованиями стандарта с квадратными или прямоугольными ячейками шириной до 3,7 м, длиной до 12 м из проволоки или арматуры диаметром 3—36 мм (рис. 11).

С 2006 г. на предприятии налажено производство сетки-рабицы.

По объемам производства сварных сеток группа компаний "Сварка" (пять предприятий) является одним из крупнейших предприятий России.

ООО "Мультиплаз" (Москва) — плазменный аппарат "Мультиплаз-2500М" универсальный для обработки материалов, сварки, пайки и резки металлов и неметаллов. Для его работы не требуются компрессоры и баллоны. В настоящее время компания "Мультиплаз" разрабатывает воздушно-плазменные аппараты "Мультиплаз-7500" и "Мультиплаз-15000" для резки металла большой толщины (до 25—50 мм) (рис. 12).

ООО "Мэлфиз-Ультразвук" (Москва) — специальное и универсальное ультразвуковое серийное оборудование на пьезокерамических преобразователях (ручная ультразвуковая установка для сварки полимеров МЭФ-330), настольный автоматический пневмопресс для ультразвуковой сварки полимеров (МЭФ-382) и др.



Рис. 12. Установка для воздушно-плазменной резки "Мультиплаз-15000"

Область применения: размерная обработка твердых материалов (керамики, камней, стекла), поверхностное упрочнение, микросварка металлов, полимеров, производство медицинского оборудования.

ООО ОКБ "Булат" (Москва—Зеленоград) — лазерные технологические установки: установка для прецизионной лазерной сварки и наплавки серии LRS со сложным контуром сварных швов как на малогабаритных, так и крупногабаритных деталях массой до 100 кг, импульсный технологический лазер на основе АИГ:Nd серии HTS, автоматизированный координатный стол и приводы вращения в составе лазерных технологических комплексов (рис. 13).

ООО "Техмонтажсистем" (Тверь) —

машины для термической резки серии "Термит" (ПКЛ-2,5-6, ППЛЦ, ПКПЛЦ, МТР серии "Термит-Фаворит"). Портальная конструкция включает легкий алюминиевый портал, две ходовые тележки. Машина оснащена фильтровентиляционной установкой и современной системой управления Burny Phantom (русская версия). Ширина обрабатываемого листа 1500 мм, длина 3000 мм, толщина разрезаемого листа в зависимости от выбранного источника плазменной резки составляет от 0,5 до 50 мм.

Концерн "Энерготехника" (Санкт-Петербург) — оборудование для плазменной резки металла АРП. Ширина реза не превышает 3 мм, максимальная толщина разрезаемого металла 8—50 мм. Отличается универсальностью процесса и простотой в эксплуатации.

ООО "КСТ-Авия" (Москва):

— аппараты для воздушно-плазменной резки металлов "ПУРМ" различной мощности;

— машины для термической резки "Вертикаль", "Стрела-ПЛ", "Огонек", "Гугарк" (возможно использование в полевых условиях), "Грань" для раскроя листового металлопроката на полосы с помощью специальной направляющей; толщина разрезаемого листа 1—70 мм (плазменная технология) и 5—150 мм (газовая технология), ширина нарезаемых полос 30—540 мм, длина направляющей 2500 мм;

— машина "Сателлит" для резки труб диаметром от 120 до 1440 мм и снятия кольцевых фасок. Толщина разрезаемой трубы 1—70 мм (плазменная техноло-



Рис. 13. Автоматизированная универсальная лазерная установка LRS-150A

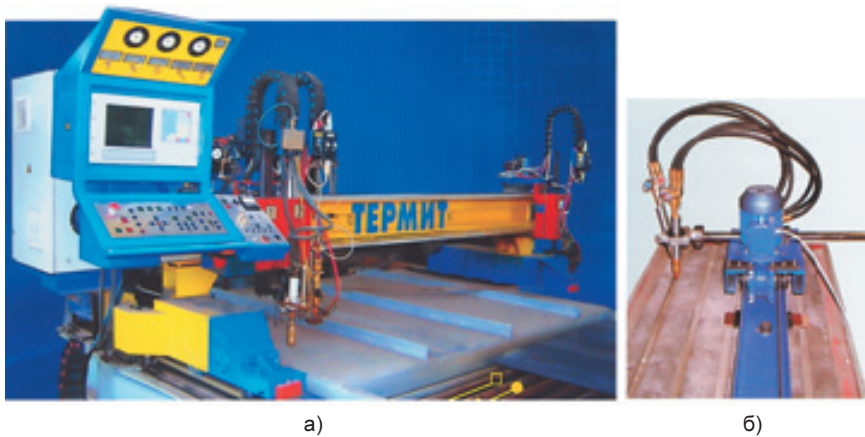


Рис. 14. Машины для термической резки серий "Термит" ("Техмонтажсистем") (а) и "Грань" ("КСТ-Авиа") (б)

гия) и 5—57 мм (газовая технология) (рис. 14).

ООО НПП "Элтерм" (Екатеринбург) — индукционные установки для термической обработки сварных швов трубопроводов УИИТ-50-2,4 и УИИТ-100-2,4 с воздушными системами охлаждения, автоматизацией процесса набора, выдержки и снижения температуры, а также одновременным измерением и регистрацией температуры нагреваемой части трубопровода на диаграммной ленте. Максимальный диаметр трубопровода 1000 и 1420 мм.

ООО "Политерм" (Москва) — оборудование для бесконтактного индукционного (ТВЧ) нагрева металла фирмы CEIA (Италия), которое позволяет осуществлять любую термическую обработку металлических изделий, в том числе контролируемую пайку. Установки выполнены на современной твердотельной элементной базе. Модельный ряд генераторов включает установки мощностью от 3 до 36 кВт, управляемые различными контроллерами.

ООО "Индустриальные портативные машины" — "Станочно-технологическая оснастка" (Москва) — агрегаты для снятия фасок (кромкоскалывающие серии СНР, кромкофрезерные серии МФ и ЕКФ, кромкофрезерные машины серий АМБЛ-0307 и СМФ-900), сверлильно-фрезерные машины серий МВЕ, МАБ, агрегаты для обработки торцов труб серии РЗ-РС, труборезные машины различных серий, магнитные грузозахваты, магнитные приспособления, портативные газорезательные машины.

ООО "Магнит плюс" (Санкт-Петербург) — технологическая оснастка на основе постоянных магнитов — магнитный контакт обратного сварочного провода различной модификации на ток до 500 А, магнитные держатели, угольники, маг-

нитные плиты и призмы, магнитные захваты для перемещения грузов.

Электростальский завод специализированной мебели "НИКБООР" — проектирование и производство специализированной мебели и стеллажного оборудования для различных производственных, лабораторных и медицинских учреждений:

— верстаки, шкафы металлические, столы монтажников, рабочее место сварщика, стеллажи, лабораторная мебель, шкафы для приборов, офисная мебель и др. (рис. 15, в).

На выставке были широко представ-

влены предприятия и фирмы по производству газосварочного оборудования, сварочных электродов, проволоки, прутков, наконечников для контактной сварки, плазматронов и т. д. (свыше 50 экспонентов). Наряду с традиционными участниками выставок такими, как ОАО "ВНИИ-автогенмаш", ЗАО "МИДАСОТ-Т", компания "КРД", ООО "ММП-Пульсар", ОАО "Победит", ООО "Сварка", ООО "СП Техникорд", ООО "ГрафитЭл-Московский электродный завод", ОАО "Лосиноостровский электродный завод", АО "СпецЭлектрод", фирма "Сварка/Welding" и др., отметим тех, кто выставляется не часто или представил новую продукцию.

ООО "Промтехкомплект" (Санкт-Петербург) — резак инжекторный, горелка Г2 типа "Малютка", горелка пропановоздушная "ГВ-Нева", редукторы газовые баллонные, регуляторы расхода газа, комплектующие, запасные и сменные части к резакам и горелкам, манометры, комплекты газосварочные КГС, средства защиты (рис. 16).

ООО Фирма "РО-АР" (Москва) — новое газосварочное оборудование:

— вентильные резаки серий Р2А/М и РЗП/М с вынесенным на наконечник вентилем управления режущим кислородом, что повышает их надежность;

— горелки серии ГСТ, обладающие рядом преимуществ по сравнению с инжекторными горелками: ствол и наконечник составляют единое целое, замене



Рис. 15. Кромкофрезерная машина с автоматической подачей СМФ-900 (а), грузозахватные устройства на базе магнитов серии NEO (производство "СТО-ИПМ") (б) и рабочее место сварщика (в)

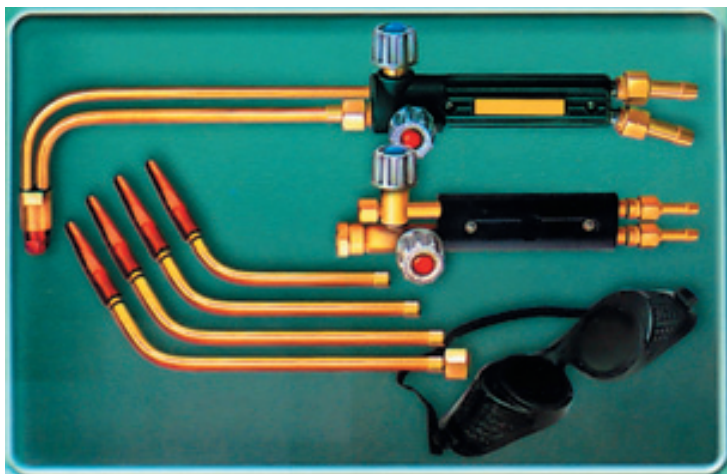


Рис. 16. Комплект газосварочный ГКС (горелка, резак, защитные очки)

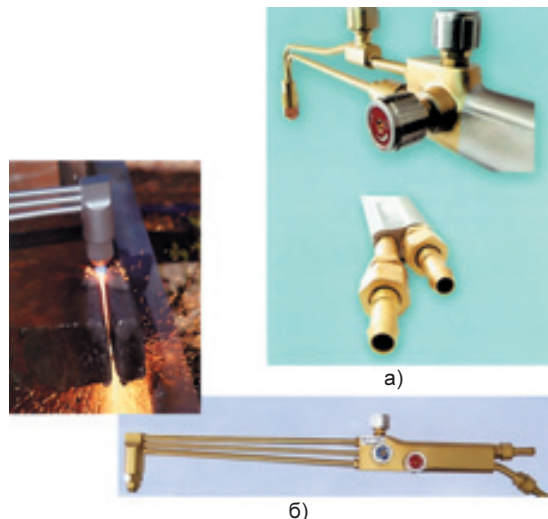


Рис. 17. Вентильные резаки Р(М) типа «Маяк» (а) и трехтрубный резак РСТ с внутрисопловым смешиванием газов (б)

подвергается только мундштук, повышенная безопасность, горелка способна находиться в состоянии «обратного удара» в течение 0,5 мин без ущерба;

— серия трехтрубных резаков РСТ для тяжелых режимов эксплуатации (в 1,5 раза легче применяемых аналогов) (рис. 17).

ОАО «Завод «Уралтехгаз» (Екатеринбург):

— ацетиленовые баллоны с литой пористой массой (ЛПМ) со сварной оболочкой БСАЦ-40, пяти- и десятилитровые баллоны для небольших объемов сварочных работ;

— посты и комплекты малой и средней мощности для газопламенной обработки материалов;

— защитные газовые смеси на основе аргона, технические газы (ацетилен, аргон, углекислота).

ЗАО «ГРАСИС» (Москва) — разработка и производство современного оборудования для получения технических газов и работы с газообразными средами: адсорбционные кислородные комплексы для получения газообразного кислорода из воздуха, воздухоразделительные комплексы для получения кислорода из атмосферного воздуха с использованием мембранной технологии с закачкой кислорода в баллоны; кислородные станции и установки для сварки, резки, пайки металлов и др. (рис. 18).

ЗАО «Союзрезинотехника» (Санкт-Петербург) — производство и поставка резинотехнических изделий: рукава для газовой сварки и резки металлов, рукава напорные, гидравлические высокого давления, буровые металлокордовые

со штуцерами, ремни клиновые, приводные.

Продукция изготовлена по европейской технологии и соответствует международным стандартам.

Производство сварочных электродов представляли следующие объединения и заводы: ООО «ЭлектродСервис» (Москва), ООО «Судиславский завод сварочных материалов «Ротекс», ООО Торговый Дом «Межгосметиз» (Мценск Орловской обл.) — представитель производства ОАО «Межгосметиз-Мценск», выпускает также упаковку нового вида для омедненной сварочной проволоки «Ариадна» (рис. 19), ЗАО «Завод сварочных электродов «СИБЭС» (Тюмень), ЗАО «Волгодонский электродный завод—Ротекс», ЗАО «МИДА-СОТ-Т» (Москва).



Рис. 18. Адсорбционная кислородная установка



Рис. 19. Новая упаковка «Ариадна» для омедненной сварочной проволоки

Производство сварочной проволоки представляли ЗАО “Балтийский сталепрокатный завод” (Санкт-Петербург), ООО “Гефест” (Москва), ООО “Металл-стандарт группа” (Москва).

Электроды, наконечники, прутки для контактной сварки и плазматронов экспонировали НПК ОО “Астринсплав СК”, фирма “Сварка/Welding” (Санкт-Петербург), твердосплавные материалы для изготовления, ремонта, восстановления и упрочнения инструментов и деталей — “Роснамис” (Москва).

Оборудование, средства защиты от вредных воздействий при проведении сварочных работ и специальную одежду для сварщиков предложили следующие фирмы.

ООО “Элстат” (Москва) — промышленное оборудование для очистки воздуха от сварочных, масляных аэрозолей, печных дымов, абразивных и металлических пылей, порошков, аэрозолей:

— передвижные и стационарные электростатические фильтры ЭФВА производительностью 1000—4000 м³/ч, агрегаты для отсоса и улавливания пыли АОУМ, фильтры складчатые кассетные и с автоматической продувкой серии ФСК, фильтры для очистки воздуха при пайке и лужении ФПЛ, фильтры для гальванических и травильных производств серии ФВГ, волокнистые фильтры для очистки воздуха от жидких аэрозолей ФВА и ФВМ.

ЗАО Московский филиал “СОВ-ПЛИМ” — системы промышленной вентиляции и очистки воздуха:

— вытяжные катушки с пружинным приводом для удаления выхлопных газов автотранспортных средств на стационарных рабочих местах серии SER. Устройство эксплуатируется в комплекте с вентилятором или может непосредственно подключаться к централизованной системе вентиляции;

— вытяжные вакуумные фильтрующие агрегаты для удаления сварочных аэрозолей, сухих пылей и других вредных веществ, выделяемых от источников загрязнения в труднодоступных местах. Агрегаты комплектуются гибкими шлангами с воздухоприемными воронками либо горелками со встроенным местным отсосом;

— сварочные маски “Евролюкс Джет” концерна AIR LIQUIDE. Модульная конструкция позволяет легко комбинировать корпус маски с несколькими сменными светофильтрами (пассивные, самозатемняющиеся), быстро подсоединять патрубков маски и аккумулятора к фильтроподдуву (рис. 20).

ЗАО “ЗМ Россия” (Москва) — средства индивидуальной защиты сварщиков: сварочные щитки с автоматически затемняющимся фильтром (АСФ), система принудительной подачи предварительно очищенного воздуха Adflo, респи-



Рис. 20. Сварочная маска “Евролюкс Джет”

раторы противоаэрозольные для защиты от газа и пара различных серий.

Промышленная группа “ИнВент” (Санкт-Петербург) — проектирование, производство, поставка оборудования,



Рис. 21. Фильтро-вентиляционный агрегат “Торнадо”

монтаж, послегарантийное обслуживание промышленной вентиляции.

ПГ “ИнВент” — местные вытяжные устройства (консольные, подъемно-поворотные), вентиляторы среднего и высокого давления, фильтровентиляционные агрегаты серии ФВА, высоковакуумные вытяжные системы “Торнадо” (рис. 21), системы удаления выхлопных газов.

ООО “Тюментрансгаз” (цех по ремонту и пошиву спецодежды) (Югорск Тюменской обл.) — широкий ассортимент спецодежды: мужские костюмы для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, пониженных температур из хлопкополиэфирных антистатических тканей, комплекты спецодежды для сварщика из натуральной кожи и др. (19 моделей комплекта спецодежды) (рис. 22). Спецодежда сертифицирована.

ООО “Торговый Дом “Текстиль” (Москва) — официальный представитель норвежской текстильной компании “Dale”, специализируется на производстве огнезащитных тканей из хлопка:

— специально разработанная ткань для костюма сварщика Weldersafe, что в переводе с английского означает “защи-



Рис. 22. Комплект спецодежды для сварщика из натуральной кожи

та сварщика". Защищает от искр и брызг расплавленного металла, окалины, теплового и ультрафиолетового излучения сварочной дуги и свариваемого объекта. Ткань 100 %-ная хлопковая, огнезащитная, "дышащая". Стойкость против прожигания 149 с (самый высокий показатель на хлопке). Конструктивной особенностью костюма сварщика является использование накладок на передней части брюк, полосочек на куртке и в рукавах. Коллекция ООО "Торговый Дом "Текстиль" была представлена на показе специальной одежды для сварщиков.

Вопросами контроля качества сварных соединений, подготовки и аттестации специалистов и рабочих сварщиков для работы на различных объектах, разработкой программы и методик, аттестацией персонала по неразрушающему контролю занимаются следующие организации: **Учебный центр "Мир сварки"** (Санкт-Петербург), **кафедра "Технология сварочного производства" "МАТИ"** — РГТУ им. К. Э. Циолковского, **Центр подготовки "Машиностроительные технологии" МЭИ (ТУ), ОАО ИТЦ "Прометей"** (Чехов Московской обл.), **группа компаний "Тэлма"** (Нижний Новгород), **МФ НИКИМТ "Эксперт-Центр", ЗАО "Спектр КСК"** (Москва), **МГТУ им. Н. Э. Баумана, Головной аттестационный центр Московского региона НАКСа России.**

На выставке были широко представлены украинские производители сварочного оборудования: **Научно-технический комплекс ИЭС им. Е. О. Патона, Каховский завод электросварочного оборудования** (полуавтоматы для дуговой сварки, сварочные выпрямители), **ЗАО "Артемковский машиностроительный завод "Вистек"** (Артемовск Донецкой обл.) (проволока стальная сварочная низкоуглеродистая Св-08А, сварочные электроды); **ОАО "ЗОНТ"** (Одесса) (машины для газокислородной и плазменной резки, криогенное оборудование); **НПП "Техмаш"** (Одесса) (машины для термической резки с ЧПУ); **Завод автономного оборудования "Донмет"** (Краматорск Донецкой обл.); **ОАО "Симферопольский моторный завод"** (сварочные выпрямители, агрегаты, трансформаторы, инверторные выпрямители, оборудование для дуговой сварки в тяжелых условиях эксплуатации); **ООО "Навко-Тех"** (Киев) (автоматические установки и робототехнологические комплексы для дуговой сварки).

На выставке были широко представлены зарубежные фирмы — производители сварочного оборудования и сварочных материалов.

Компания Royaks (Южная Корея) — инверторные сварочные выпрямители (торговая марка "DaiNet") для ручной дуговой сварки покрытыми элект-



Рис. 23. Машина для газопламенной резки полос HW-HG

родами (ММА). Аппараты могут быть использованы для сварки неплавящимся электродом в защитных газах при контактном возбуждении дуги (TIG).

Официальный представитель компании — ООО "Роякс" (Москва).

ООО "Huawei сварка и резка" (Харбинский завод сварочного и резательного оборудования, Харбинский исследовательский институт по универсальной электротехнической технологии (Харбин, Китай) — машина для термической резки с системой ЧПУ, труборезный станок

с ЧПУ, сварочная линия для сварки корабчатой балки, аппараты для сварки и резки, источники питания для плазменной резки, машина для газопламенной резки полос серии HW-HG (толщина резки по стали 8—100 мм, минимальная ширина полосы — 80 мм), линия для сварки трубных панелей и др. (рис. 23).

На выставке широко были представлены роботы различного назначения.

Фирма KUKA (Германия) — робот для сварки в защитных газах серии KR6 ARC, который может монтироваться на



Рис. 24. Универсальный сварочный робот серии Almega AX-V4 AP

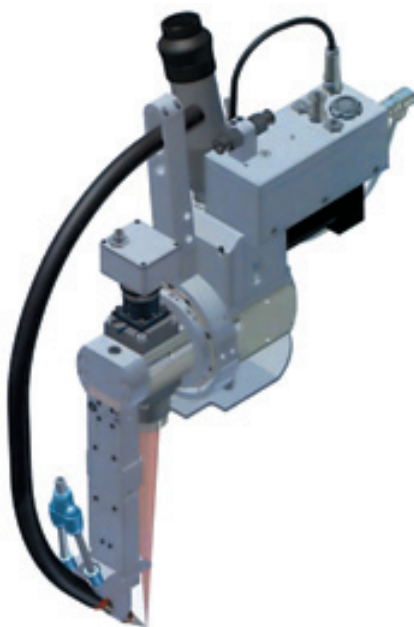


Рис. 25. Пайка лазером с интегрированной системой ведения шва АЛО-1

полу или стенке, что позволяет быстро встраиваться в технологический процесс (длина руки 670 мм, грузоподъемность 6 кг, радиус действия 1611 мм). Область применения: производство автомобильных рам и каркасов, стальных балок, трансформаторов, отопительных котлов, выхлопных труб и др.).

Компания ОТС (Германия) — универсальный сварочный робот для дуговой сварки серии Almega AX-V4 AP. Главные отличительные особенности — постоянная скорость подачи проволоки, простота обслуживания, удобство в работе — позволяют проводить обучение

манипуляторов даже для самых сложных работ (рис. 24).

Компания Kawasaki (Япония) — роботы последнего поколения серии ZZ для работы в тяжелых условиях. Применяются на промышленных предприятиях в автоматических линиях для точечной сварки, пайки, литья под давлением, погрузочно-разгрузочных работах и др. Серия роботов ZZ включает восемь моделей с полезной нагрузкой до 300 кг. В модельный ряд входят роботы различных модификаций. Отличительные особенности: сокращение времени производственного цикла, расширение рабочей зоны, защита от воздействия неблагоприятной среды, возможность изменения конфигурации, память для определения положения руки манипулятора.

Фирма Scansonic (Германия) — новые лазерные технологии:

— пайка лазером с интегрированной системой ведения шва АЛО-1 (адаптивная оптика для обработки лазером, направление шва дополнительной проволокой);

— лазерная сварка с интегрированной системой направления сварочного шва АЛО-2 (адаптивная обрабатывающая лазерная оптика, направление сварочного шва с помощью присадочной проволоки, регулируемое по силе управление сварочным швом за счет специального силового датчика);

— АЛО-обрабатывающая лазерная головка с интегрированной системой ведения шва дополнительной проволокой для CW-лазеров с длиной волны от 880 до 1070 нм (рис. 25).

Международная компания "Linde Gas" — полный спектр газосварочной продукции: редукторы для газовой сварки, резак, пропановые горелки, редукторы, защитные устройства, а также газо-

вые смеси на основе аргона и углекислоты (FOGON) для дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах, ацетилен в стандартных и облегченных баллонах (69—75 кг, количество ацетилена 6,0—7,7 кг).

Фирма Almega (Германия) — машина для снятия фасок с прямолинейной и криволинейной поверхностей серии SKF, станки для обработки торцов труб серии RFM, станки для снятия фаски серии Gerima-KS (рис. 26).

Фирма Tynkers (Германия) — пневматические, гидравлические, электрические и ручные системы, автоматические системы крепления в сварочных установках и роботизированных системах, в основном, в автомобильной промышленности (рис. 27); пневматические силовые цилиндры, сварочные поворотные столы и прижимы.

На выставке широко были представлены зарубежные фирмы-разработчики сварочных материалов: фирма **Fileur** (Италия) — производство сварочной проволоки; **компания UTP** (Германия) — сварочные электроды для сварки сталей, цветных металлов, чугуна, наплавочных работ, вольфрамовые электроды для TIG-сварки, материалы для пайки, а также CF-паста для удаления оксидов хрома с поверхности коррозионно-стойкой стали после сварки. TA-Flux — порошок-паста для формирования и защиты обратной стороны шва при сварке, маска "Хамелеон" Xelux; **шведский завод Avesta Welding** — электроды для сварки коррозионно-стойких сталей диаметром 1,6—5,0 мм; **компания Soudokay** (Бельгия) — порошковые проволоки и ленты для наплавки; **фирмы Sharp Tool** (Индия) — оборудование для производства электродов для дуговой сварки, проволок для сварки в защитных газах, трубча-



Рис. 26. Ручная машина SKF3020 для снятия фасок с прямолинейной и криволинейной поверхностей

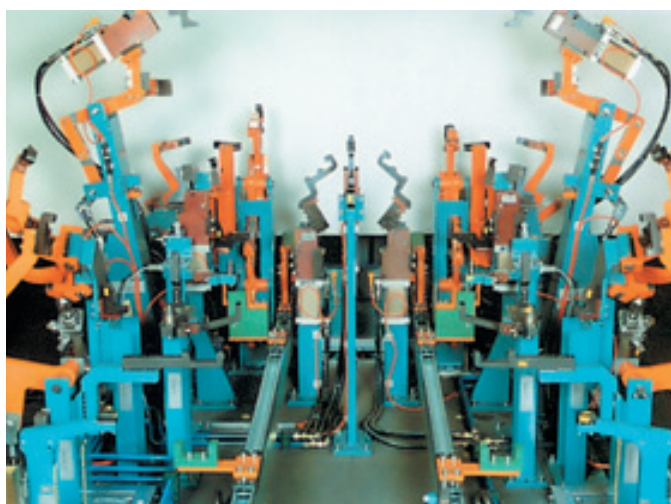


Рис. 27. Пневматические зажимы для сварочных установок

тые сварочные электроды для ремонтной сварки под торговой маркой "Master".

Компания RAM/ООО "Огнеупорные и абразивные материалы" (Санкт-Петербург) — официальный представитель итальянской фирмы "Orcitaliana" на российском рынке — суперсплавы на основе железа, никеля, кобальта, титана, алюминия, карбида вольфрама для нанесения защитных покрытий методом наплавки и изготовления готовых изделий.

Фирма "Глобал Вэлдинг" (Москва) — прямые поставки оборудования для механизированной сварки и резки и сварочных материалов из Китая.

Помимо перечисленных зарубежных фирм и компаний, необходимо отметить таких традиционных участников выставок, как **ESAB** (рис. 28), **Argus Limited Merkle, Lincoln Electric, Kemppi** (рис. 29), **Abicor Binzel, Bacou-Dalloz** и др.

Традиционно на выставке были представлены фирмы — официальные представители в России и СНГ известных отечественных и зарубежных фирм и компаний-производителей сварочной продукции. Необходимо отметить продолжающуюся тенденцию увеличения числа фирм-представительств: **ЗАО "Антарес-К", ООО "Вебер-Комеханикс", фирма "Сварка-Техника", Промышленная группа "Дюкон", корпорация "Эконика", ООО "К-97 Инжиниринг"** и др.

Выставка "Россварка/Weldex—2006" продемонстрировала основные направления развития сварочного производства в России: новое сварочное оборудование и технологии, малогабаритные сварочные аппараты и полуавтоматы инверторного типа для дуговой сварки покрытыми электродами и в защитных газах, высококачественные сварочные материалы, робототехнические комплексы, автоматизированные системы управления сварочным производством, решение проблем в области охраны окружающей среды, привлечение инвестиций для внедрения новых научных разработок.

В рамках выставки состоялась деловая программа: заседание "Клуба деловых встреч" с участием ММГА, круглые столы, презентации отдельных фирм, конкурсы "Мисс Сварка России 2006", "Лучший сварщик 2006", "Лучший инженер-сварщик 2006", показ рабочей одежды и другие мероприятия.

Конкурс "Лучший сварщик 2006" проводился в трех номинациях: ручная дуговая сварка MMA, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом TIG, механизированная сварка MIG/MAG. Во всех случаях предстояло сварить наиболее сложные для сварки неповоротные стыки труб (рис. 30).

Организаторы конкурса: ООО "Фирма "ЭЛСВАР", ОАО "НИКБООР" (Элек-



Рис. 28. Стенд фирмы ESAB



Рис. 29. Сварочное оборудование фирмы KEMPPi

тросталь Московской обл.), компании "Ин-Вент", ИТС (Санкт-Петербург), учебный сварочный центр ОАО "ЗИО-Подольск", РНТСО, фирмы ESAB (Швеция), Bosch (Германия), компания "СВАГА-РУ"

В конкурсе участвовали 46 сварщиков-профессионалов из Волгодонска (ОАО "Атоммашэкспорт", ООО "Фирма "Монрем"); Иркутска (ЗАО "Иркутскэнергоремонт"), Москвы (ООО "РУРК", ЗАО "МосФлоулайн, МЭИ) и Московской

обл. — г. Железнодорожный (ОАО "ММУС"), Истры (ЗАО "Новатор"), Мытищ (ООО "Остров-Комплект"), Коломны (ОАО "Коломенский завод"), Электростали (ОАО "ЭЛЕМАШ"), а также Нефтеюганска Тюменской обл. ("Юганскнефтегаз"), и Нового Уренгоя (ООО "Ямбурггаздобыча").

В номинации MMA первое место занял А. М. Ерофеев (ЗАО "Иркутскэнергоремонт"), второе — А. В. Гуськов (ООО



Рис. 30. Участники профессионального конкурса “Лучший сварщик 2006”

“МРЕМ”). В номинации TIG места были распределены следующим образом: А. М. Ерофеев (ЗАО “Иркутскэнергоремонт”), Н. Ю. Дылбо (ОАО “ММУС”), в номинации MIG/MAG — В. А. Тудвасев (ОАО “Атоммашэкспорт”), А. А. Влазнев (ОАО “Коломенский завод”).

Спонсоры конкурса — ИТС, ESAB и “СВАГА-РУ” предоставили победителям, занявшим первые места, главные

призы — инверторные сварочные аппараты последних моделей (рис. 31).

Все участники конкурса получили памятные дипломы.

На конкурс “Лучший инженер-сварщик-технолог 2006” были представлены соискатели от шести предприятий.

Победителем конкурса признан Д. Л. Наумов — технолог отдела главного сварщика ФГУП “Государственный космический научно-производственный

центр им. М. В. Хруничева” за освоение и внедрение в производство впервые в России (разработку технологии, рабочих инструментов и оснастки) оборудования и технологии FSW (friction stick welding) (рис. 32). Данная работа позволила путем использования разработок Института сварки Великобритании (TWI) и фирмы ESAB освоить высококачественную сварку топливных баков космических ракет.

Д. Л. Наумов получил диплом MVK и



Рис. 31. Победители конкурса “Лучший сварщик 2006”



Рис. 32. Победитель конкурса “Инженер-сварщик-технолог 2006” — Д. Л. Наумов



Рис. 33. Жюри конкурса “Мисс Сварка России 2006”

РНТСО, а также призы: инверторный сварочный аппарат, предоставленный спонсором — компанией “Плазма” (Ростов-на-Дону), и набор ручных электрических машин для обработки металлов от фирмы Bosch.

На участие в конкурсе “Мисс сварка России 2006” подали заявки 22 девушки из Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга, Твери, Северодвинска, Нижнего Новгорода, Юрги и других городов.

Жюри конкурса: О. И. Стеклов, д-р техн. наук, президент РНТСО — председатель жюри; В. А. Казаков, д-р техн. наук, директор Издательского центра “Технология машиностроения”, главный редактор журнала “Сварочное производство”; В. Н. Бутов, канд. техн. наук, президент ММАГС; А. Ю. Крылов, ген. д-р ООО “ЭСАБ” (Москва); Н. В. Смирнов, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО “Институт сварки России; Г. Филиппева —

победительница конкурса “Мисс Сварка 2005”.

Победительницами первого этапа конкурса стали инженер Томского политехнического университета Анастасия Шефнер (Юрга), переводчик журнала “Металлические страницы” Ольга Адамова (Санкт-Петербург), студентка МЭИ Ольга Александрова (Москва), сотрудница издательства “Пилигрим” Елена Любаневич (Санкт-Петербург), студентка



Рис. 34. Финалистки-победительницы конкурса “Мисс Сварка России 2006”



Рис. 35. Конкурс спортивно-балльных танцев



Рис. 36. Конкурс-демонстрация спецодежды

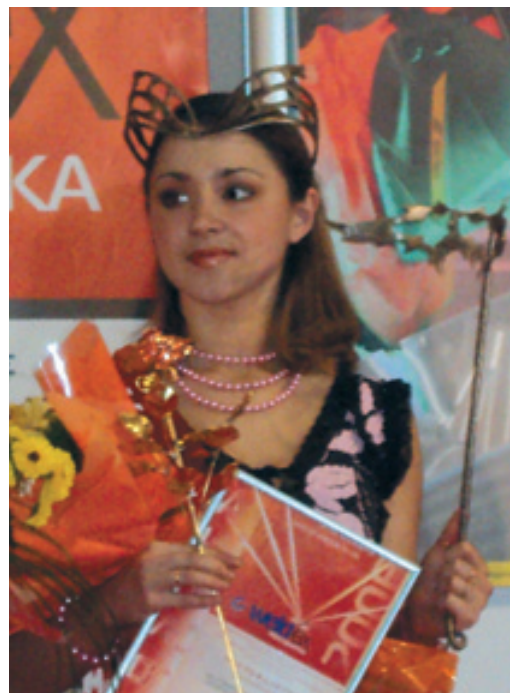


Рис. 37. Победительница конкурса “Мисс Сварка России 2006” Анастасия Шефнер

ТПУ Евгения Радченко (Юрга), студентка “МАТИ”—РГТУ им. К. Э. Циолковского Наталья Суворова (Москва) (рис. 34). Эти девушки в финале конкурса “Мисс Сварка России 2006” соревновались в ручной художественной плазменной резке и сварке, участвовали в конкурсе

спортивно-балльных танцев, демонстрировали рабочую одежду (рис. 36), участвовали в показе коллекции женской одежды, предоставленной молодым художником-дизайнером Анастасией Кучуговой, пели, отвечали на вопросы викторины об истории сварки.

Звания “Мисс Сварка России 2006” была удостоена Анастасия Шефнер, ей досталась корона, выполненная ковкой и сваркой из металла и украшенная стразами, предоставленная промышленной группой “ОСТ” (Белоруссия), и музыкальный центр от промышленной компании “СТМ” (Москва) (рис. 37).

Все остальные девушки также признаны победительницами конкурса, удостоены звания “Вице-Мисс Сварка 2006” и награждены памятными дипломами и многочисленными подарками от фирмы ESAB, компании “ИнВент”, завода “Донмет” (Украина), парфюмерной компании “Косметика 21-го века” (Москва) и др. Популярный московский развлекательный центр “Магнит” организовал в честь победительниц вечер. Конкурс сопровождался выступлениями творческих коллективов (рис. 38).

Интерес к выставке постоянно растет — увеличилось число участников по сравнению с прошлой выставкой (со 170 до 200), площадь представленных экспозиций, а также число посетивших выставку специалистов.

В 2006 г. выставка “Россварка/Welding” отмечена Знаком Международного союза выставок и ярмарок (МСВЯ), что подтверждает ее престиж и вклад в развитие сварочного производства и экономики России.



Рис. 38. Выступление танцевального ансамбля

Ан. А. СУСЛОВ, канд. техн. наук

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 75, N 1, 2006, Япония)

Sasaki K. Газоэлектрическая сварка двумя электродами толстолистовой стали (способ VEGA). Р. 4.

Специальный выпуск. Современное состояние и перспективы университетского образования в области сварочной техники (на примере машиностроительного факультета Осацкого университета)

Nishimoto K. История, современное состояние и перспективы университетского образования в области сварочной техники (на примере машиностроительного факультета Осацкого университета). Р. 6—12.

Ikeuchi K. Обучение сварочным наукам в Исследовательском институте сварки и соединения при Осацком университете. Р. 13—16.

Kokawa H. История изменения учебных программ на машиностроительном факультете университета Тохоку. Р. 17—20.

Manabe Y. Получение образования в области сварочного производства и технологий в Национальном технологическом колледже Окинавы. Р. 21—26.

Irie H. Образование и повышение квалификации в Японском колледже сварки и сварных конструкций. Р. 27—29.

Kaneko H. Образование и повышение квалификации в области сварки и родственных технологий в высших технических школах. Р. 30—32.

Lippold J.—P. Уровень образования в области сварочной техники в государственном университете Огайо. Р. 33—35.

Dilthey U. Современное состояние и перспективы сварочного образования. Р. 36—37.

Cerjak H. Уровень образования в области сварочной техники в Технологическом университете в Граце. Р. 38—39.

Feng J. История и статус инженерного образования в Харбинском технологическом институте. Р. 40—44.

Hirose A.—P. Летний колледж сварочной техники при Осацком университете. Р. 45—47.

Tsukamoto S., Yasuda K. Сварочный семинар в отделении Тобу Японского сварочного общества. Р. 48—49.

Hirata Yo.—P. Альтернативный курс МИСа для сварочного персонала в Японии. Р. 50—80.

Hittori S. Предложения по обмену сварочными технологиями. Р. 81—82.

Ohnawa T. Сварка — это интересно. Р. 90—92.

QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 23, N 4, 2005, Япония)

Ueyama T. Возникновение интерференции и обрыва дуги при импульсной сварке плавящимся электродом последовательными дугами в защитном газе. Р. 515—525.

Ueyama T. et al. Решение проблемы обрыва дуги и контроля постоянной длины дуги при импульсной сварке плавя-

щимся электродом последовательными дугами в защитном газе. Р. 526—535.

Okagaito T. et al. Влияние содержания серы на температурное поле сварочной ванны. Р. 536—540.

Uchihara M., Fukui K. Формуемость сварных заготовок специального раскроя с использованием высокопрочных стальных листов. Р. 541—548.

Uchihara M., Fukui K. et al. Технические характеристики сварных заготовок специального раскроя с использованием высокопрочных стальных листов для практического применения. Р. 549—557.

Mikami Y. et al. Численное моделирование распределения твердости в сварных швах, выполненных дуговой сваркой плавящимся электродом в защитном газе с узким зазором. Р. 558—563.

Mikami Yo. Оценка распределения фракции микроструктуры и твердости по термическим циклам. Р. 564—570.

Fukumoto Sh. et al. Контроль тепловложения и деформации при контактной микросварке тонкой никелевой проволоки. Р. 571—576.

Kimura M. et al. Влияние продолжительности процесса и давления на предел прочности при растяжении сварного соединения из средне- и высокоуглеродистой стали, выполненного сваркой трением с низкой погонной энергией. Р. 577—586.

Song W. Высокотемпературная пайка сплава инконель 600 диодным лазером с использованием высокопрочных припоев из благородных металлов. Р. 587—594.

Song W. et al. Теоретический анализ явления эрозии при лазерной высокотемпературной пайке. Р. 595—602.

Watanabe T. et al. Исследование поверхности сварного соединения в твердом состоянии между сталью и сплавом алюминия с помощью вращающегося штыря. Р. 603—607.

Fukumoto M. Нанесение покрытия из нитрида алюминия на металлическую подложку с помощью реакционного напыления ВЧ-плазмой. Р. 608—612.

Anzai T. Адгезия биопленок и коррозия под воздействием микробов сварных швов, подверженных воздействию воды плотн. Р. 613—621.

Yamamoto N. et al. Влияние слоя интерметаллического соединения на прочность сцепления поверхности контакта при сварке трением промышленно чистого титана с низкоуглеродистой сталью. Р. 622—627.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (№ 1, 2006, Германия)

Исследования в области пайки и внедрение результатов в практику. С. 3—5.

Springfeld P. Прецизионная резка толстых листов тонким плазменным лучом. С. 7—8.

Склеивание без клея. С. 8—9.

Применение лазера в производстве микротехники. С. 9—10.

Mittelberg D., Krüger U. Конденсаторная сварка точечных соединений на магниевых материалах. С. 13—18.

Kusch M.—S. МИГ-сварка алюминия с импульсной подачей защитного газа. С. 19—22.

Dilthey U. et al. Дуговое соединение и деформация соединенной стали с алюминием. С. 23—28.

Siebert M., Schlimmer M. Надежный процесс получения клеевых кольцевых штекерных соединений из металлических материалов в условиях производства. С. 29—33.

¹Раздел 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).

Berichte B. Высокотемпературная индукционная пайка алюминия. S. 34—37.

Доклады на конференции DVS в Эссене в сентябре 2005 г. S. 38—51.

Пайка без олова, коллоквиум в Дюссельдорфе в октябре 2005 г. S. 52—56.

SUDURA (Vol. XVI, N 1, 2006, Румыния)

Georgescu B. et al. Холодная сварка с использованием промежуточного присадочного материала. P. 5—10.

Gebert A. et al. Деформирование и опасность трещинообразования при неполной нагрузке в процессе сварки. P. 12—15.

Tatter U. Опасность при заполнении небольших баллонов техническими газами. P. 16—18.

Olaineck C. et al. Лазерное соединение в автомобильной промышленности. P. 19—23.

Wilhelm G. Достижения в области термического напыления на поверхность пластмасс. P. 28—30.

WELDING JOURNAL (Vol. 85, N 1, 2006, США)

Lee F. T. Исследование качества швов, выполненных термитной сваркой, для определения их надежности при ремонте рельсов. P. 24—29.

Руководство по проектированию соединений под сварку корпусов судов. P. 33—38.

Cullison A. Сварочная ярмарка в Эссене представила много технологий. P. 40—43.

LaFlamme G. et al. Гибридный процесс электронно-лучевой сварки и пайки для соединения мощных рабочих колес в автомобильной промышленности. P. 44—47.

Balfour C. et al. Новый алгоритм корреляции параметров кромок для измерений расплавленной сварочной ванны по компьютерному изображению в реальном времени. P. 1-s—8-s.

Caio G., Kou S. Прогнозирование и уменьшение склонности к образованию ликвационных трещин алюминиевых сплавов в частично расплавленной зоне. P. 9-s—18-s.

Darcis P. et al. Усталостные характеристики сварных соединений. Ч. 2. Физическое моделирование процесса усталости. P. 19-s—20-s.

УДК 621.791(088):16

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

Робот для дуговой сварки и способ дуговой сварки.

1. *Робот для дуговой сварки* зоны рельса содержит горелку, имеющую возможность перемещения, и средство управления перемещением. Отличается тем, что средство управления перемещением включает первое средство для управления перемещением горелки по периметру подлежащей сварке зоны так, чтобы геометрические места сварки на упомянутой зоне считывались с помощью средства считывания, соединенного со средством запоминания для введения в память данных о геометрических местах сварки, полученных на рельсе при считывании, и второе средство автоматического управления перемещением горелки вдоль зоны сварки в границах считывания и как функции геометрических мест сварки в соответствии с находящимися в памяти данными. 2. *Способ дуговой сварки зоны рельса* включает расположение вдоль рельса робота для дуговой сварки, содержащего средство запоминания и подвижную горелку, приспособленную для подачи в нее сварочной проволоки. Отличается тем, что горелку располагают на рельсе перед подлежащей сварке зоной в исходном геометрическом месте по отношению к упомянутой зоне, считывают геометрические особенности упомянутой зоны для получения данных считывания, вводят считанные данные в средство запоминания и выполняют определенную программу сварки как функцию упомянутых введенных

в память данных, при этом выполнение программы включает подачу в горелку сварочной проволоки, подачу на горелку электропитания для дуговой сварки как функцию упомянутой программы сварки и размещение горелки перед подлежащей сварке зоной в границах данной зоны в соответствии с ее геометрическими особенностями. 2266179 (C2). Ж. Сорон (FR), Ж. Гон (FR). "СОСЬЕТЕ ЖОЗЕФ СОРОН МАТЕРЬЕЛЬ ЭНДЮСТРИЕЛЬ З. И. ЛЕ БОРД (FR). [35].

Устройство для подачи вращающейся наплавочной проволоки содержит вращающуюся кассету для проволоки, наплавочный мундштук, проволокоподающий механизм в корпусе, включающий установленные в корпусе центрирующую втулку, расположенную в верхней части корпуса, корпус с двумя парами протягивающих роликов, выполненных в виде шарикоподшипников, узел регулирования поджатия роликов к проволоке, узел включения/выключения, реверсирования подачи проволоки, изменения скорости подачи проволоки, регулирующей узел для прижатия плавящегося конца проволоки к детали, причем вращающаяся кассета закреплена непосредственно на валу электродвигателя со стороны установленного за ней корпуса проволокоподающего механизма, а ее ось вращения совмещена с осью канала подачи проволоки, корпус с роликами расположен между центрирующей втулкой и наплавочным мундштуком. Отличается тем, что в корпусе проволокоподающего механизма по оси канала подачи проволоки установлены выравнивающие втулки в количестве $2n + 1$ (n равно 1, 2, 4, 8), причем втулки равноудалены друг от друга. 2266180 (C1). Н. Машрабов (RU). Челябинский агроинженерный университет (RU). [35].

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки содержит подающий механизм с постоянной подачей сварочной проволоки и преобразователь постоянной подачи в импульсную. Отличается тем, что преобразователь постоянной подачи в импульсную установлен на выходе из сварочного шланга и состоит из электромагнита с толкателем на якоре и шарикового захвата, имеющего подпружиненный упор и выполненного отдельно от электромагнита, при этом преобразователь выполнен с возможностью регулирования зазора между толкателем и упором. 2266181 (C1). О. Г. Брунов (RU), В. Т. Федько (RU), А. В. Крюков (RU) и др. Томский политехнический университет (RU). [35].

*Приведены наименование и номер патента (авторского свидетельства), автор и заявитель, а в квадратных скобках — номер специального бюллетеня "Изобретения. Полезные модели" за 2005 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 шовной ультразвуковой сварки краев труб внахлест содержит концентратор, ролик, закрепленный на конце концентратора, другой конец которого связан с вибратором, при этом концентратор выполнен с возможностью его вращения вокруг продольной оси совместно с роликом. Отличается тем, что концентратор выполнен в виде ступенчатого волновода, при этом диаметр первой ступени волновода для конца концентратора, предназначенного для связи с вибратором, выбран большим, чем диаметр второй ступени волновода для конца концентратора, на котором закреплен ролик, причем диаметр ролика выбран равным диаметру второй ступени волновода на конце концентратора. 2266182 (С1). Е. Ю. Бухарев (RU), А. М. Мирзоян (RU), Н. Н. Рыжов (RU), ЗАО НПП "Маяк—93" (RU). [35].

Способ получения многослойных заготовок и листов из разнородных титановых сплавов включает диффузионное соединение слоев пакета из разнородных титановых сплавов через прослойки. Отличается тем, что используют катаные листовые прослойки из технически чистого титана, при этом диффузионное соединение слоев пакета и прослоек осуществляют в вакуумной камере гидравлического пресса при разрежении пространства камеры $(6,67—13,3) \cdot 10^{-3}$ Па, температуре нагрева пакета, составляющей 0,53—0,6 температуры плавления титана, отношении среднего давления сжатия пакета к пределу текучести титана 1,5—3,0 и длительности выдержки пакета под давлением 1—2 ч. 2266183 (С1). Н. Д. Лукашкин (RU), Я. Л. Соломонович (RU), А. Я. Винокуров (RU), ГОУВПО МВМи (RU). [35].

Способ сборки кондуктора для сборки-сварки кузова автомобиля и средство для его осуществления. 1. *Способ сборки кондуктора* для сборки-сварки кузова автомобиля включает установку на направляющие рельсы базовыми элементами центральной части кондуктора с установленными и выверенными кондукторными узлами, состоящими из кондукторных плит и рабочих блочков, закрепление центральной части кондуктора фиксаторами, подведение корпусов боковых воротин, наложение узлов взаимной фиксации. Отличается тем, что на центральную часть кондуктора устанавливают стойки с перекладиной, на концах которой размещают кондукторные узлы корпусов боковых воротин, рабочие блочки которых выверены размерно с рабочими блочками центральной части кондуктора, затем к кондукторным плитам присоединяют разъемным соединением пластины переходников, подводят по направляющим до упора ориентированные в пространстве корпуса боковых воротин, торцы которых прослаблены до образования зазора с собранной центральной частью кондуктора, на боковые стороны корпусов боковых воротин накладывают пластины переходников и прижимают торцами к пластинам, производят взаимное закрепление, отводят корпуса боковых воротин с закрепленными на них переходниками и кондукторными узлами, снимают с центральной части кондуктора стойки с перекладиной. 2. *Кондуктор для сборки-сварки* кузова автомобиля содержит установленную базовыми элементами на направляющие рельсы и закрепленную фиксаторами центральную часть с установленными и выверенными кондукторными узлами, состоящими из кондукторных плит и рабочих блочков, корпуса боковых воротин с узлами взаимной фиксации. Отличается тем, что на центральной части закреплены стойки с перекладиной и введены переходники, состоящие из пластины и платиков, компенсирующие заложенные прослабления от номинальных размеров от корпусов боковых воротин, установленных на направляющих с упорами, ориентирующих указанные корпуса в пространстве. 2266184 (С2). В. А. Носов (RU), А. Е. Хабаров (RU), ОАО "ГАЗ" (RU). [35].

Способ пайки конусообразных многослойных оболочек, состоящих из внутренней, наружной рубашек и элементов связи, включает сборку рубашек с элементами связи с размещением припоя в зоне соединения, установку сборки в контейнере с подачей в него защитной среды и нагрева до температуры пайки. Отличается тем, что для предотвращения потери устойчивости наружной рубашки при пайке тонкостенных рубашек и элементов связи, при сборке рубашки сваривают на торце с большим диаметром, внутреннюю полость оболочки герметизируют заглушками и создают внутри полости избыточное давление, а в межрубашечной полости — давление не ниже давления в контейнере. 1792024 (А1). А. Г. Двуреченский, В. П. Абросимов, А. С. Ляпин, Г. В. Бобков. Организация "Гермес". [35].

Плазмотрон содержит корпус, расположенный в нем катододержатель с закрепленным в нем катодом, выполненным с активной вставкой, завихритель, закрепленное на корпусе внутреннее сопло для подачи плазмобразующего газа, газоподвод, а также наружное сопло, установленное с кольцевым зазором относительно внутреннего сопла. Отличается тем, что для повышения ресурса работы катода путем улучшения его охлаждения и использования плазмобразующего газа в качестве охлаждающей среды, завихритель образован наружной поверхностью катода и внутренней поверхностью катододержателя, катод выполнен с полостью, которая соединена с газоподводом и полостью катододержателя, а полость катододержателя соединена с кольцевым зазором между соплами. 1223533 (А1). С. Б. Бойко, М. И. Сычев. [35].

Плазмотрон содержит катододержатель, в котором закреплен катод с активной вставкой, а внутри катододержателя с возможностью продольного перемещения установлена трубка для подачи охлаждающей жидкости, торец которой выполнен с вырезами на боковой стенке для прохода жидкости и установлен в контакте с внутренней торцевой поверхностью катода. Отличается тем, что для снижения точности изготовления деталей плазмотрона трубка для подачи охлаждающей жидкости подпружинена относительно катода, а катод с катододержателем соединены по конусной посадке. 1510234 (А1). С. Б. Бойко, А. И. Звягин, М. И. Сычев, Б. Г. Тырченков. [35].

Устройство для контактной сварки током повышенной частоты содержит сварочные электроды, механизм сжатия и сварочный тороидальный трансформатор с вторичной обмоткой, подключенной к сварочным электродам и состоящей из наружного металлического цилиндра и двух торцовых металлических пластин, одна из которых сплошная. Отличается тем, что для уменьшения мощности потерь в устройстве за счет понижения омического и реактивного сопротивления сварочной цепи другая металлическая торцевая пластина выполнена сплошной, на ней закреплен механизм сжатия сварочных электродов, причем последние размещены на торцовых металлических пластинах и в полости металлического цилиндра навстречу друг другу. 1413816 (А1). Г. Ф. Игнатьев. [35].

Конденсаторная сварочная машина содержит конденсаторную батарею, разделенную на секции, положительные и отрицательные выводы каждой из которых через зарядные резисторы подключены к источнику постоянного тока, разрядные тиристоры, сварочный трансформатор, первичная обмотка которого шунтирована обратным диодом, причем ее первый вывод соединен с положительным выводом последней секции конденсаторной батареи. Отличается тем, что для повышения КПД машины за счет снижения потерь в токоведущих разрядных цепях аноды разрядных тириستоров подключены к положительным выводам предыдущих секций, а катоды — к отрицательным выводам последующих секций, при этом второй вывод первичной обмотки трансформатора подключен к отрицательному выводу первой секции конденсаторной батареи. 1332674 (А1). И. Ф. Антонов, Р. Г. Шайдуллин. [35].

Устройство для контактной сварки током повышенной частоты содержит сварочный трансформатор, электроды, выполненные в виде вращающихся валцов, установленных с возможностью взаимного прижима. Отличается тем, что для повышения КПД и расширения технологических возможностей путем обеспечения сварки листов в большом диапазоне толщин первичная обмотка трансформатора выполнена в виде опорных секций, валцы смонтированы в опорных секциях, а вторичная обмотка трансформатора — в виде перемычек для электрического соединения одноименных торцев валцов. 1577194 (С). Г. Ф. Игнатьев. ЦКБ "Геофизика". [35].

Способ подготовки под сварку деталей, преимущественно лучевую, при котором на каждой свариваемой кромке в пределах ее толщины выполняют выступ и впадину соответственно, причем ширина выступа выполняется меньшей глубины впадины и выполняют сборку соединения. Отличается тем, что для повышения качества сварки путем обеспечения заданного зазора в свариваемом стыке и уменьшения остаточных деформаций канавку и выступы выполняют скругленными и с конечной поверхностью сопряжения, ширину выступа выполняют равной KB (B — ширина канавки; K — коэффициент, который выбирают из условия $K \leq (B - \Delta)/B$, где Δ — возможная поперечная

усадка сварного шва). 1358228 (A1). В. П. Абросимов, С. Г. Федотов, А. В. Герфанов и др. [35].

Способ электронно-лучевой сварки встык со сквозным проплавлением горизонтальным лучом, при котором сварку ведут со скоростью 10—20 м/ч током, величина которого превышает ток, необходимый для сквозного проплавления. Отличается тем, что для повышения качества сварных соединений из титановых сплавов толщиной 40—80 мм путем формирования равномерных лицевого и корневого валиков при равномерной ширине шва по его глубине используют электронный луч с углом сходимости не более $2 \cdot 10^{-2}$ рад, фокус луча размещают в промежутке между облучаемой поверхностью стыка и электронным излучателем и обеспечивают круговую развертку пятна нагрева по облучаемой поверхности с диаметром траектории 4—5 мм, ток луча выбирают из соотношения $(1,3—1—8)I_0$, а частоту круговой развертки устанавливают равной $(10—15)v_{св}$ при сварке горизонтального шва и $(30—40)v_{св}$ при сварке вертикального шва, а фокус выбирают из соотношения $(L_0 - L_F)/H = 0,75 \pm 1,5$ (L_0 — расстояние от выходного торца излучателя до облучаемой поверхности; L_F — расстояние от выходного торца излучателя до фокуса луча; H — глубина проплавления; I_0 — ток луча, необходимый для сквозного проплавления; $v_{св}$ — скорость сварки). 1646154 (A1). В. В. Слюсаревский, В. С. Ларионов, В. П. Морочко, Н. Н. Терентьева. [35].

Устройство для слежения за стыком сварного соединения содержит электронно-лучевую установку, отклоняющую систему, блок сканирования, коллимированный датчик рентгеновского излучения, ориентированный на канал проплавления через стык соединения, последовательно соединенные избирательный усилитель третьей гармоники частоты сканирования луча, демодулятор, интегратор и сумматор, подключенный выходом к отклоняющей системе, первый выход блока сканирования подключен к опорному входу демодулятора, а второй выход через блок деления частоты на три подключен к второму входу сумматора. Отличается тем, что для повышения помехоустойчивости оно дополнительно снабжено вторым коллимированным датчиком рентгеновского излучения, ориентированным в полости стыка на канал проплавления через заваренный стык соединения, и дифференциальным усилителем, входы которого соединены с выходами коллимированных датчиков рентгеновского излучения, а выход подключен к входу избирательного усилителя третьей гармоники частоты сканирования луча. 1700863 (A1). В. Д. Лаптенко, А. В. Мурыгин, В. Г. Угрюмов. [35].

Способ плакирования отверстий в детали из композиционного материала включает размещение втулки из плакирующего материала в отверстие детали и их соединение путем осадки втулки. Отличается тем, что для повышения качества детали за счет лучшего соединения составляющих втулку выполняют с фланцем и отверстиями, центры которых расположены эквидистантно контуру отверстия детали, перед осадкой осуществляют соединение детали с фланцем втулки путем склеивания, а осадку втулки осуществляют по периметру каждого из отверстий. 1764260 (A1). С. И. Козий, П. В. Рассказов, Т. Б. Козий и др. Центральное СКБ. [35].

Устройство для сдавливания деталей за счет разницы температурных коэффициентов линейного расширения материалов элементов устройства и сдавливаемых материалов, содержит две параллельно установленные опорные плиты, источник нагрева, опорную втулку и установленный в ней стяжной узел, включающий болт. Отличается тем, что для расширения технологических возможных болт выполнен двухступенчатым, причем участок с большим диаметром сопряжен с внутренней поверхностью опорной втулки и имеет длину, равную длине втулки. 1596579 (A1). В. П. Абросимов. [35].

Способ изготовления металлополупроводниковых устройств, при котором металлические детали устанавливают на полупроводниковой пластине и приваривают к ней. Отличается тем, что для повышения точности и упрощения технологии в металлических деталях предварительно выполняют сквозные отверстия, оси которых располагают на расстоянии, большем диаметра отверстий, а сварку осуществляют лазерным лучом, который вводят в каждое из упомянутых отверстий, оплавляя

пластину, стенку отверстия и соответствующую деталь. 1743095 (A1). Ю. Н. Шпилев, П. Г. Михайлов. НИИ физических измерений. [35].

Способ сварки кольцевых швов, при котором подкладное кольцо с наружным диаметром, большим чем внутренний диаметр кромок свариваемых деталей, сжимают до размера, обеспечивающего сборку на нем свариваемых деталей, собирают указанные детали под сварку на сжатом подкладном кольце, создают условия для восстановления исходного наружного диаметра подкладного кольца и производят сварку. Отличается тем, что для повышения качества сварных швов за счет снижения остаточных напряжений и деформаций исходный наружный диаметр подкладного кольца определяют из соотношения

$$D_k = D_{\text{вн.кр}} \left[1 + \frac{\sigma_{0,2}}{E} (1 + f) \right],$$

где D_k — исходный наружный диаметр подкладного кольца; $D_{\text{вн.кр}}$ — номинальный внутренний диаметр свариваемых кромок; $\sigma_{0,2}$ — предел текучести свариваемого материала; E — модуль упругости свариваемого материала; f — коэффициент, равный отношению радиального перемещения подкладного кольца и свариваемых кромок под действием одинакового контактного давления. 1352809 (A1). В. П. Абросимов, А. Г. Двуреченский. [35].

Способ монтажа полупроводниковых приборов включает установку гибких выводов на контактную площадку, прижатие выводов инструментом, их сварку и контроль качества на отрыв при отведении инструмента под углом 90° к плоскости присоединения вывода с усилием, равным эталонному усилию отрыва сварного соединения. Отличается тем, что для снижения трудоемкости и повышения точности контроля сварку производят инструментом, на рабочем торце которого выполняют крестообразный паз с поперечным сечением в виде "ласточкина хвоста" для затекания материала вывода и обеспечения равномерного механического нагружения сварного соединения при отрыве. 1358247 (A1). С. Н. Нехонов, Ю. В. Бочанов. [35].

Способ пайки резцов с режущей частью из титановых сплавов включает нитроокислирование режущих пластин на воздухе при 1000—1100 °С в течение 2—3 ч, вакуумную пайку с одновременной закалкой корпусов в токе азота, доводку режущей части и заключительный отпуск с одновременным окислированием. Отличается тем, что для повышения износостойкости резцов с корпусами-державками из легированной стали с низкой критической скоростью закалки, улучшения чистоты обработки и снижения трудоемкости, охлаждение от температуры пайки проводят за 30—45 мин, а отпуск после доводки режущих граней осуществляют при 640—670 °С в течение 60—90 мин с охлаждением в подогретом масле. 1587796 (A1). А. Н. Тарасов, Н. А. Лазун, А. Г. Фетисов, В. С. Сидоренко. [35].

Способ неразъемного соединения деталей включает введение между установленными относительно друг друга соединяемыми поверхностями деталей частиц припоя и флюса, нагрев до температуры плавления частиц и выдержку в течение процесса охлаждения до отвердевания расплавленного материала. Отличается тем, что используют припой в виде наночастиц, при этом соединяемые поверхности предварительно обрабатывают до степени шероховатости не более 10^3 нм. 2266801 (C1). Ф. П. Демидов (RU), В. Б. Лапшин (RU), А. А. Палей (RU), М. Ю. Яблоков (RU). [35].

Устройство для контактной лазерной обработки содержит оптическую лазерную головку, щуп, датчик перемещения. Отличается тем, что датчик выполнен в виде источника цифровых сигналов, имеющего две подпружиненные относительно друг друга дискретные пластины, а щуп снабжен регулируемым по высоте штоком, посредством которого он связан с одной из пластин, причем одна пластина подпружинена установленными на штоке пружинами обратного действия, а другая пластина подпружинена установленным на головке ходовым винтом. 2266802 (C2). С. В. Усов (RU), Ю. А. Белобратов (RU), М. М. Кокоулин (RU). ОАО "Акционерная компания "Туламашзавод" (RU). [36].

Н. В. Посметная

УДК 621.791.92

Методика ускоренного определения концентрации диффузионного водорода в наплавленном металле. Кархин В. А., Левченко А. М., Хомич П. Н. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 3—7.

Предложена расчетная методика ускоренного определения концентрации диффузионного водорода в наплавляемом жидком и наплавленном твердом металле по отдельным замерам в начале десорбции водорода по вакуумному методу ГОСТ 23338—91. Приведены примеры расчета. Показано, что до начала измерений по стандартной методике из образца может выделиться четверть всего диффузионного водорода. Предложенная методика позволяет сократить время измерений в несколько раз. Ил. 6. Библиогр. 8.

УДК 621.791:669.539.376

Закономерности скольжения в структуре металла шва сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей. Дмитрик В. В., Ляпунов А. М. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 7—11.

Установлено, что характер скольжения в структуре сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей имеет определенные отличия, а появление грубых следов скольжения определяется уровнем их исходной структурной неоднородности. Наиболее интенсивно следы скольжения образуются в структуре металла участка неполной перекристаллизации, где новые продукты распада аустенита представляют глобуляризованный Ил. 6. Библиогр. 18.

УДК 621.791.75.03—52

Многофазный сварочный аппарат. Гайтов Б. Х., Ашин Я. М. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 11—15.

Рассмотрены конструкция, принцип работы и математическая модель аксиального многофазного трансформатора для сварочного аппарата. Практически полная симметрия электрических и магнитных цепей преобразователей переменного напряжения в постоянное, выполненных на основе аксиального многофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем, позволяет использовать их в качестве сварочного аппарата. Применение аксиальных многофазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем в качестве сварочных позволяет исключить присущие традиционным сварочным выпрямителям недостатки при относительно простой конструкции и высоких сварочных качествах. Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 621.791:621.57

Оптимизация режимов сварки трубных досок теплообменных аппаратов методами компьютерного моделирования. Царьков А. В., Раевский В. А. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 15—21.

С помощью метода конечных разностей получена модель теплопереноса при импульсно-дуговой сварке неплавящимся электродом в аргоне труб с трубными досками, на основе аналитического решения уравнения свободной поверхности сварочной ванны — модель формирования наплыва на внутреннюю поверхность трубы. Модель теплопереноса учитывает теплофизические коэффициенты и фазовые превращения. Определены рациональные режимы сварки для труб размером 12 × 1 мм из стали 12X18H10T. Приведены результаты экспериментов. Табл. 1. Ил. 7. Библиогр. 9.

УДК 621.791.052:539.4

Влияние легирующих элементов на склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин. Фурман Е. Л., Горин М. В. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 22—23.

Исследовано влияние легирующих элементов на склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин. Получено уравнение регрессии, из анализа которого выявлено

влияние отдельных легирующих элементов на технологическую прочность. Табл. 2. Библиогр. 10.

УДК 621.791.92

Совершенствование технологий наплавки крановых колес. Ананьев С. П., Коротков В. А., Головизнин Б. Л., Козлов В. В. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 23—27.

Разработана технология наплавки крановых колес, обеспечивающая повышение твердости наплавленного металла до уровня твердости металла сорбитизированного колеса и не требующая дополнительных мер по предупреждению образования трещин. Срок службы наплавленных колес при этом увеличивается в 2,8—3,4 раза. Проведены анализ применяемых материалов, лабораторные исследования и производственные испытания. Приведены результаты исследований. Табл. 3. Ил. 6. Библиогр. 6.

УДК 621.791:620.191.33

Устройство для дистанционной регистрации трещин в материалах и сварных швах. Зенин В. В., Бокарев Д. И., Козинцев О. Г. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 28—30.

Разработано устройство для регистрации трещин в материалах и сварных швах, позволяющее повысить точность дистанционного контроля трещин сложной формы в условиях длительной эксплуатации, на труднодоступных участках в сложных конструкциях в атомной энергетике, космической технике, нефтяной и химической промышленности. Ил. 2. Библиогр. 2.

УДК 621.791.92

Исследование наплавленного слоя опорных роликов машин непрерывного литья заготовок. Коротков В. А., Михайлов И. Д., Бабайлов Д. С. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 30—33.

На основании экспериментальных исследований и производственных испытаний, проведенных на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате, установлена возможность наплавки роликов МНЛЗ экономолегируемыми проволоками типа Св-12Х13, Св-12Х15Г2 отечественного производства. Стойкость таких роликов не уступает стойкости роликов, наплавленных дорожестоящими импортными проволоками типа ПП-04Х12Н4АМГС, ПП-14Х14Н2МБФ, при нормальных условиях эксплуатации. Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 2.

УДК 621.791.75.03—52:621.865.8

Роботизированное производство сварных ферм для мачтовых сооружений. Алпеева Т. В., Котельников А. А. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 33—36.

Разработана автоматическая сборочно-сварочная линия для автоматической сборки поясов с раскосами и стойками и прихватки ферм, роботизированной сварки рабочих швов, автоматической кантовки и транспортировки ферм между сборочными и сварочными позициями. Применение автоматической сборочно-сварочной линии позволяет повысить точность взаимозависимых параметров технологического процесса, значительно сократить число рабочих-сварщиков, улучшить условия труда и повысить качество продукции. Ил. 4. Библиогр. 2.

УДК 621.791:621.643.1/2

Современные методы термической обработки сварных соединений магистральных нефтегазопроводов. Корольков П. М. — Сварочное производство. 2007. № 1. С. 36—40.

Описаны методы термической обработки сварных соединений магистральных нефтегазопроводов диаметром до 1420 мм, проводимой в разных регионах нашей страны с различными климатическими условиями, в частности, в Сибири, на Сахалине и в Краснодарском крае. Приведены нормативы на проведение термической обработки, как отечественные, так и зарубежные, технические характеристики применяемого оборудования и описания установок. Ил. 2. Библиогр. 7.

Abstracts of the articles published in "SVAROCHNOE PROIZVODSTVO", 2007, N 1

Experimental effective technique of diffusible hydrogen concentration accelerated determination in built-up metal. Karkhin V. A., Levchenko A. M., Khomich P. N. P. 3—7.

An effective technique is suggested to determine diffusible hydrogen concentration both in molten building-up metal and in hard built-up metal by separate tests at the beginning of hydrogen desorption according to the vacuum method (GOST 23338—91). Calculation examples are given. It is shown that a quarter of the total diffusible hydrogen can evolve from the specimen before the test starts by the standard technique. The suggested technique allows for reducing test time by several folds.

Slide mechanism in the weld metal structure of the thermal-stable pearlitic steel joints in the conditions of creepage. Dmitriy V. V., Lyapunov A. M. P. 7—11.

It is established that slide pattern in the structure of thermal-stable pearlitic steel weld joints has definite distinctions, and slide rough marks occurrence is determined by the initial structure inhomogeneity level. Most intensely the marks are formed in the metal structure of the incomplete recrystallization section, where austenite new decomposition products present globular pearlit.

Polyphase welding apparatus. Gaytov B. Kh., Kashin Ya. M. P. 11—15.

Construction, principles of operation and mathematical model of an axial polyphase transformer for a welding apparatus are considered. In practice total balance of electric and magnetic circuits for the alternating-voltage-to-dc-voltage converters, made on the base of rotating magnetic field axial polyphase transformer allows for applying them as welding apparatus. This excludes limitations characteristic of standard welding rectifiers having relatively simple constructions and high welding quality.

Effective conditions specification for the heat-exchange apparatus tube plates welding by computer simulation. Tsarkov A. V., Rayevsky V. A. P. 15—21.

Applying finite difference method a heat-transfer model at the tube-plated tubes argon pulsed arc non-consumable electrode welding is obtained. On the base of analytical solution of the welding bath free surface equation a model of tube inner surface roll formation is developed. The heat-transfer model considers thermal-physical coefficients and phase changes. Effective welding modes are determined for the steel 12X18H10T tubes of 12×1 mm in size. Experiment results are given.

Study of the alloying element effect on the weld metal tendency to the hot-crack formation. Furman Ye. L., Gorin M. V. P. 22—23.

Alloying elements effect on the weld metal tendency to the hot-crack formation is studied. Specific alloying elements effect on

the process strength is shown up by analysing obtained regression equation.

Crane wheels deposition improvement. Ananyev S. P., Korotkov V. A., Goloviznin B. L., Kozlov V. V. P. 23—27.

Crane wheels deposition process is developed, ensuring hardness increase of the built-up metal up to the metal hardness of a sorbitized wheel and requiring no additional measures to prevent crack formation. And deposited wheels overhaul period is greater by 2.8—3.4 times. Usable materials are analysed, laboratory study and production tests are carried out. Investigation results are given.

Device for crack remote monitoring in materials and weld seams. Zenin V. V., Bokarev D. I., Kozintsev O. G. P. 28—30.

A device for crack monitoring in materials and welding seams is designed. It allows for improving remote control accuracy of complex-formed cracks in the conditions of long-term service, in hard-to-get-to sections of complex constructions in nuclear power, space engineering, petrochemical industries.

Rollers deposition study of blanks continuous casting machine. Korotkov V. A., Mikhaylov I. D., Babaylov D. S. P. 30—33.

Based on experimental study and production tests carried out at the Nizhny Tagil integrated iron-and-steel works a possibility of rollers deposition for blanks continuous casting machine by domestic economic-alloyed electrodes of Св-12Х13, Св-12Х15Г2 types is established. Stability of these rollers does not give in to the rollers deposited by expensive imported electrodes of ПП-04Х12Н4АМГС, ПП-14Х14Н2МБФ types at normal service conditions.

Welded girders robotic production for mast structures. Alpeyeva T. V., Kotelnikov A. A. P. 33—36.

An automated assembly-welding line for bracing and support chords and truss tacks automatic assembly, robotic welding of working seams, automatic canting and truss transportation between assembly and welding positions is designed. Application of the automated assembly-welding line assures accuracy increase of the process interdependent characteristics, significantly reduce the welders' number; improve labour conditions and products quality.

Advanced techniques of main pipeline welded joints heat treatment. Korolkov P. M. P. 36—40.

Welded joints heat treatment techniques for main pipelines up to 1420 mm in diameter are described. These techniques are applicable in various regions of the RF with different environmental conditions, in particular in Siberia, on Sakhalin and in Krasnodar Krai. Both domestic and foreign specifications for conducting heat treatment, technical data for the equipment and unit descriptions are given.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромынский пер., 4

Сдано в набор 14.11.2006. Подписано в печать 19.12.2006. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 10,40. Заказ 01/07.

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".