



Сварочное производство

6 (883)
Июнь

2008

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства промышленности и торговли РФ,
Министерства образования и науки РФ,
Российской инженерной академии,
Российского научно-технического сварочного общества,
Союза машиностроителей России

Редакционная коллегия:

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

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

Редакция:

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

Электронная верстка: *Т. А. Шацкая*
Дизайн обложки: *Е. С. Благовидов*
Редактор-переводчик *Е. О. Егоров*
Редактор-обозреватель *Ан. А. Суслов*
Корректор *Е. В. Комиссарова*

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 78,

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

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

редакция — (495) 682 3856;

796 2491.

Факс: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

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

Журнал "Сварочное производство" переводится
на английский язык издательством
"Taylor & Francis" (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.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Аммосов А. П., Аммосов Г. С. — Вязкость разрушения в оценке распространения хрупкой трещины в стальных конструкциях при пониженной температуре	3
Родин М. Е., Семенов А. Н., Плышевский М. И., Ривкин Е. Ю., Суглобова Л. В., Тюрин В. Н. — Исследование механических свойств сварных соединений коррозионно-стойкой стали со сплавами титана	9
Выбойщик Л. М., Лучкин Р. С., Платонов С. Ю. — Структурный фактор коррозионно-механической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб	12
Макиенко В. М., Романов И. О., Баранов Е. М., Строителев Д. В. — Повышение хладостойкости аустенитной стали при восстановлении изношенных поверхностей электродуговой наплавкой порошковыми проволоками	17
Немова Т. Н., Степанов А. П. — Вихревой механизм возбуждения электрической сварочной дуги	20
Фролов В. П., Плаунов В. П. — Роль научных школ в решении научно-технических проблем	24

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Потапов Н. Н., Волобуев Ю. С., Феклистов С. И. — Особенности практики использования ГОСТ Р 52222 — 2004 "Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки"	27
Гриненко В. И., Рошин В. В., Хаванов В. А., Полосков С. И. — Автоматизация сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций	28
Ланкин Ю. Н., Москаленко А. А., Тюкалов В. Г., Ковтуненко В. А., Куран Р. И., Кузьменко Д. Ю. — Опыт применения электрошлаковой сварки при монтаже металлургического оборудования	32
Верещаго Е. Н., Квасницкий В. Ф., Костюченко В. И. — Квазирезонансный источник питания PLASMA 110i HF для плазменной резки	37
Журавлев В. В. — Особенности пайки алмазных резцов	41
Панфилов В. А., Мурашко В. М., Тарасов А. Н. — Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана	42

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Ежов Г. П. — Современный производственный менеджмент и перспективы его развития	44
----------------------------------------------------------------------------------------	----

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Малич Н. В. — Основные формы развития сотрудничества Московского энергетического института (ТУ) и предприятий в условиях рыночной экономики	48
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Уситало Ю., Мосягин А. С., Линовский С. А. — Новая технология сварки модифицированной короткой дугой	49
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ИНФОРМАЦИЯ

Суслов Ан. А. — 8-й Международный салон инноваций и инвестиций	53
Топольянский П. А. — 10-я Международная научно-практическая конференция "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки"	61

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке	62
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 Scientific-Technical Welding Society,
Russian Union of Developers and Manufacturers of Welding Production,
The Union of Machine Engineers of Russia

Editorial board:

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

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

Editorial staff:

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

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

Address of the editorial office:

Prospekt Mira, 106, Moscow.

For correspondence:

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

Phones: (495) 687 6316 — Editor-in-Chief;
682 3856 — Editorial office;
796 2491.

Fax: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

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

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

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

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

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

Registration certificate ПИИ 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

- Ammosov A. P., Ammosov G. S.** — Fracture toughness estimated by brittle crack propagation in steel structures at lower temperature _____ 3
- Rodin M. Ye., Semionov A. N., Plyshevsky M. I., Rivkin Ye. Yu., Souglobova L. V., Tyurin V. N.** — Mechanical properties investigation of the welded connections between rust-resisting steel and titanium alloys _____ 9
- Vyboyschik L. M., Louchkin R. S., Platonov S. Yu.** — Structure factor of the stress corrosion welded strength of the oil-field pipes _____ 12
- Makiyenko V. M., Romanov I. O., Baranov Ye. M., Stroitelev D. V.** — Austenitic steel higher cold resistance growth at wear refacing by flux cored wire electroarc overlaying _____ 17
- Nemova T. N., Stepanov A. P.** — Vortex excitation mechanism of the electric welding arc _____ 20
- Frolov V. P., Plaunov V. P.** — On the role of scientific schools integration in the solution of major scientific and technical problems of permanent joint obtaining _____ 24

PRODUCTION SECTION

- Potapov N. N., Volobuyev Yu. S., Feklistov S. I.** — Application features of GOST R 52222-2004 "Welding fused fluxes for machine welding" _____ 27
- Grinenko V. I., Roschin V. V., Khavanov V. A., Poloskov S. I.** — On welding automation of the erection pipeline joints of nuclear power plants _____ 28
- Lankin Yu. N., Moskalenko A. A., Tyukalov V. G., Kovtunenkov V. A., Kuran R. I., Kouzmenko D. Yu.** — Up-to-date experience of the erection slag welding application in the metallurgical industry in Ukraine _____ 32
- Vereschago Ye. N., Kvasnitsky V. F., Kostyuchenko V. I.** — The PLASMA 110i HF quasi resonance power supply for plasma-arc cutting _____ 37
- Zhuravliov V. V.** — Diamond-point cutter soldering features _____ 41
- Panfilov V. A., Murashko V. M., Tarasov A. N.** — Titanium alloys in the arrangement of the Russian tricolour for the Arctic Ocean _____ 42

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Yezhov G. P.** — Up-to-date industrial management and prospect of its development _____ 44

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Malich N. V.** — Cooperation development basic forms of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University) and enterprises under conditions of market economy _____ 48

FOREIGN EXPERIENCE

- Uusitalo Yu., Mosyaguin A. S., Linovsky S. A.** — Innovation of the modified short-arc welding practices _____ 49

INFORMATION

- Suslov An. A.** — The 8th International salon of innovations and investments _____ 53

BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding _____ 62
- Abstracts** of the published articles _____ 64

УДК 621.791.052:539.56

**А. П. АММОСОВ, д-р техн. наук, Г. С. АММОСОВ, инж.
ИФТПС СО РАН (Якутск)**

Вязкость разрушения в оценке распространения хрупкой трещины в стальных конструкциях при пониженной температуре

Основными критериями оценки хладостойкости сталей и их сварных соединений при динамическом нагружении являются удельная энергия разрушения a_c^D образца с трещиной (РД 50-344—82, ГОСТ 9454—78) и коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) K_{1c}^D , K_c^D , а при U- и V-образных концентраторах — KCU , KCV , KCU_3 , KCV_3 и KCU_p , KCV_p . Снижение температуры испытания образца при одних и тех же значениях энергии ударного нагружения приводит к уменьшению сопротивляемости материалов распространению хрупкой трещины и, следовательно, увеличению скорости ее распространения. Коэффициенты интенсивности напряжений K_{1c}^D и K_c^D являются критериями вязкости разрушения, определяющими трещиностойкость материала в момент страгивания трещины при динамическом (ударном) нагружении образца и не могут быть использованы при анализе предельных значений КИН K_{1d} при распространяющейся хрупкой трещине. Эти характеристики определяются по диаграммам ударного нагружения "усилие—время" или "усилие—прогиб" [1—3].

В данной работе рассмотрена возможность оценки распространения хрупкой трещины в материалах при ударных стандартных испытаниях с определением ударной вязкости KCV и ее составляющих KCV_3 и KCV_p , а также динамического КИН K_{1d} с записью диаграмм ударного нагружения "усилие—время".

С этой целью были обобщены данные испытания стандартных образцов, изготовленных из низколегированных сталей 09Г2С, 10Г2С1, 20, типа Т1, 14Г2САФ и их сварных соединений, с одновременным осциллографированием процесса разрушения образцов в координатах "усилие—время" [4, 5].

Направление V-образного надреза в образцах, изготовленных из сварных проб, совпадало с направлением оси шва и ЗТВ.

Ударные испытания стандартных образцов типа 11 и 12 по ГОСТ 9454 — 78 проводили при температуре 20—–60 °С. На рис. 1 приведены осциллограммы разрушения образцов в зависимости от температуры испытания. На ниспадающей ветви появляются "срывы" нагрузки P . Высота этого "срыва" ΔP увеличивается при снижении температуры испытания. Значение ΔP изменяется от 0 до величины разрушающей нагрузки. Природа "срыва" нагрузки P связана со стартом, распространением и остановкой хрупкой трещины [2]. Моментам старта

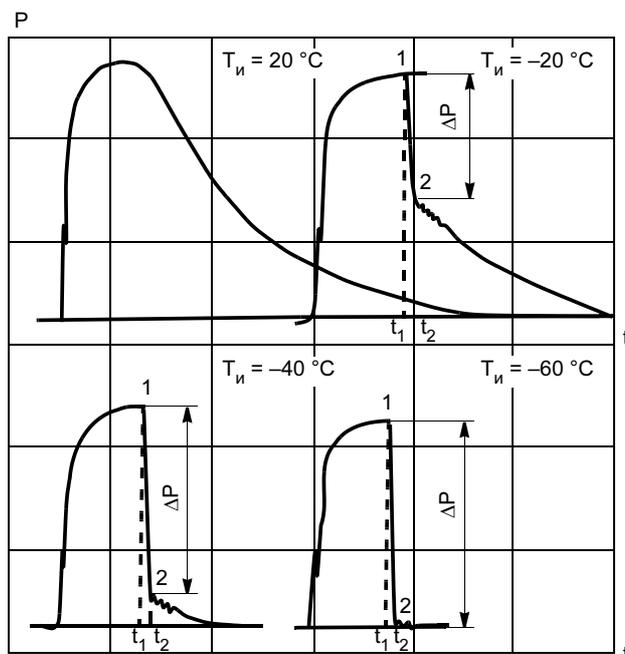


Рис. 1. Типичные "P—t" диаграммы разрушения сварных образцов

трещины соответствует точка 1, ее остановке — точка 2, а времени распространения хрупкой трещины — линия 1—2.

В работах [1, 2] для оценки перехода материала в хрупкое состояние используют вязкую составляющую B поверхности разрушения образцов при ударных испытаниях. При этом критической температурой перехода материала в хрупкое состояние КТХ является температура, соответствующая температуре, при которой площадь отрывного (хрупкого) разрушения S_{xp} занимает 50 % общей площади S_0 нетто сечения образца с острым концентратором напряжений $V(T_{50})$:

$$B = \left(1 - \frac{S_{xp}}{S_0}\right) 100 \% \quad (1)$$

Для большинства низколегированных сталей средней прочности значение $B = 50 \%$ соответствует примерно $KCV = 250 \text{ кДж/м}^2$.

С другой стороны, анализ изменения величины ΔP показывает, что ее увеличение связано со снижением сопротивляемости материала хрупкому разрушению. При приближении ΔP к максимальному значению P_m KCV ма-

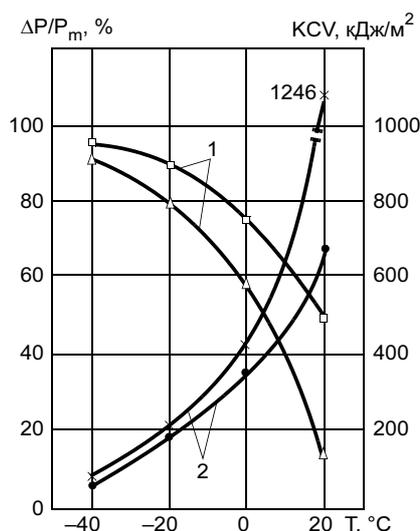


Рис. 2. Зависимость относительных значений "срыва" нагрузки $\Delta P/P_m$ (1) и удельной энергии разрушения KCV (2) от температуры испытания образцов из низколегированных сталей

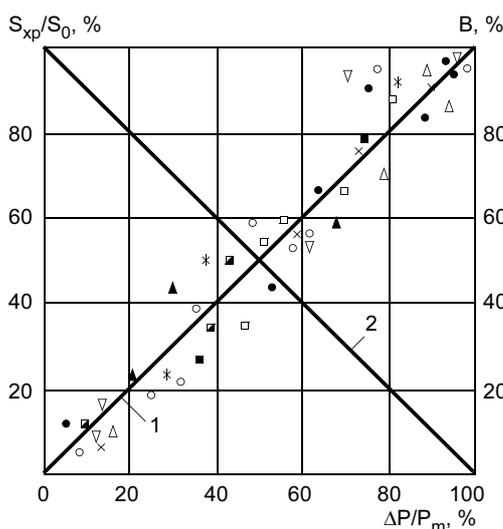


Рис. 3. Связь между относительными значениями "срыва" нагрузки $\Delta P/P_m$ (1) и площадью хрупкой трещины S_{xp}/S_0 (2) (●, Δ — тип образца 12; ×, □, ▣, ▽, ⊙, ○, ▲, * — тип образца 11; Δ, × — сталь 20НГМФ; ● — сталь 20; ▽, ▣ — стали 09Г2С, 14Г2САФ; □, ○, *, ▣, ⊙, ▲ — образцы сварных соединений из сталей 09Г2С, 10Г2С1, типа Т1, 14Г2САФ соответственно)

териала минимальна и разрушение образцов происходит значительно ниже КТХ, соответствующей 250 кДж/м^2 (рис. 2). Такие же результаты получены как для основного металла, так и металла сварных соединений исследованных сталей.

Изменение площади хрупкой трещины S_{xp} связано в свою очередь с величиной ΔP на ниспадающей ветви диаграммы.

Функциональная связь данных величин представляет линейную зависимость между относительными значениями "срыва" нагрузки ($\Delta P/P_m$) и площадью хрупкой трещины (S_{xp}/S_0) во всех рассмотренных случаях (рис. 3), которая выражается в виде

$$S_{xp}/S_0 = A + C(\Delta P/P_m), \quad (2)$$

где S_0 — начальное сечение образца; P_m — максимальная разрушающая нагрузка; A, C — постоянные коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов (значения которых приблизительно равны 0 и 1 соответственно) при оценке соответствия заданной линейной зависимости на ЭВМ "ЕС-1022" по критерию Фишера [5].

Вязкая составляющая поверхности разрушения образцов (по выражению (1)) приведена на рис. 3 (кривая 2).

По диаграмме "P—t" по методикам работ [1, 2, 5] определяет-

ся работа зарождения A_3 и распространения A_p трещины, а также работа, затраченная только на развитие хрупкой трещины, A_{xp} и динамический коэффициент интенсивности напряжений K_{1d} в качестве критерия вязкости разрушения при распространении хрупкой трещины.

В работе [2] приведен метод определения критического КИН K_{1d} в зависимости от скорости развития трещины и температуры испытания. Данный метод основан на определении работы, затраченной на распространение хрупкой трещины, из осциллограммы процесса разрушения в координатах "усилие—время" (см. рис. 1) и применим для ударного нагружения любого типа.

Быстрое уменьшение разрушающей нагрузки на участке 1—2 (см. рис. 1) вызвано движением хрупкой трещины, а площадь фигуры t_1 —1—2— t_2 характеризует работу A_{xp} , затраченную на развитие трещины и определяемую по формуле [2]

$$A_{xp} = \left[v_0 - \frac{L}{l_{np}} \frac{g}{F} \left(\int_0^{t_1} P \delta t - \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} P \delta t \right) \right] \times \int_{t_1}^{t_2} P \delta t, \quad (3)$$

где v_0 — скорость боя маятника в момент удара; L — расстоя-

ние от оси маятника до точки соударения; $l_{пр}$ — приведенная длина маятника; g — ускорение силы тяжести; F — сила, необходимая для равновесия маятника в горизонтальном положении и приложенная к бойку маятника на расстоянии L от его оси; t_1, t_2 — начало и прекращение движения хрупкой трещины соответственно.

Для вычисления $A_{хр}$ интегральные выражения заменяются соответствующими площадями Ω, Ω_3 и $\Omega_{хр}$ [2] из осциллограммы разрушения (см. рис. 1) с учетом мгновенной скорости v_0 движения бойка в момент соударения с образцом и массы молота m , т. е. запасенной энергии маятника в начале A_0 и конце A_k удара:

$$A_{хр} = \left[2\sqrt{A_0} - (\sqrt{A_0} - \sqrt{A_k}) \times \left(\frac{2\Omega_3 + \Omega_{хр}}{\Omega} \right) \right] \frac{\Omega_{хр}}{\Omega} \times (\sqrt{A_0} - \sqrt{A_k}). \quad (4)$$

Значения $K_{1д}$ определяют из соотношения

$$K_{1д}^2 = EG_{1д}/(1 - \mu^2), \quad (5)$$

где $G_{1д}$ — интенсивность освобождения энергии при распространении хрупкой трещины, равная предельной работе, необходимой для образования хрупкой трещины единичной площади, т. е. $G_{1д} = A_{хр}/F_{хр}$.

Площадь хрупкой трещины $F_{хр}$, имеющей четкие границы для низколегированных сталей и их сварных соединений, и ее длину $l_{хр}$ измеряли после разрушения образца. По времени распространения хрупкой трещины, равному $t_2 - t_1$, и длине $l_{хр}$ можно определить среднюю скорость развития хрупкой трещины [2].

Для определения $K_{1д}$ при динамическом распространении хрупкой трещины необходимо выделение из общей энергии разрушения тех ее компонентов, которые связаны с процессом продвижения трещины. Поэтому об-

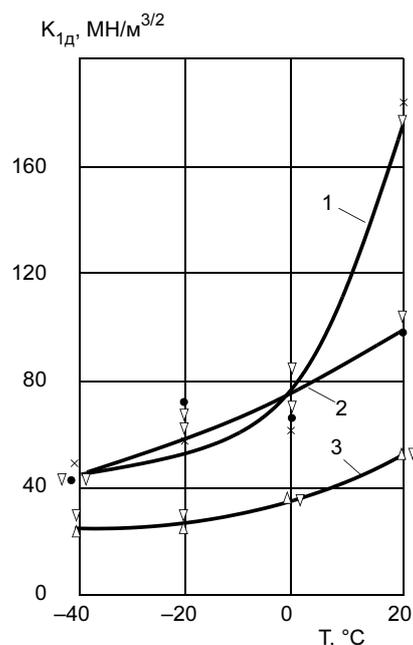


Рис. 4. Зависимость $K_{1д}$ при динамическом распространении хрупкой трещины от температуры: 1, 2 (×, ●) — сталь 20НГМФ при расположении концентратора поперек и вдоль оси обечайки; 3 (Δ) — сталь 20 (∇ — данные получены по предлагаемой методике)

щую работу разрушения делят на энергию упругой деформации, энергию пластической деформации и собственно работу разрушения.

В этом контексте интенсивность освобождения энергии при распространении хрупкой трещины $G_{1д}$ и КИН $K_{1д}$ являются характеристиками материала при динамическом распространении

хрупкой трещины, аналогично КИН при остановке трещины $K_{1д}^0$.

Рассмотрим два варианта. Значения $K_{1д}$ найдены из соотношений (3)—(5) по методикам работ [1, 2] в первом варианте.

Второй вариант реализуется следующим образом: по координатам диаграммы " $P-t$ " производят [5] приближения $P(t)$ на отрезке $0-t$ к функции параболического, а на отрезке t_1-t_2 — линейного интерполирования по методике работы [6]. Затем вычисляют значения интегралов в выражении (3) и $A_{хр}$. Кроме того, для уточнения площадь хрупкого разрушения определяют из соотношения (2), следовательно, исключается определение площади хрупкого разрушения фрактографическим анализом поверхности разрушения образцов.

Результаты расчетов хорошо совпадают с данными, полученными по методике работы [2] (рис. 4). Такое же сравнение результатов расчета $K_{1д}$ выполнено и на стандартных образцах, изготовленных из сварных соединений с V-образным надрезом по шву и ЗТВ. Получено хорошее соответствие результатов расчета $K_{1д}$ с применением этих двух методов.

Таким образом, разработанный метод позволяет непосредственно использовать вычислительную технику для определе-

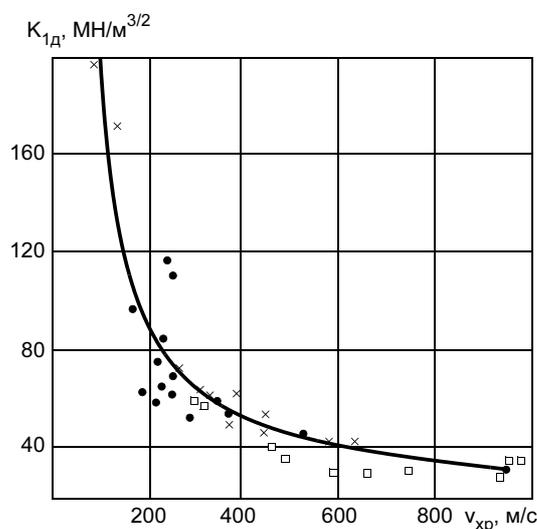


Рис. 5. Зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений $K_{1д}$ от скорости движения хрупкой трещины для обечайки из стали 20НГМФ при расположении концентратора вдоль (●) и поперек (×) оси обечайки и двустойки из стали 20 (■)

ния $K_{1д}$ без измерения площади хрупкого разрушения в стандартных образцах, изготовленных из низколегированных сталей и их сварных соединений.

В рамках модели, предложенной в работах [1, 2], авторами установлена связь $K_{1д}$ с $\bar{v}_{хр}$ (рис. 5) [7]. Для определения $A_{хр}$ и площади осциллограммы $\Omega_{хр}$, соответствующей распространению хрупкой трещины, использовали ме-

тодику работы [5]. Полученная на рис. 5 зависимость описывается функцией $K_{1д} = A' \bar{v}_{хр}^{-B'}$ (A', B' — постоянные величины) [8]. Следовательно, с увеличением скорости распространения хрупкой трещины динамический КИН уменьшается.

В этом случае необходимо уточнение текущих значений $K_{1д}^T = f''(l_{хр})$ и $v_{хр}^T = f''(l_{хр})$.

Интенсивность освобождения энергии $G_{1д}$ в формуле (4),

равная предельной работе, необходимой для образования хрупкой трещины единичной площади, получена из предположения, что $A_{хр}$ на всей поверхности разрушения $F_{хр}$ распределена практически равномерно, т. е. энергоемкость отдельных участков поверхности хрупкого разрушения одинакова. В результате такого допущения динамический КИН и скорость распространения хрупкой трещины являются усредненными величинами, т. е. остаются постоянными с момента начала до момента прекращения развития (остановки) хрупкой трещины в образце, тогда как поверхность хрупкого разрушения стандартных образцов состоит из нескольких участков: страгивания (зарождения трещины) и остановки (вязкой периферийной области долома), ускоренного $l_{хр1}$, стабильного $l_{хр2}$ и замедленного $l_{хр3}$ распространения хрупкой трещины (рис. 6, 7) [9].

Статистический анализ фракталов поверхности хрупкого разрушения показывает, что размеры (длина и площадь) фасеток скола изменяются по направлению распространения трещины и зависят от степени хрупкости материала, т. е. скорости распространения хрупкой трещины. В начальной стадии распространения трещины размеры фасеток скола увеличиваются, затем стабилизируются, а на завершающем этапе постепенно начинают уменьшаться. Это позволяет рассматривать различные участки поверхности хрупкого разрушения образца (см. таблицу).

Аналогичная взаимосвязь вида излома с соответствующими нагрузками — началом общей текучести P_{gy} , максимальной нагрузкой P_m , нагрузкой неустойчивого хрупкого разрушения P_{iw} , нагрузкой остановки трещины в результате перехода от хрупкого разрушения к вязкому P_a и с энергией, необходимой для его разрушения — установлена в работе [3].

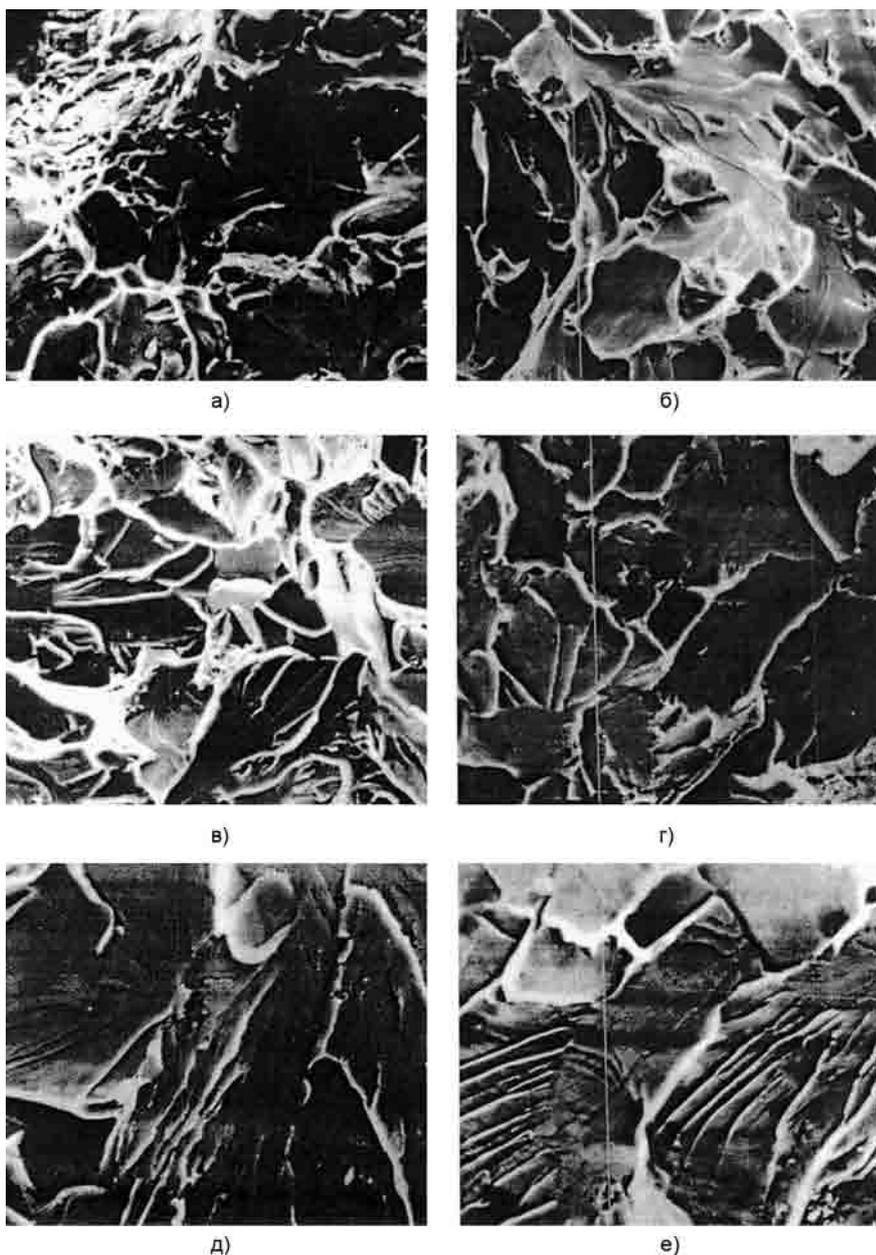


Рис. 6. Изменение характера разрушения по направлению развития трещины: а—в — $T_{и} = -20$ °С; г—е — -40 °С; а, г — на расстоянии 0,45 и 0,18 мм от вершины концентратора; б, д — то же, 2,5 и 3,63 мм; в, е — то же, 6,5 и 7,68 мм

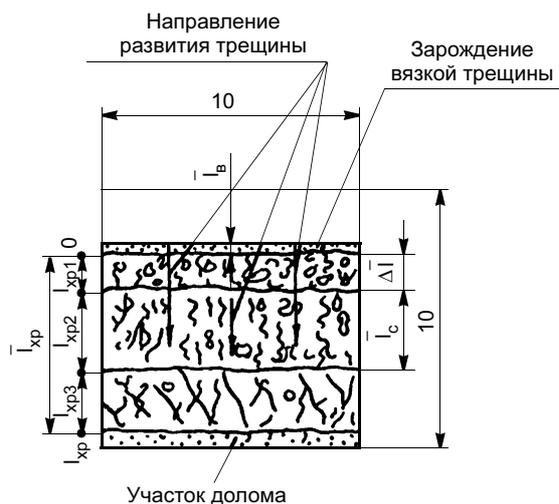


Рис. 7. Схема развития трещины в образцах

Следовательно, энергия ударного разрушения расходуется на зарождение, развитие, стабильное хрупкое разрушение и замедление распространения, вязкую область остановки трещины и долома образца.

По результатам фрактографического анализа хрупкого излома участков перегрева сварных соединений сталей 15 марок на стандартных образцах в работе [10] установлено, что критическая температура хрупкости металла участка перегрева в исследованных сталях больше характеризуется величиной фасеток скола в изломе, чем размером аустенитного зерна.

Также известно [11], что увеличение размеров фасеток скола связано со снижением сопротивляемости материала хрупкому разрушению, а скорость распространения хрупкой трещины прямо пропорциональна росту этих размеров.

Следовательно, для определения текущих значений $K_{1д}^T$ и $v_{хр}^T$ при распространяющейся хрупкой трещине в данном испытании исходными характеристиками могут быть $\bar{K}_{1д} = const$, $\bar{v}_{хр} = const$, а также статистическое распределение фрактографических показателей поверхности участка хрупкого разрушения. Правоммерно считать, что текущее значение скорости распространения хрупкой трещины до $l_{хр1}$ растет, от $l_{хр1}$ до $l_{хр2}$ сохраняется постоянной и от $l_{хр2}$ до $l_{хр}$ убывает (см. рис. 7) и может быть представлено в виде

$$v_{хр}^T = v^T(l_{хр}),$$

т. е. характер изменения данной функции соответствует характеру изменения показателей разрушения по направлению распространения трещины.

С учетом постоянства энергии, затраченной на хрупкое разрушение, а также равенства площадей, ограниченных функциями $\bar{v}_{хр} = v(l_{хр})$ и $\bar{v}_{хр}^T = v^T(l_{хр})$, можно записать

$$\int_0^{l_{хр}} v(l_{хр}) dl_{хр} = \int_0^{l_{хр1}} v(l_{хр}) dl_{хр} + \int_{l_{хр1}}^{l_{хр2}} v(l_{хр}) dl_{хр} + \int_{l_{хр2}}^{l_{хр}} v(l_{хр}) dl_{хр}. \quad (6)$$

При определении $\bar{v}_{хр}$ левая часть уравнения (6) будет иметь вид

$$\int_0^{l_{хр}} v(l_{хр}) dl_{хр} = \bar{v}_{хр} l_{хр}. \quad (7)$$

В области стабильного распространения трещины

$$\int_{l_{хр1}}^{l_{хр2}} v(l_{хр}) dl_{хр} = v_{хр}^{max} l_{хр}^{ст}. \quad (8)$$

Максимальная скорость распространения хрупкой трещины определяется из соотношений (6)—(8) по формуле

$$v_{хр}^{max} = \frac{1}{l_{хр}^{ст}} \left[\bar{v}_{хр} l_{хр} - \int_0^{l_{хр1}} v(l_{хр}) dl_{хр} - \int_{l_{хр2}}^{l_{хр}} v(l_{хр}) dl_{хр} \right]. \quad (9)$$

Значения интегралов в выражении (9) определяют по характеру изменения фрактографических показателей поверхности разрушения, в частности, по изменению статистического распределения площади или длины фасеток скола по направлению распространения хрупкой трещины на участках увеличения и снижения ее скорости.

Аналогично определяется $K_{1д}^{min}$ по формуле

$$K_{1д}^{min} = \frac{1}{l_{хр}^{ст}} \left[K_{1д} l_{хр} - \int_0^{l_{хр1}} K_{1д}(l_{хр}) dl_{хр} - \int_{l_{хр2}}^{l_{хр}} K_{1д}(l_{хр}) dl_{хр} \right]. \quad (10)$$

Участок поверхности разрушения	Значение показателя при температуре испытания, °С		
	0	-20	-40
Зона вытягивания $\bar{l}_в$, мкм	13	10	5
Средняя длина хрупкой зоны разрушения $l_{хр}$, мм	5,33	6,64	7,45
Среднее расстояние от вершины надреза до участка стабильного распространения трещины Δl , мм	2,70	2,50	2,25
Средняя длина участка стабильного распространения хрупкой трещины l_c , мм	1,5	2,0	2,5

Результаты определения v_{xp}^{max} и K_{1d}^{min} показывают, что при ударном испытании стандартных образцов с V-образным надрезом, изготовленных из низколегированной стали состава (%): 0,19 С; 0,35 Si; 1,0 Mn; 0,3 Cr; 1,0 Ni; 0,22 Mo; 0,11 V ($\sigma_s = 471$ МПа, $\sigma_b = 647$ МПа, $KCV_{20} = 720$ кДж/м² при -40 °С) $v_{xp}^{max} = 660,78$ м/с, $K_{1d} = 35,2$ МН/м^{3/2}, тогда как $\bar{v}_{xp} = 546,1$ м/с и $\bar{K}_{1d} = 44,6$ МН/м^{3/2}.

Таким образом, на основе комплексного анализа можно определять предельные значения v_{xp}^{max} и K_{1d}^{min} по "P-t" или "P-f" диаграммам испытания и изменению характера распределения фрактографических показателей поверхности хрупкого разрушения стандартных образцов.

Для решения практических задач можно использовать зависимость, полученную эксперимен-

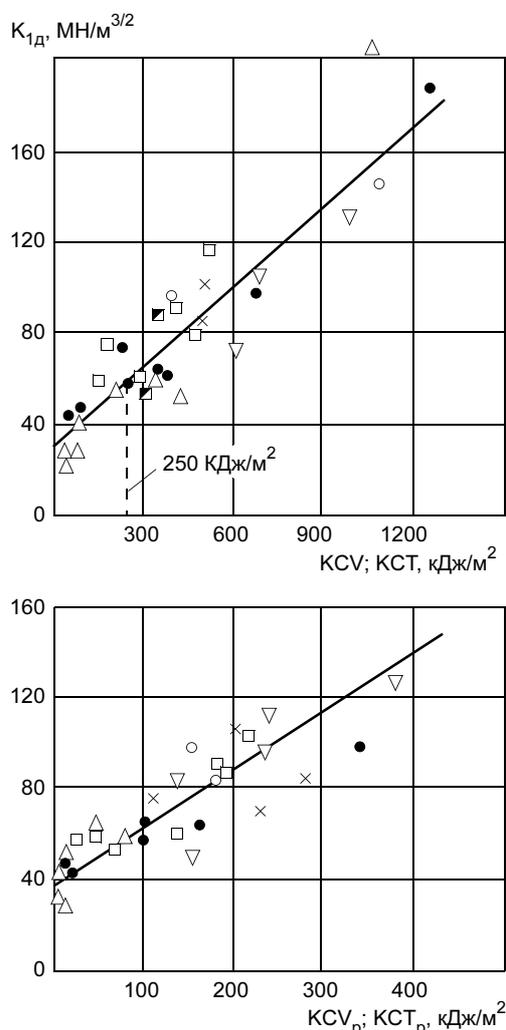


Рис. 8. Связь характеристик вязкости разрушения K_{1d} и KCV , KCT , KCV_p , KCT_p (Δ — тип образцов 12; \times , \bullet , ∇ , \circ , \square , \blacksquare — тип образцов 11; \times , ∇ , \square — линия сплавления и сварной шов сталей 10Г2С1, 09Г2С; \square , \blacksquare — ЗТВ и сварной шов стали 14Г2САФ; Δ , \bullet — стали 20 и 20НГМФ; \circ — сварные соединения стали типа Т1)

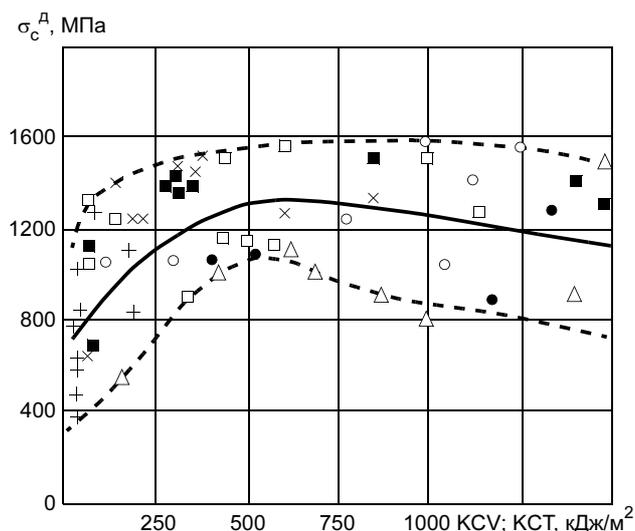


Рис. 9. Зависимость σ_c^d от KCV и KCT сварных соединений низколегированных сталей (обозначения — см. рис. 8)

тально (рис. 8). Хладостойкость сварных соединений низколегированных сталей массового назначения обеспечивается при \bar{K}_{1d} , KCV и KCV_p выше 60 МН/м^{3/2}, 250 и 100 кДж/м² соответственно и может быть достигнута оптимизацией технологии сварки в условиях низких климатических температур.

Номинальное динамическое разрушающее напряжение σ_c^d по ослабленному сечению образца по ГОСТ 9454—78 определяли расчетным путем при ударном изгибе. Полученные данные показывают (рис. 9), что номинальное разрушающее напряжение σ_{co} по ослабленному сечению образца постепенно уменьшается при снижении температуры испытания. Кроме того, значительное влияние на снижение σ_c^d оказывает тип образца. При типе образца 12 σ_c^d значительно ниже, чем σ_c^d при типе образца 11. С другой стороны, характер резкого снижения σ_c^d в зависимости от значения ударной вязкости показывает, что оно наблюдается при более низких значениях KCV , чем при соответствующих значениях KCT . В целом, такой характер изменения σ_c^d связан с изменением механизма разрушения.

Таким образом, для образцов по ГОСТ 9454—78 характерное снижение σ_c^d наблюдается при значениях KCV и KCT ниже 500—250 кДж/м² и значительно зависит от температуры испытания.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный инженерный метод позволяет определять динамический коэффициент интенсивности напряжений (КИН) по диаграмме нагружения без измерения площади хрупкого разрушения в образцах, которую не всегда можно точно опреде-

лить по поверхности разрушения. Изменение показателей вязкости разрушения для основного металла и металла сварных соединений низколегированных сталей зависит от температуры испытания и скорости распространения хрупкой трещины в стандартных образцах.

2. На основании фрактограмм поверхности разрушения при распространении хрупкой трещины предложены соотношения для определения предельных характеристик распространяющейся хрупкой трещины.

3. Показано, что хладостойкость низколегированных сталей и их сварных соединений обеспечивается при значениях коэффициентов \bar{K}_{1d} , K_{CV} , K_{CV_p} выше $60 \text{ МН/м}^{3/2}$, 250 кДж/м^2 и 100 кДж/м^2 соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баско Е. М., Махутов Н. А. Исследование трещиностойкости строительных сталей при динамическом инициировании и распространении хрупких трещин // Заводская лаборатория. 1981. № 4. С. 66—70.
2. Буланенко В. Ф., Пирусский М. В. Температурно-скоростная зависимость сопротивления распространению динамической хрупкой трещины // Заводская лаборатория. 1977. № 1. С. 91—95.
3. Chaouadi R., Fabry A. On the utilization of the instrumented Charpy impact test for characterization the flow and fracture behavior of reactor vessel steels // In Proc. Charpy centenary conference. France, Poitiers, 2001. Vol. 2. P. 577—592.
4. Аммосов А. П., Жирков А. М., Киприянова Д. Д. Установка для регистрации параметра процесса разрушения при ударных испытаниях // БНТИ. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983. С. 26—28.
5. Аммосов А. П., Жирков А. М., Аммосов С. П. Упрощенный метод определения динамической вязкости разрушения K_{1c} низколегированных сталей и их сварных соединений // Заводская лаборатория. 1987. Т. 53. № 9. С. 71—72.
6. Демидович Б. П., Марон М. А. Основы вычислительной математики. М.: Наука, 1966. 544 с.
7. Аммосов А. П., Ларионов В. П., Аммосов С. П. Определение характеристик динамической вязкости разрушения сварных соединений // Док. СЭВ 06.С-12-ИФТПС-14-88. Якутск: ИФТПС, 1988. 20 с.
8. Аммосов А. П. Определение предельных значений динамической вязкости разрушения при ударном нагружении // Заводская лаборатория. 1991. Т. 57. № 12. С. 51—53.
9. Ларионов В. П., Аммосов А. П., Аргунова А. А. Связь фрактограмм разрушения со скоростью распространения трещины // Информационные материалы. Киев: Наукова думка, 1988. Вып. 1 (33). С. 18—22.
10. Егорова С. В., Карета Н. Л., Винокур Б. Б. Влияние основных следствий перегрева металла при электрошлаковой сварке на его хладостойкость // Автоматическая сварка. 1980. № 5. С. 17—22.
11. Горицкий В. М., Хромов Д. П. Влияние температуры испытания на фрактографические характеристики хрупкого разрушения низкоуглеродистых и низколегированных сталей // Физика металлов и металловедение. 1984. Т. 58. Вып. 1. С. 154—163.

УДК 621.791.052:620.18

М. Е. РОДИН, инж., А. Н. СЕМЕНОВ, инж., М. И. ПЛЫШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, Е. Ю. РИВКИН, канд. техн. наук, Л. В. СУГЛОБОВА, инж., В. Н. ТЮРИН, инж. ФГУП "НИКИЭТ"

Исследование механических свойств сварных соединений коррозионно-стойкой стали со сплавами титана

В ответственных конструкциях ядерной энергетики соединения титановых сплавов с коррозионно-стойкой сталью, например, переходники трубопроводов, выполняют диффузионной сваркой в вакууме. В данной работе исследованы кратковременные прочностные свойства таких соединений. Испытания проводили на испытательной машине 1958У-10-1 при скорости перемещения активного захвата 1 мм/мин. При испытаниях осуществлялась запись диаграммы "нагрузка P — перемещение активного захвата".

Испытания и обработку результатов испытаний проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 1497 при температуре 20 °С и ГОСТ 9651 при температуре 500 °С.

Определение механических свойств при растяжении переходника сталь — титан проводили на образцах (рис. 1) из стали 08Х18Н10Т и титанового сплава ПТ-5В, вырезанных из сварного переходника. Схема вырезки образцов приведена на рис. 2.

При испытаниях образцов, вырезанных из основного металла, определяли предел прочности, общее относительное удлинение, общее относительное сужение.

Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Из полученных результатов следует, что термический цикл диффузионной сварки практически не влияет на механические характеристики стали 08Х18Н10Т, значения которых соответствуют приведенным в "Нормах расчета на прочность

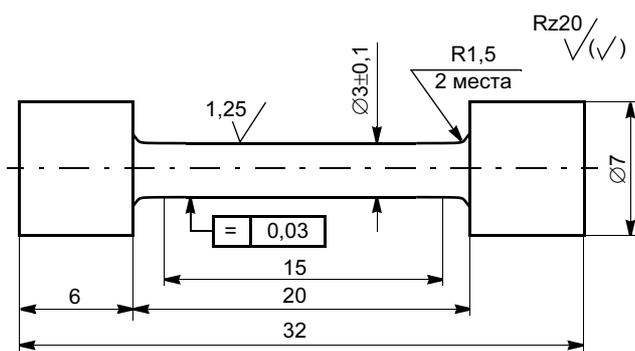


Рис. 1. Образец для определения кратковременных механических характеристик при растяжении

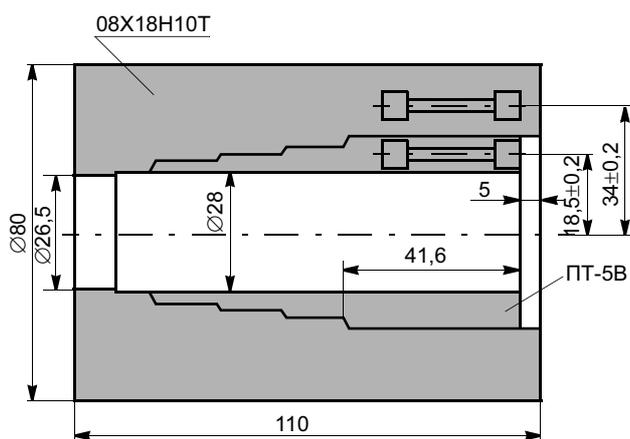


Рис. 2. Схема вырезки образцов из заготовки переходника

сварных соединений из коррозионно-стойкой стали" (ПНАЭГ-7-002—86).

Прочностные характеристики сплава ПТ-5В при 20 °С снизились приблизительно на 5 % по сравнению с металлом в исходном состоянии. При 500 °С механические характеристики сплава ПТ-5В более

чем на 20 % превышают характеристики металла в исходном состоянии.

Определяли конструкционную прочность диффузионного сварного соединения переходников сталь — титан при растяжении (рис. 3, а). Схема вырезки образцов приведена на рис. 3, б. Образцы вырезали из качественных переходников, подвергнутых гидроиспытаниям, термоциклическим испытаниям и повторным гидроиспытаниям. Из каждого переходника вырезали по два образца в диаметрально противоположных участках, всего 10 шт.

По результатам испытаний определяли максимальную нагрузку при разрушении и предел конструкционной прочности R_k как отношение максимальной нагрузки к общей площади рабочей части образца (вне проточки) (табл. 2).

Полное разрушение всех ступеней диффузионного соединения не зарегистрировано. Окончательный долом происходил по стали.

При нагружении всех образцов в первую очередь начинал отслаиваться внутренний стык. Затем происходило частичное или полное отслоение первой ступени по диффузионному слою. Последующее разрушение даже для образцов, вырезанных из одного переходника (образцы 0,33 — № 1, 2), могло развиваться различным образом, но при этом окончательный долом происходил по стали в районе внутреннего стыка или второй ступени. Несмотря на то, что характер разрушения и места окончательного долома могли быть различными, максимальная разрушающая нагрузка отличалась не более чем на 12 %, что свидетельствует о стабильном качестве исследованных сварных соединений.

Учитывая, что часть переходников разрушилась по стали в районе внутреннего стыка (образ-

Таблица 1

Материал	Номер образца	$T_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	Предел прочности $\sigma_B, \text{МПа}$	Предел текучести $\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	Относительное удлинение $\delta, \%$	Поперечное сужение $\Psi, \%$
Титановый сплав ПТ-5В	1	20	742	701	14,4	53
	2	20	750	698	14,4	55
	3	20	752	691	12,2	53
	Среднее значение	20	748	697	13,7	54
	4	500	419	312	18,3	69
	5	500	401	315	16,7	69
	6	500	421	331	15,6	71
	Среднее значение	500	414	319	16,9	70
Сталь 08X18H10T	7	20	516	290	51	81
	8	20	518	288	54	79
	9	20	511	289	53	82
	Среднее значение	20	515	289	53	81
	10	500	343	206	31	70
	11	500	346	203	28	70
	12	500	343	200	32	71
	Среднее значение	500	344	203	30	70

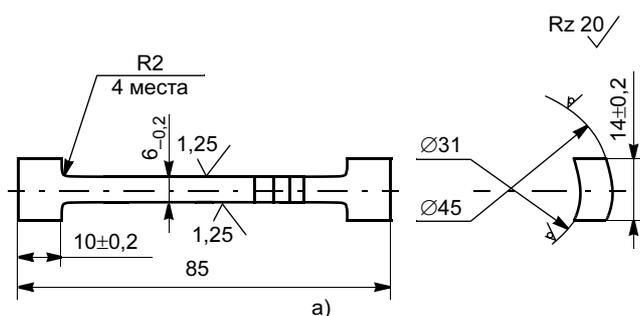
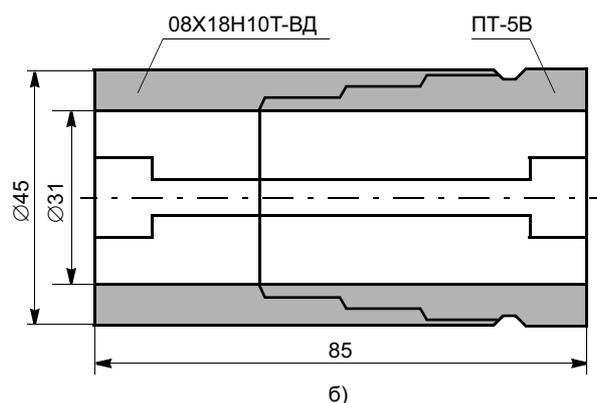


Рис. 3. Образец для определения конструкционной прочности (а) и схема его вырезки (б)



цы 33 — № 1; 43 — № 2), который раскрывался в первую очередь, то, считая стык полностью раскрытым, можно условно оценить прочность диффузионного соединения как разницу между средним значением максимальной разрушающей нагрузкой ($P_{\max}^{\text{CP}} = 16\ 306\ \text{H}$) и нагрузкой разрушения по стали.

Нагрузка при разрушении стали

$$P_{\text{CT}} = \sigma_{\text{BCP}}^{20} F_{\text{CT}}^{\text{CP}},$$

где σ_{BCP}^{20} — среднее значение предела прочности стали 08X18H10T после диффузионной сварки при

Таблица 2

Номер переходника, образца	Максимальная нагрузка при разрушении, P_{\max} , Н	R_k , МПа	Последовательность разрушения
003-№ 1	16 250	426	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 \approx 0,2P_{\max}$) Полное отслаивание первой ступени. Нагрузка возрастает до P_{\max} Разрушение по стали в начале второй ступени
003-№ 2	16 210	428	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 \approx 0,2P_{\max}$) Полное отслаивание первой ступени. Нагрузка возрастает до P_{\max} Разрушение по стали в начале второй ступени
020-№ 1	16 620	436	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 \approx 0,2P_{\max}$) Частичное отслаивание первой ступени Разрушение титана в конце первой ступени ($P_3 = P_{\max}$) Дол по стали в начале второй ступени ($P_4 = 0,7P_{\max}$)
020-№ 2	16 540	448	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 \approx 0,2P_{\max}$) Частичное отслаивание первой ступени Разрушение титана в конце первой ступени ($P_3 = P_{\max}$) Дол по стали в начале второй ступени ($P_4 = 0,7P_{\max}$)
027-№ 1	17 540	461	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 = 0,2P_{\max}$) Отслаивание первой ступени. Нагрузка возрастает до P_{\max} , в конце отслаивания — разрушение по титану в конце первой ступени Дол по стали в начале второй ступени ($P = 0,67P_{\max}$)
027-№ 2	16 940	450	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 = P_{\max}$) Полное отслаивание первой ступени. Нагрузка возрастает до P_{\max} Дол по стали в начале второй ступени ($P_3 = 0,75P_{\max}$)
033-№ 1	16 020	422	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 = 0,2P_{\max}$) Частичное отслаивание первой ступени и разрушение по стали в начале второй ступени при P_{\max}
033-№ 2	15 550	412	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 = 0,2P_{\max}$) Отслаивание первой ступени. Нагрузка возрастает до P_{\max} Дол по стали в начале второй ступени ($P_3 = 0,65P_{\max}$)
043-№ 1	16 100	426	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 = 0,2P_{\max}$) Частичное отслаивание первой ступени и разрушение по стали в начале второй ступени при P_{\max}
043-№ 2	16 200	431	Начало разрушения внутреннего стыка ($P_1 = 0,2P_{\max}$) Частичное отслаивание первой ступени и разрушение по стали в начале второй ступени при P_{\max}

При меча ние. Нумерация ступеней отсчитывается от внутреннего стыка (см. рис. 2).

температуре испытаний 20 °С, равное 515 МПа; $F_{ст}^{cp}$ — средняя площадь внутреннего стыка в районе начала первой ступени, равная 24,2 мм².

Тогда $P_{ст}^{cp} = 515 \cdot 24,2 = 12\,461$ Н.

Из полученных результатов следует, что разница между максимальной нагрузкой при разрушении и нагрузкой разрушения по стали в районе внутреннего стыка составляет приблизительно 30 %, т. е. условно — это та часть усилия, которая приходится на диффузионное сварное соединение при определении конструкционной прочности при растяжении. Если провести такую же оценку для всех остальных образцов, в которых долом происходит по стали в начале второй ступени, то вклад диффузионного

сварного соединения будет более 80 %, поскольку площадь в месте разрушения составляет приблизительно 17 мм².

ВЫВОДЫ

1. Термический цикл диффузионной сварки практически не влияет на кратковременную прочность сварного соединения сталь 08Х18Н10Т — сплав титана ПТ-5В.

2. Максимальная разрушающая нагрузка при испытаниях на кратковременную прочность изменяется не более чем на 12 %, что свидетельствует о стабильном качестве переходников, полученных диффузионной сваркой в вакууме.

УДК 621.791:621.643

Л. М. ВЫБОЙЩИК, аспирант, **Р. С. ЛУЧКИН**, д-р техн. наук
(Тольяттинский государственный университет),
С. Ю. ПЛАТОНОВ, канд. техн. наук
(ВНИИТнефть, Самара)

Структурный фактор коррозионно-механической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб

Сварные трубы из коррозионно-стойких низколегированных сталей широко применяют в нефтяной отрасли промышленности. По сравнению с цельнотянутыми трубами они отличаются высокой коррозионной стойкостью основного металла и имеют более низкую стоимость. Однако сварные соединения с резко выраженной структурной, механической и электрохимической неоднородностью являются зоной преимущественного коррозионно-механического разрушения труб.

Цель данной работы — исследование влияния структурной неоднородности сварных соединений на механические свойства и коррозионную стойкость низколегированных ферритно-перлитных трубных сталей.

Исследования проводили на образцах труб из сталей 09ГСФ и 13ХФА, выполненных дуговой

сваркой (ДС) под флюсом в ОАО "Челябинский трубный завод" и сваркой токами высокой частоты (ТВЧ) в ОАО "Выксунский металлургический завод".

Соединения из стали 09ГСФ, выполненные ДС, отличаются значительной протяженностью отдельных зон (ширина шва и ЗТВ достигают 6—8 мм), наплавленный металл характеризуется структурой бейнитного типа с отдельными "островками" ферритных зерен (рис. 1, а), в зоне сплавления вследствие обезуглероживания стали при высоких температурах преобладают крупные ферритные зерна (рис. 1, б), металл ЗТВ представлен ферритно-перлитной структурой с постепенным уменьшением величины зерен (рис. 1, в, г).

Зоны сварных соединений (сталь 09ГСФ) при сварке ТВЧ отличаются малой протяженностью

(около 1,5—2,0 мм) и смешанной мартенситно-бейнитной структурой, которая переходит в ферритно-перлитную с относительно крупным и мелким зерном (рис. 2).

Трубы, полученные ДС, обычно термической обработке не подвергают, так как высокий отпуск не уменьшает структурную неоднородность, а нормализация приводит к возникновению полосчатости в металле шва и основном металле. При сварке ТВЧ в переходной зоне сварного соединения (см. рис. 2) имеется неравновесная мартенситно-бейнитная структура и требуется проведение термической обработки для уменьшения структурной неоднородности сварного соединения. Наиболее благоприятную структуру этой зоны обеспечивает высокий отпуск (ферритно-перлитная структура с зернистым

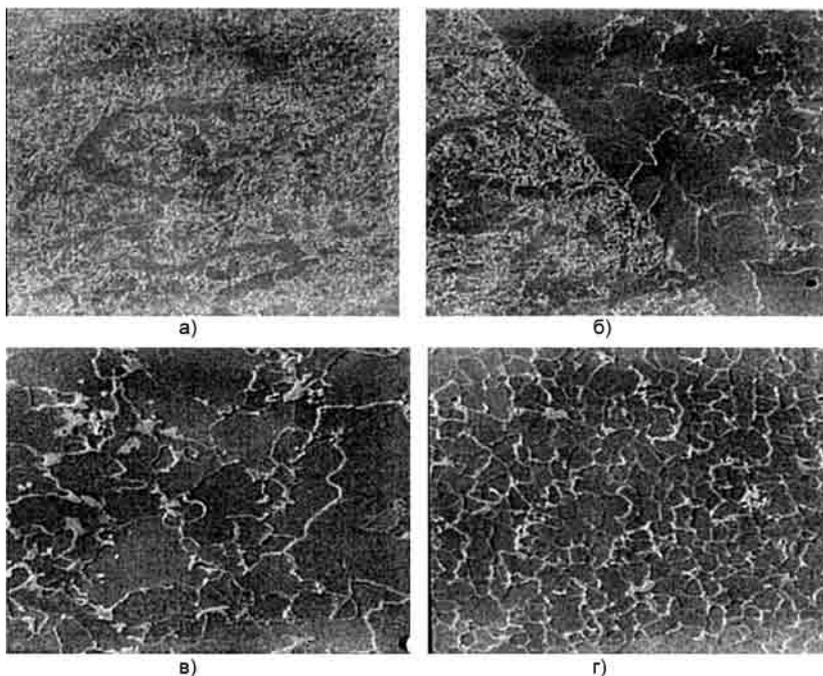


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения труб из стали 09Г2СФ при ДС: а — сварной шов. $\times 1000$; б — зона сплавления. $\times 400$; в, г — зона крупного и мелкого зерна соответственно. $\times 1000$

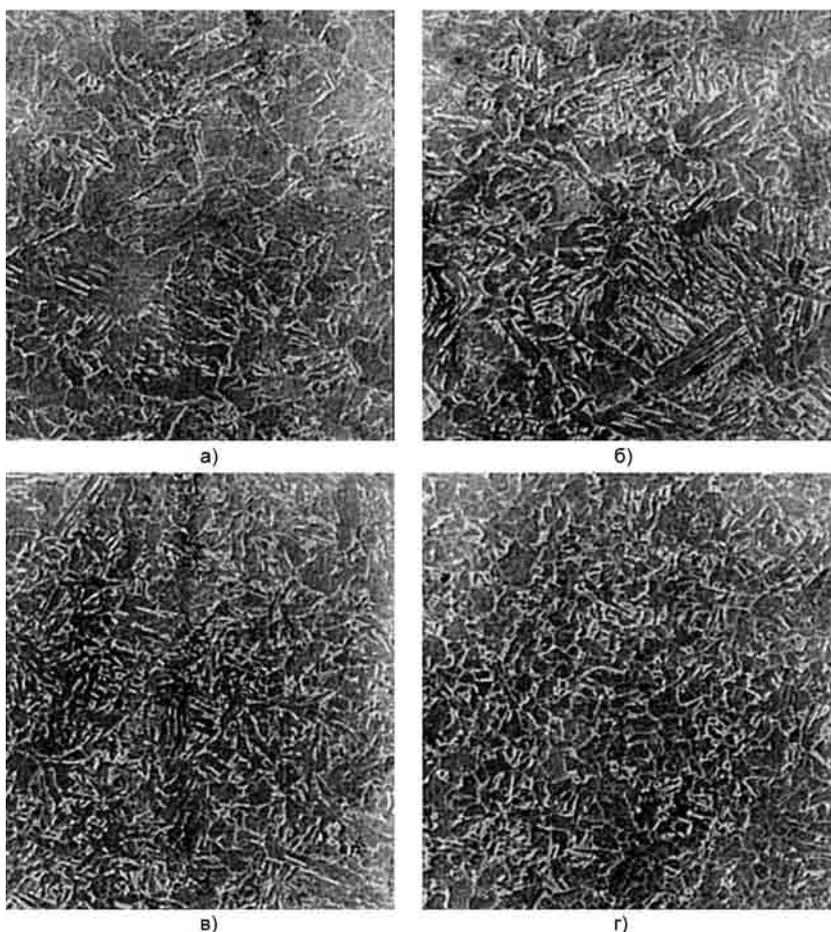


Рис. 2. Микроструктура ($\times 1000$) сварного соединения труб из стали 09Г2СФ при сварке ТВЧ без последующей термической обработки: а — линия сплавления; б — переходная зона; в, г — зона крупного и мелкого зерна соответственно

перлитом) [1]. В работе проводили отпуск при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3).

Результаты сравнительных механических и коррозионных испытаний труб из стали 09Г2СФ, сваренных ТВЧ и ДС, приведены в табл. 1—4. Коррозионные свойства основного металла и сварных соединений оценивали по стойкости против сульфидного коррозионного растрескивания под напряжением (СКРН) по стандарту NACE TM 0177—96 и водородного растрескивания (ВР) по стандарту NACE TM 0284 — 96. Образцы, выдержавшие испытания на СКРН в течение 720 ч без разрушения, подвергали механическим испытаниям на растяжение (см. табл. 1) и оценивали степень потери пластичности ξ . Этот показатель дает представление о деградации металла при воздействии сероводородсодержащей среды и напряжений (испытание на СКРН) и рассчитывается по формуле

$$\xi = (\delta_0 - \delta_H) \delta_0^{-1},$$

где δ_0 , δ_H — соответственно относительное удлинение образца до и после испытаний на СКРН.

Следует отметить более высокие механические свойства и коррозионную стойкость соединений, полученных при сварке ТВЧ, по сравнению с соединениями, выполненными ДС, после выдержки в сероводородсодержащей среде: по пластичности — в 1,4—3,0 раза, ударной вязкости — в 1,5—3,0 раза, сохранению пластичности при выдержке в H_2S — в 2—3 раза. Эти отличия эксплуатационных свойств металла являются прямым следствием структурной неоднородности различных зон сварных соединений.

Большие скорости нагрева и охлаждения при сварке ТВЧ приводят к значительной структурной неоднородности, сосредоточенной в локальной зоне сварного соединения (1—4 мм). Снижение структурной неоднородности и повышение эксплуатационных свойств достигается оптимальным выбором вида и режимов термической обработки (ТО) труб.

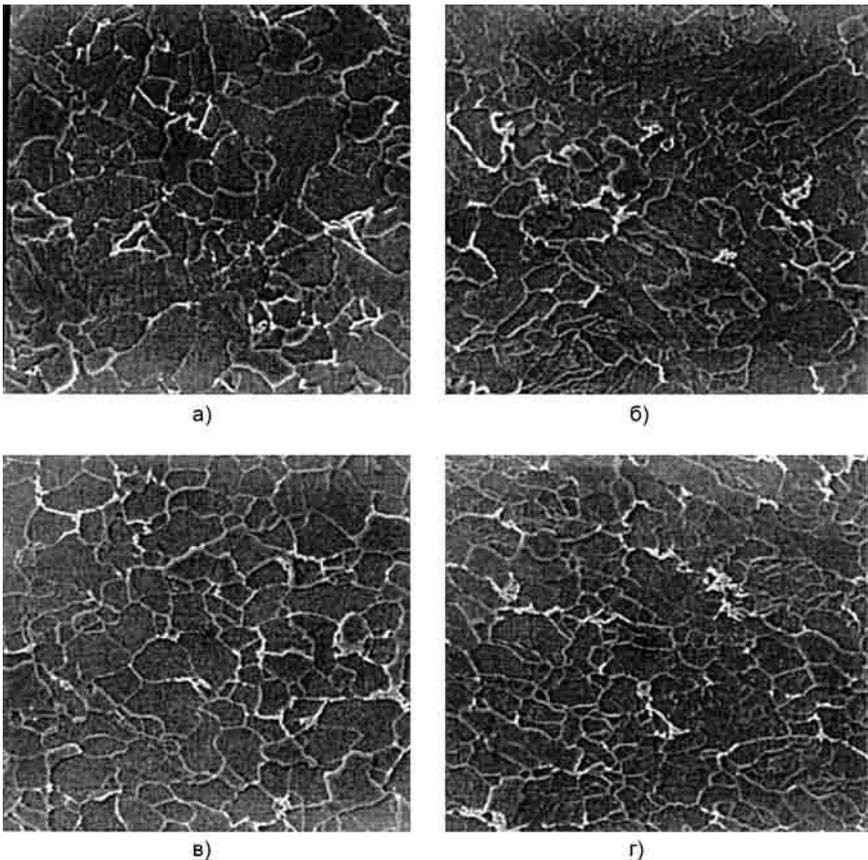


Рис. 3. Микроструктура ($\times 1000$) сварного соединения труб из стали 09ГСФ (сварка ТВЧ) после термической обработки: а—г — см. рис. 2

Исследовали влияние режимов ТО на изменение структуры и свойств труб $\varnothing 219 \times 8$ из стали 13ХФА, полученной контролируемой прокаткой. Сталь 13ХФА обладает более высокой коррозионной стойкостью по сравнению со сталью 09ГСФ и в последнее время широко внедряется в производстве труб нефтяного сортамента. Нагрев варьировали в широком температурном диапазоне от 680 до 920 °С (выдержка в течение 30 мин), включающем высокотемпературный отпуск и нормализацию. Высокотемпературный нагрев снимает структурное упрочнение, полученное при контролируемой прокатке. В частности, при нагреве выше 800 °С механические свойства стали 13ХФА снижаются ниже регламентированных по ТУ 1383-010-48124013—03, поэтому температурный интервал обработки металла труб ограничивали диапазоном 680—800 °С.

Резкого упрочнения сварного соединения при сварке ТВЧ не происходит. Микротвердость сварного соединения незначительно отличается от основного металла, что свидетельствует о близости свойств и идентичности типов структур, и относительно монотонно уменьшается с ростом температуры отпуска (рис. 4).

В работе подробно исследована трансформация структуры во всех зонах сварного соедине-

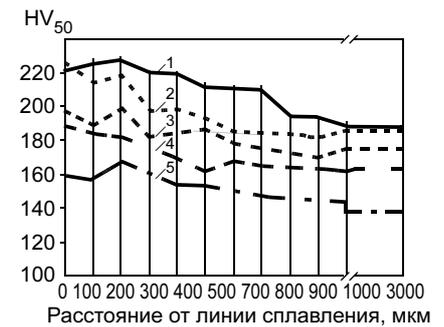


Рис. 4. Зависимость микротвердости металла по зонам сварного соединения стали 13ХФА от температуры отпуска: 1 — без ТО; 2—5 — отпуск при 330, 720, 760 и 800 °С соответственно

Таблица 1

Способ сварки	Механические свойства						Степень потери пластичности ξ , %
	продольных образцов			продольных образцов после выдержки в H ₂ S			
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	
Сварка ТВЧ	566	519	271	483	425	258	5
	583	523	244	592	567	172	30
ДС	573	493	266	585	488	183	31
	579	496	180	532	502	53	70

Примечание. В числителе приведены значения для основного металла, в знаменателе — для металла шва.

Таблица 2

Место испытания	Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при температуре испытаний, °С								
	продольных образцов			продольных образцов после выдержки в H ₂ S			поперечных образцов после выдержки в H ₂ S		
	20	-40	-60	20	-40	-60	20	-40	-60
Основной металл	218	205	191	—	—	—	216	192	141
Сварной шов	229	244	194	250	251	193	193	132	104

Примечание. Образцы получены сваркой ТВЧ.

Таблица 3

Место испытания	Ударная вязкость поперечных образцов KCV, Дж/см ² , после выдержки в H ₂ S при температуре, °С				
	0	-10	-20	-40	-60
Основной металл	130	—	106	—	89
Центр шва	61	65	51	40	44
Линия сплавления	163	105	141	0	75

Таблица 4

Номер плавки	Способ сварки	СКРН	
		Метод А	Метод Д
		$\sigma_{th}, \%$	K _{1ssc} МПа · м ^{1/2}
316689	ТВЧ	$\frac{75}{75}$	43,4 ± 5,0 —
206445	Дуговая под флюсом	$\frac{70}{70}$	40,7 ± 3,1 —

Примечания: 1. В числителе приведены значения для основного металла, в знаменателе — для металла шва. 2. Для всех исследуемых образцов склонность к ВР отсутствует.

ния в зависимости от температуры отпуска. Изменения структуры переходной зоны (от линии сплавления до зоны крупных кристаллов) приведены на рис. 5. Снимки сделаны на расстоянии 300 мкм от линии сплавления. Видно, что уже с температуры 720 °С отпуск обеспечивает получение равновесной структуры с размером зерна выше балла 9, близкой основному металлу. Перлит в переходной зоне (рис. 6) в отличие от основного металла имеет зернистое, а не пластинчатое строение как в основном металле, что благоприятно сказывается на коррозионной стойкости и ударной вязкости сварного соединения [2—5].

В табл. 5 приведены результаты испытания образцов на растяжение основного металла и сварного соединения до и после вы-

держки образцов в H₂S (испытание на СКРН) при $\sigma_{th} = 80\%$ от условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ стали 13ХФА. Все образцы сварных соединений и основного металла выдержали испытания на

СКРН. В дальнейшем после СКРН образцы подвергали механическим испытаниям на растяжение и по сравнению с исходными значениями оценивали повреждаемость структуры, вносимую

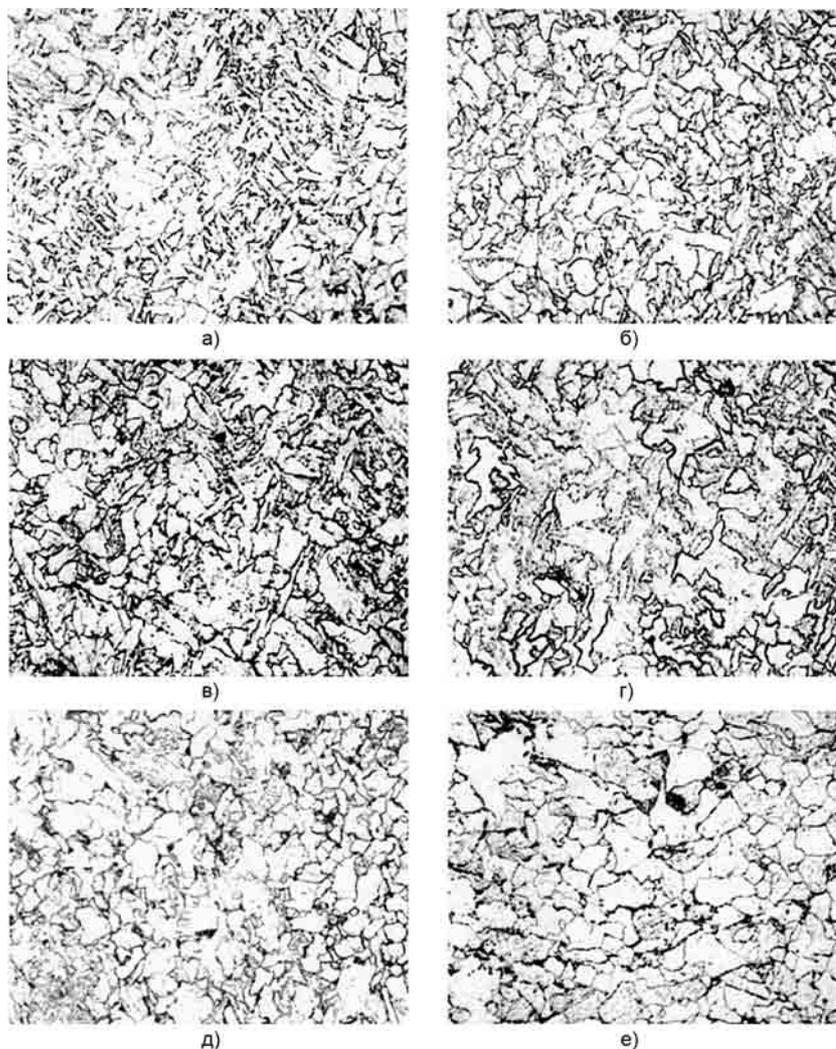


Рис. 5. Структура ($\times 1000$) переходной зоны сварного соединения стали 13ХФА при различной температуре отпуска: а — без ТО; б—д — отпуск при 680, 720, 760 и 800 °С соответственно; е — основного металла, отпуск при 720 °С

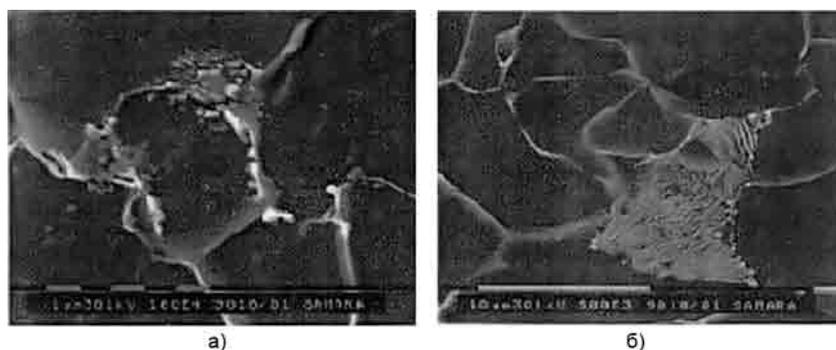


Рис. 6. Микроструктура ($\times 10\ 000$) перлита в переходной зоне (а) и основном металле (б)

Таблица 5

Режим термической обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}$	δ , %	После выдержки в H ₂ S в течение 720 ч				Степень потери пластичности ξ , %
					σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B}$	δ , %	
Без ТО	544	444	0,81	24,0	535	480	0,89	16,3	32,1
	523	436	0,83	20,3	534	486	0,91	10,0	50,7
Отпуск при 680 °С	548	466	0,85	26,0	—	—	—	—	—
	559	419	0,75	22,6	522	480	0,92	12,9	42,9
Отпуск при 680 °С, УО	544	422	0,77	24,0	—	—	—	—	—
	537	414	0,77	22,8	516	468	0,90	15,7	31,1
Отпуск при 720 °С	520	400	0,76	24,0	518	471	0,90	18,0	25,0
	534	411	0,77	22,2	510	470	0,92	17,5	21,2
Отпуск при 720 °С, УО	544	389	0,71	28,0	—	—	—	—	—
	525	383	0,72	29,3	512	466	0,91	17,8	20,1
Отпуск при 760 °С	471	396	0,84	25,3	—	—	—	—	—
	506	372	0,73	24,0	512	440	0,85	17,0	29,1
Отпуск при 760 °С, УО	483	400	0,82	25,9	—	—	—	—	—
	511	368	0,72	24,2	485	420	0,86	17,5	27,6
Отпуск при 800 °С	460	360	0,78	30,7	—	—	—	—	—
	485	370	0,76	26,1	434	394	0,90	19,0	27,2
Отпуск при 800 °С, УО	460	360	0,78	30,0	—	—	—	—	—
	487	355	0,73	26,3	470	400	0,85	20,0	23,9

Обозначение. УО — ускоренное охлаждение с 600 °С.

Примечание. В числителе приведены характеристики основного металла, в знаменателе — металла сварных соединений.

длительным пребыванием в H₂S при $\sigma_{th} = 0,8\sigma_{0,2}$. Можно отметить некоторое развитие водородной хрупкости, что наиболее наглядно выражается степенью потери пластичности (рис. 7).

Видно, что наименьшая потеря пластичности соответствует отпуску при 720 °С. Повышение пластичности при дальнейшем увеличении температуры отпуска, по-видимому, связано с осо-

бенностями формирования структуры при фазовом превращении. Необходимо отметить, что ускоренное охлаждение систематически дает меньшее значение степени потери пластичности, т. е. повышает сопротивление коррозии. Это обусловлено тем, что ускоренное охлаждение без фазовых превращений позволяет создать более благоприятное распределение остаточных напряже-

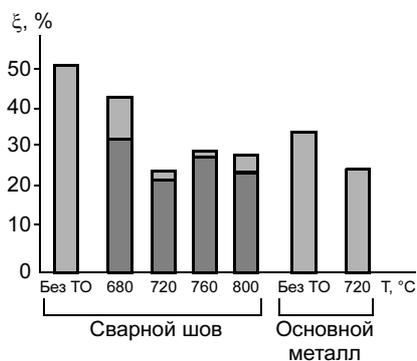


Рис. 7. Влияние температуры отпуска на степень потери пластичности сварного соединения и основного металла стали 13ХФА при испытаниях на СКРН (темные столбцы — ускоренное охлаждение)

Таблица 6

Образец	Скорость коррозии, г/(м ² ·ч)	Примечание
Основной металл	0,37 0,37 0,38	Блистеринги не обнаружены
Сварной шов	0,38 0,36 0,37	
Образец-свидетель из стали 09Г2С	0,85	Массовые блистеринги

Примечание. Для всех исследуемых образцов склонность к ВР отсутствует.

ний по толщине стенки трубы. На поверхности трубы (образца) локализируются напряжения сжатия, что препятствует развитию коррозионных явлений.

Скорости коррозии основного металла и сварного шва близки и не превышают 0,38 г/(м²·ч). Коррозия имеет равномерный характер. Блистеринги (водородные вздутия) не выявлены, водородные трещины в металле не обнаружены (табл. 6).

ВЫВОДЫ

1. Сварные соединения трубных сталей 09ГСФ и 13ХФА, выполненные сваркой ТВЧ, по сравнению с соединениями, выполненными дуговой сваркой под флюсом, отличаются более высокими значениями пластичности, ударной вязкости и коррозионной стойкости.

2. Высокотемпературный отпуск при 720 °С с последующим ускоренным охлаждением с 600 °С способствует получению высоких механических свойств и коррозионной стойкости сварных соединений стали 13ХФА.

3. Стойкость сварных соединений против коррозионного растрескивания под напряжением и водородного растрескивания определяется протяженностью и структурой характерных зон соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние термической обработки на структуру и коррозионную стойкость сварного соединения нефтепромысловых труб / М. А. Выбойщик, Т. В. Тетюева, С. Ю. Платонов, Н. Г. Куренкова // Техника машиностроения. 2001. № 4. С. 32—38.
2. Василенко И. И., Мелихов Р. К. Коррозионное растрескивание сталей. Киев: Наукова думка, 1997.
3. Вороненко Б. И. Коррозионное растрескивание под напряжением низколегированных сталей. Ч. III. Влияние структуры и термической обработки // Защита металлов. 1997. № 6. С. 573—589.
4. Платонов С. Ю. Повышение коррозионной стойкости сварных соединений нефтепромысловых труб: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2001. 23 с.
5. Платонов С. Ю., Выбойщик Л. М. Выбор режимов термической обработки нефтепромысловых труб // Физика прочности и пластичности материалов. Тольятти, 2003. С. 2, 60.

**В. М. МАКИЕНКО, канд. техн. наук, И. О. РОМАНОВ, инж.,
Е. М. БАРАНОВ, канд. техн. наук, Д. В. СТРОИТЕЛЕВ, инж.**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения (Хабаровск)

Повышение хладостойкости аустенитной стали при восстановлении изношенных поверхностей электродуговой наплавкой порошковыми проволоками

При электродуговой наплавке изношенных частей машин из аустенитной стали (например зубьев ковшей экскаваторов) приобретает актуальность задача повышения хладостойкости, особенно для условий центральной Сибири и севера Дальнего Востока. Аустенитные стали, как и другие металлы с гранецентрированной кубической решеткой, в общем случае не обладают хладноломкостью. Предел текучести данных сталей не возрастает с понижением температуры, следовательно, согласно схеме Иоффе, его величина не может достигнуть величины сопротивления отрыву даже при низких температурах испытания.

Однако при исследовании ряда сталей аустенитного класса установили, что некоторые из них склонны к хрупкому разрушению при низких температурах. Хрупкое разрушение аустенитных сталей может быть обусловлено следующими причинами:

- присутствием посторонней фазы на границах зерен аустенита;
- образованием α -фазы (мартенсита) в процессе температурных испытаний на хладноломкость.

Образование мартенсита в процессе температурных испытаний на ударную вязкость связано с пластической деформацией, протекающей в металле перед разрушением.

Известно, что отношение аустенитных сталей к образованию мартенсита под влиянием пластической деформации опре-

деляется положением температуры деформирования относительно температуры начала мартенситного превращения данной стали M_n и теоретической температуры фазового равновесия аустенита и мартенсита T_0 . Следует отметить, что после наплавки это равновесие реально никогда не достигается, в любом практическом случае структура наплавленного металла метастабильная, речь идет лишь о температуре, при которой может иметь место равенство текущих значений свободных энергий приведенных фаз.

При температурах выше T_0 — в области термодинамической устойчивости аустенита — деформация не может вызвать мартенситного превращения. При температурах ниже T_0 образование мартенсита деформации становится тем более возможным, чем больше степень деформации и чем ближе температура деформирования к точке начала мартенситного превращения данной аустенитной стали. Так как температуры M_n и T_0 зависят от химического состава металла, то в недостаточно легированных аустенитных сталях, аустенит которых вследствие этого не обладает достаточной термодинамической устойчивостью при низких температурах, появляется возможность образования мартенсита деформации в процессе испытаний. Появление α -фазы (мартенсита) в аустените приводит к возрастанию предела текучести, тем большому, чем ниже температура

испытания. При некоторой температуре испытания предел текучести оказывается выше сопротивления отрыву, и наступает хрупкое разрушение. Таким образом, при разработке сварочно-наплавочного материала необходимо для обеспечения хладостойкости, с одной стороны, обеспечить чистоту межзеренных границ по неметаллическим и шлаковым включениям, с другой — обеспечить достаточную полноту легирования наплавленного металла.

На первом этапе работы для получения необходимого содержания легирующих элементов в наплавленном металле подбирали компоненты сердечника (шихты) проволоки, увеличивающие коэффициент перехода углерода, и прежде всего марганца, в наплавленный слой. Для исследований перехода марганца в качестве основного компонента шихты использовали ферромарганец ФМн-0,5 (ГОСТ 4755—80). В качестве второго компонента использовали молотый графит. Таким образом, за основу была принята система, в которой отсутствовала шлаковая защита (шлакообразующие компоненты). Коэффициент перехода рассчитывали по формуле

$$k_{\text{пер}} = \frac{X_{\text{экс}}}{X_{\text{рас}}}, \quad (1)$$

где $X_{\text{экс}}$ — содержание элемента в наплавленном металле; $X_{\text{рас}}$ — расчетное содержание элемента в порошковой проволоке.

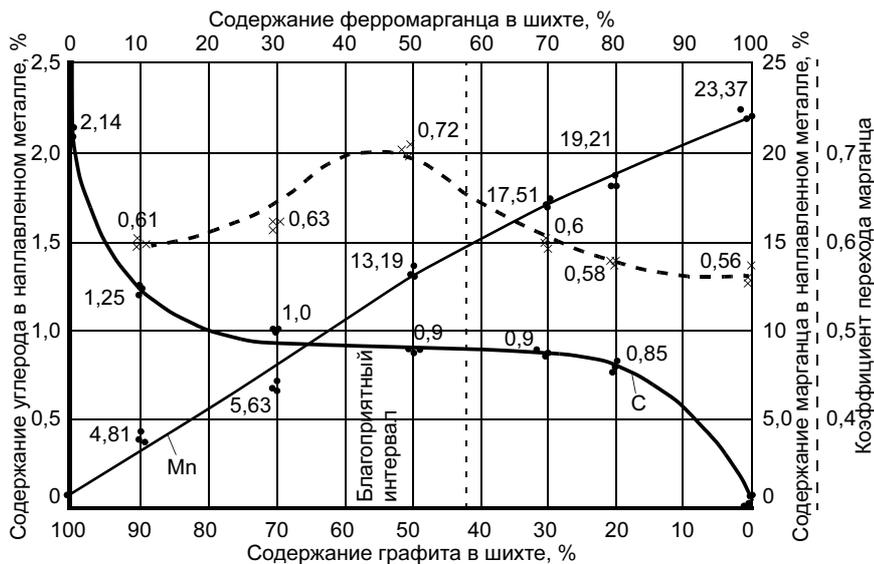


Рис. 1. Концентрационные зависимости содержания элементов в наплавленном слое и коэффициента перехода марганца (штриховая линия)

Устанавливали зависимость коэффициента перехода марганца от изменения массовой доли графита и ферромарганца сердечника. Экспериментальные данные по содержанию легирующих элементов и концентрационная зависимость $K_{пер}$ приведены на рис. 1. Видно, что максимальное значение $K_{пер}$ марганца достигает в точке, отвечающей массовым долям 50 % графита + 50 % ферромарганца, при этом $K_{пер} = 0,72$ %, что в 1,76 раза превышает интенсивность перехода марганца в качестве добавки в порошковую проволоку с основным типом сердечника. С помощью газовой хроматографии установили, что защиту сварочной ванны при наплавке с таким сердечником обеспечивает восстановительная атмосфера CO, образующаяся в условиях неполного сгорания углерода графита. Разработана порошковая проволока с сердечником такого типа¹.

Известно, что цирконий в наибольшей мере влияет на чистоту межзеренных границ железоуглеродистых сплавов. Он является мощным раскислителем и десульфуратором, связывает растворенный азот. Доказана также

его способность связывать фосфор. Нитриды циркония дисперсны и равномерно распределяются по зерну. Практически все его соединения легко растворяются в шлаке и выводятся из металла.

На втором этапе исследования определяли влияние циркониевого концентрата, вводимого в качестве компонента в шихту порошковой проволоки. Цирконий восстанавливается из руды в ходе электродугового процесса. Наибольший интерес представляет исследование микроструктуры наплавленного металла. Проверили чистоту границ зерен (первый фактор хладостойкости), устанавливая одновременно и коэффициент перехода марганца (второй фактор) в проволоке с сердечником, содержащим ферромарганец, графит и циркониевый концентрат (рис. 2). В данной системе существенно возрастает как общее количество шлака, так и эффективность шлаковой защиты.

Сдвиг максимума зависимости коэффициента перехода марганца в сторону уменьшения доли ферромарганца связан с образованием карбидов, растворимых в шлаке, что снижает интенсивность перехода марганца. Химический состав металла, наплавленного экспериментальной по-

рошковой проволокой, в точке, отвечающей максимуму перехода марганца, %: 11,4 Mn, 0,3 Si, 0,9 C, 0,015 S, 0,025 P, 0,36 Zr.

Фазовый состав (рис. 3) наплавленного металла показывает наличие структуры аустенита с микротвердостью $H_{\mu} = 195 \div 240$ HV (рис. 4).

Неметаллические включения и интерметаллиды в интеркристаллитной области не обнаружены. Таким образом, доказана возможность максимального обеспечения хладостойкости с использованием газошлаковой защиты.

Однако применение разработанного состава шихты не обеспечивает достаточной воспроиз-

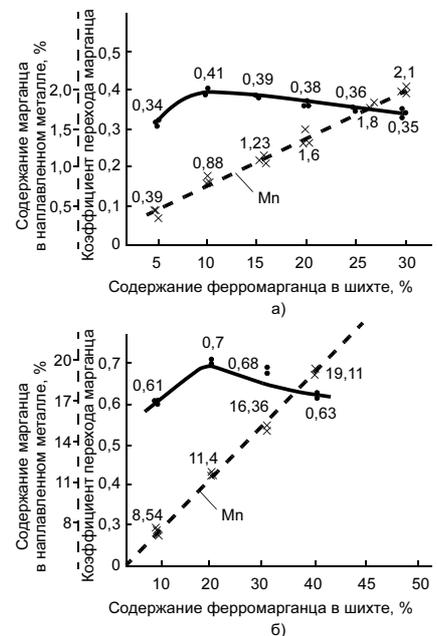


Рис. 2. Концентрационная зависимость коэффициента перехода марганца из проволоки с основным типом сердечника (а) и экспериментальной проволоки (б)

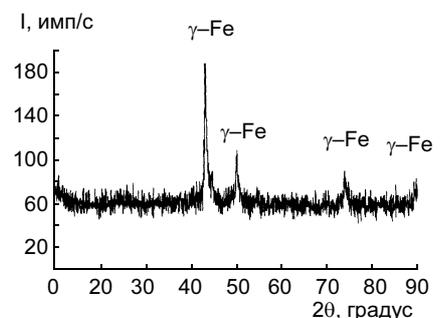


Рис. 3. Рентгенодифракционный спектр наплавленного металла

¹ Патент 60888 (РФ).

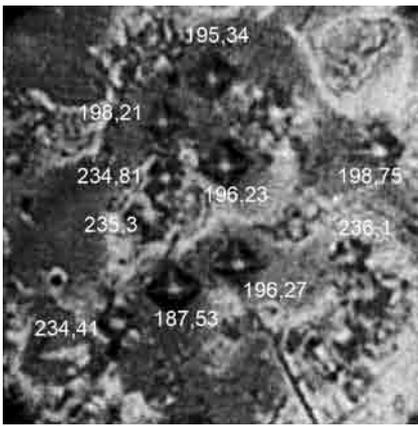


Рис. 4. Микроструктура ($\times 800$) наплавленного слоя (указана микротвердость аустенита, HV)

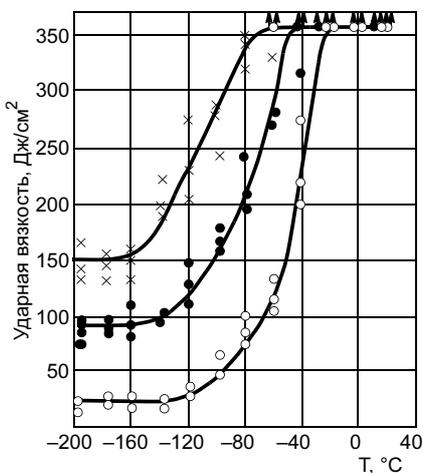


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости аустенитной стали от содержания хрома (○ — 40Г18; ● — 40Г18Х4; × — 40Г18Х8)

водимости данных в силу неоднородности аустенита. Поэтому необходимо было расширить комплекс легирования сердечника.

Известно, что наиболее эффективно обеспечивают однородность аустенита и повышают хладостойкость хром и никель. На рис. 5 приведена зависимость ударной вязкости от температуры испытания для аустенитной стали 40Г18 и той же стали, дополнительно легированной 4 и 8 % хрома. При комнатной температуре (18—20 °С) все аустенитные стали обладают высокой ударной вязкостью (более 3,7 МПа), с понижением температуры испытания в них развивается хрупкость. Сталь 40Г18 имеет критический

интервал перехода в хрупкое состояние в пределах -40 — -100 °С. По мере увеличения содержания хрома критический интервал хрупкости (сталь 0Г18Х4) находится в пределах -60 — -120 °С, а для стали 40Г18Х8 — -80 — -160 °С.

На рис. 6 показано влияние никеля на хладноломкость аустенитной стали 40Г18Х4. Добавление никеля в шихту резко уменьшает хладноломкость стали. При этом ударная вязкость сталей 40П8Х4Н4 и 40П8Х4Н8 даже при температуре жидкого азота составляет в среднем 300 Дж/см²,

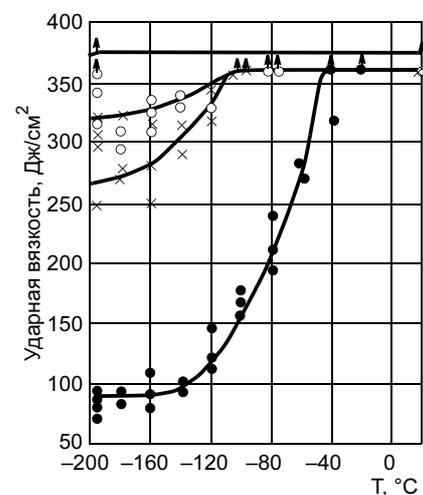


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости аустенитной стали от содержания никеля (● — 40Г18Х4; × — 40Г18Х4Н4; ○ — 40П8Х4Н8; Δ — 40Г18Х4Н8В)

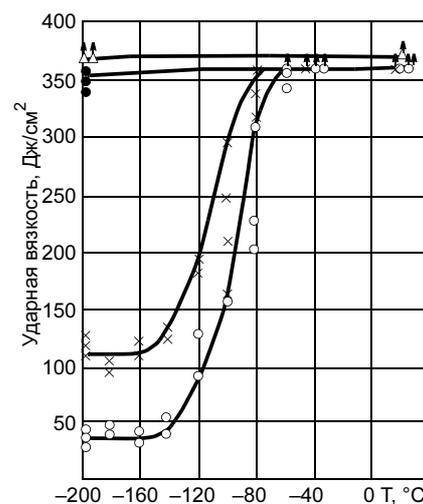


Рис. 7. Зависимость ударной вязкости аустенитной стали от содержания хрома и никеля (○ — 50Г18; × — 50Г18Х4; ● — 50П8Х4Н8В; Δ — 50П8Х4Н4)

Но- мер со- ста- ва	Состав шихты порошковой проволоки, %			
	Ферро- марганец	Гра- фит	Цирко- ниевый концен- трат	Нике- левый порош- ок
1	54	27	19	
2	44	8	48	8—10
3	83	3	14	

образцы же стали 40П8Х4Н8В не сломались при этой температуре.

Аналогичное влияние добавок хрома и никеля установлено применительно к стали 50Г18 (рис. 7). Аустенитные стали 50П8Х4Н4 и 50П8Х4Н8В не обладают хладноломкостью при введении добавок хрома и никеля.

Поскольку основная задача решена на первом и втором этапах исследования, на третьем этапе в состав шихты порошковой проволоки (см. таблицу) дополнительно вводили 8—10 % порошкового никеля. В результате измерения ударной вязкости наплавленного металла установили, что порог хладноломкости практически не превышает -70 °С.

Хром не добавляли, так как в присутствии никеля хром в основном подавляет ликвационную способность. В данном случае эту роль сыграл восстановленный цирконий.

ВЫВОДЫ

1. При разработке состава шихты порошковой проволоки для наплавки хладостойкой аустенитной стали необходимо учитывать чистоту границ зерен по неметаллическим включениям и интерметаллидам, а также полноту легирования стали.

2. Экспериментально установлено, что требуемая хладостойкость достигается путем введения в состав шихты проволоки ферромарганца, молотого графита и циркониевого концентрата.

3. Введение в сердечник проволоки порошкового никеля обеспечивает стабильность порога хладноломкости вследствие однородности структуры аустенита в наплавленном металле.

Т. Н. НЕМОВА, д-р техн. наук
(Томский ГАСУ),
А. П. СТЕПАНОВ, инж.
(ЮТИ ТПУ, Юрга)

Вихревой механизм возбуждения электрической сварочной дуги

Для возбуждения электрической дуги необходимо обеспечить подачу энергии для электронной эмиссии. В зависимости от способа подачи энергии различают следующие способы возбуждения дуги: разведением электродов (после их соприкосновения); дополнительным импульсом высокого напряжения и высокой частоты; дополнительной дугой, промежуточной вставкой и др. [1].

Анализ показывает, что для всех этих способов возбуждения дуги характерны следующие общие признаки: формируется большое количество носителей зарядов; создается изменяющееся во времени электрическое поле и, как следствие, возникает вихревое магнитное поле.

Можно предположить, что существует общий физический механизм возбуждения дуги, который не зависит от способа подачи энергии. Физическая суть механизма возбуждения может быть

описана с помощью законов электродинамики, так как в начальный момент времени при возбуждении дуги плазма еще не существует.

Рассмотрим физические процессы, происходящие при возбуждении дуги методом короткого замыкания и разведения электродов (основной механизм процессов при других способах возбуждения действует аналогично).

При разности потенциалов на электродах между ними возникает электрическое поле (рис. 1). При сближении электродов образуется электрическое поле, подобное электрическому полю плоского конденсатора.

Рассмотрим электрический конденсатор, обкладки которого находятся под определенной разностью потенциалов U . Если сближать обкладки, то напряженность поля внутри конденсатора, определяемая как $E = U/h$, увеличивается, в результате увеличивается плотность электрической энергии:

$$w_E = \frac{\epsilon_a E^2}{2}. \quad (1)$$

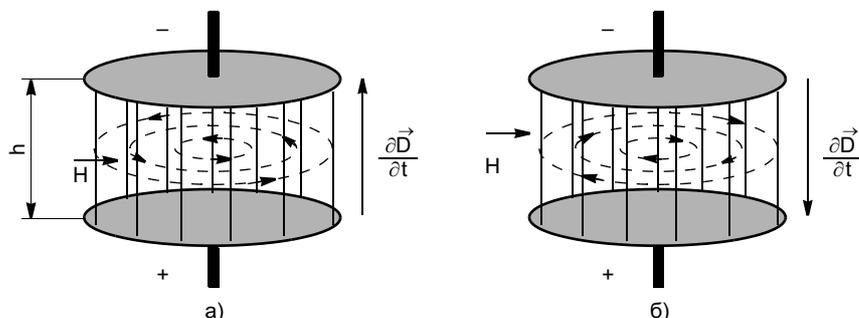


Рис. 2. Изменяющееся во времени внешнее электрическое поле при возбуждении дуги

На основании уравнений Максвелла можно утверждать, что при сближении электродов возникает вихревое магнитное поле, определенным образом направленное. При сближении электродов конденсатора электрическое поле увеличивается и ток смещения $j_{см} = \partial D / \partial t$ будет направлен от положительной пластины к отрицательной (рис. 2, а).

При разведении электродов электрическое поле будет уменьшаться и ток смещения направлен от отрицательной пластины к положительной (рис. 2, б). Направление магнитного поля H будет противоположным по сравнению с первым случаем, однако изменения направления вихревого магнитного поля не происходит. Это связано с тем, что плотность тока в уравнении Максвелла является в общем случае суммой плотностей тока проводимости и тока смещения:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_{пр} + \vec{j}_{см} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (2)$$

В связи с этим после разведения электродов, когда ток смещения уменьшается, начинает пре-

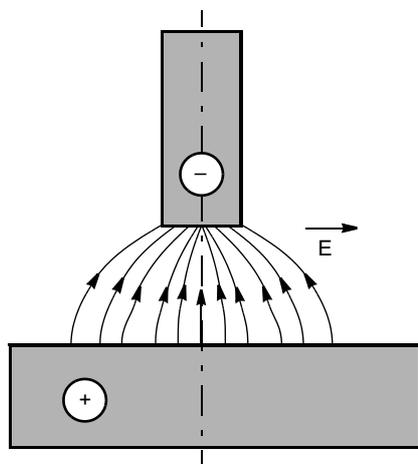


Рис. 1. Силовые линии электрического поля между электродом и изделием

обладать вклад от других токов. Это приводит к дальнейшему росту скорости изменения поля, при этом направление вихревого магнитного поля не изменяется.

Поверхность электродов имеет микронеровности. Электрическое поле у острия микронеровностей (выступов) всегда намного сильнее, чем в других местах, поскольку радиус кривизны острия меньше. Относительно малое количество заряда на острие микронеровности создает большую поверхностную плотность, а высокая плотность заряда означает сильное электрическое поле вблизи проводника в этом месте.

При сближении электродов резко увеличивается напряженность поля между ними и с острия микронеровностей начинается автоэлектронная эмиссия. Электроны, испускаемые острием, ускоряются под действием сильного электрического поля. Под действием внешнего электрического поля (10^6 — 10^8 В/см) заряженные частицы у острия микронеровностей немедленно придут в упорядоченное, направленное движение. Столкновения, процессы ионизации и рекомбинации вносят определенные возмущения в данное движение, однако если бы такое упорядоченное движение отсутствовало, то не происходило бы и возбуждения дуги. Эти направленные потоки носителей частиц образуют электрический ток и приводят к появлению собственного магнитного поля в столбе сварочной дуги, так как магнитное поле неразрывно связано с током.

В момент соприкосновения электродов происходит контакт выступов, через них начинает течь электрический ток, температура в месте контакта резко увеличивается: происходит термоэлектронная эмиссия электронов.

Основное значение при анализе возбуждения дуги имеет движение электронов. Поскольку масса ионов значительно больше массы электронов, они обладают

большой инерционностью. Тепловым хаотическим движением электронов и столкновениями можно пренебречь ввиду наличия сильных электрических и магнитных полей. Учет столкновений сводится к введению некоторой средней скорости заряженных частиц.

В результате автоэлектронной и термоэлектронной эмиссии в межэлектродном промежутке появляются свободные электроны. Сталкиваясь с атомами газа, они вызывают их ионизацию и дальнейшее лавинообразное увеличение носителей тока. Под действием электрического поля в межэлектродном промежутке они мгновенно приходят в направленное движение. Электроны начинают двигаться от отрицательного электрода к положительному, а ионы — от положительного электрода к отрицательному.

Рассмотрим поведение электронов вблизи острия микронеровности или соединения выступов электродов. При контакте выступов возникает перемычка, по которой начинает течь электрический ток. Вокруг протекающего тока возникает магнитное поле, которое убывает обратно пропорционально расстоянию от перемычки. Также на заряженные частицы воздействует и вихревое магнитное поле (2), обусловленное резким изменением напряженности электрического поля.

Качественно описать движение заряженных частиц в данном случае можно с помощью дрейфовой теории. Скорость дрейфа

заряженных частиц по величине и направлению определяется по формуле [2]

$$\vec{u} = \frac{1}{2\omega H} (v_{\perp}^2 + 2v_{\parallel}^2) [\vec{h} \text{ grad} H], \quad (3)$$

где \vec{h} — единичный вектор вдоль направления H .

Из-за неоднородности магнитного поля движение электронов будет происходить в направлении, перпендикулярном к H и $\text{grad}H$ (рис. 3, а) [2]. Кроме этого дрейфового движения возникает также дрейф под действием электрического поля, обусловленного падением напряжения вдоль перемычки (рис. 3, б). Результирующая траектория приведена на рис. 3, в.

В итоге суммарное движение электронов вблизи перемычек будет вихревым — закручивание в винтовую линию. Ток будет резко возрастать, что приведет к еще большему возрастанию магнитных полей, и в конце этого переходного процесса движение электронов в токовой нити будет происходить по спирали.

В момент возбуждения электрической дуги при контакте микровыступов электродов возникает множество микротоков, которые образуют несколько микродуг, но одна из них в месте максимальной напряженности электрического поля является основной, вокруг которой навиваются остальные микродуги. Они будут притягиваться, поскольку, согласно закону Ампера, между параллельными токами, образованными движущимися частицами, дей-

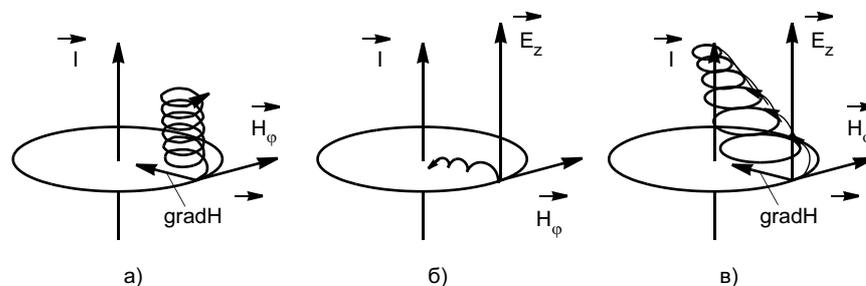


Рис. 3. Движение электрона в поле прямого проводника с током: а — магнитный дрейф; б — дрейф в скрещенных электрическом и магнитном полях; в — результирующий дрейф

ствует магнитная сила притяжения

$$F_m = \mu_0 \mu_r \frac{I_1 I_2}{2\pi r} l. \quad (4)$$

Таким образом, дрейф заряженных частиц, совместное действие силы Лоренца и силы Ампера приводят к притяжению и закручиванию всех токовых нитей, образуя в месте максимальной напряженности электрического поля дуги токопроводящий канал. Этот спиральный токопроводящий канал обеспечивает электропроводность плазменного столба электрической дуги. Канал подобен канату, аналогичный вид имеет обыкновенная воронка в воде (рис. 4), смерч и др.

Итак, при возбуждении электрической дуги возникает вихревой токовый шнур, образованный упорядоченным движением заряженных частиц. Сначала формируется электронный токопроводящий шнур. Этот электронный вихревой шнур с поперечным и продольным магнитными полями, которые обеспечивают стабильность его геометрии и физических свойств, образует основу вихревого канала проводимости в плазменном столбе сварочной дуги.

Электронный токопроводящий шнур обладает отрицательным зарядом. В соответствии с кулоновским законом притяжения зарядов разной полярности к нему будут притягиваться положительно заряженные частицы. В результате образуется биполярный канал проводимости. Движение электронов и ионов в этом ка-

нале происходит в разные стороны. Такое совместное двунаправленное движение электронов и ионов образует динамическую систему цилиндрического коаксиального конденсатора (рис. 5), поперечные размеры которого много меньше продольных.

Емкость и напряжение на обкладках такого конденсатора

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 h} \ln \frac{r_2}{r_1}; \quad (5)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 h}{\ln(r_2/r_1)}, \quad (6)$$

где φ_1, φ_2 — потенциалы на внутренней и внешней обкладках соответственно; Q — заряд на обкладках конденсатора; h — высота конденсатора; r_1, r_2 — радиусы обкладок.

Электрические свойства этого конденсатора определяют свойства электрической дуги и, как следствие, технологический процесс сварки.

Вихревой токовый шнур хорошо виден в вакуумном сферическом конденсаторе. Если в сферическом конденсаторе создать небольшой вакуум, подать высокое напряжение на электроды, то при соответствующем напряжении конденсатор пробивается и начинает гореть дуга. Так как поверхность сферического конденсатора эквипотенциальная, то появляются множество токовых нитей, что хорошо видно на фотографии (рис. 6).

На данной установке отчетливо наблюдаются анодное и катодное пятна, непрерывное движение

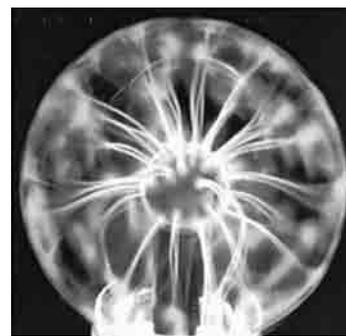


Рис. 6. Токовые нити в сферическом вакуумном конденсаторе

этих пятен и вихревой характер нитей. При электрической сварочной дуге условие эквипотенциальности поверхности нарушается. В силу закона Ампера о магнитном притяжении отдельных параллельных токов и наличия вихревых электрического и магнитного полей эти нити сплетаются и образуют вихревой токовый шнур в месте максимальной напряженности электрического поля дуги.

Таким образом, из данного механизма процесса возбуждения дуги следует, что при переходе к устойчивому режиму горения электрической дуги в плазменном столбе дуги между электродами возникает канал проводимости, замыкающий цепь тока источника питания дуги. Этот канал представляет вихревое, спиральное движение частиц и все эффекты и явления сварочной дуги, как показывает дальнейший анализ, определяются параметрами и поведением этого канала. Размеры токопроводящего канала, параметры и условия его существования изменяются в зависимости от конкретных физических условий процесса горения дуги. Визуально его зафиксировать сложно, так как он скрыт плазменным столбом сварочной дуги, однако его наличие подтверждают экспериментальные данные.

В работе [3] методом так называемого разрезного анода определяли мгновенное распределение плотности тока в анодном пятне. Установлено, что в прианодной и прикатодной токопро-



Рис. 4. Пример вихревого вращения в жидкости

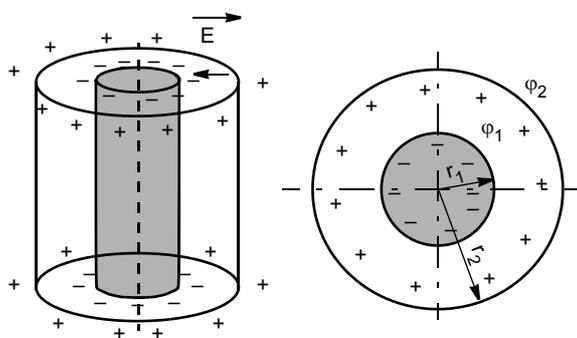


Рис. 5. Каналовый цилиндрический коаксиальный конденсатор

водящих областях имеется канал, сечение которого на несколько порядков меньше отпечатка анодных и катодных пятен. Плотность тока в канале на несколько порядков выше средней плотности тока в столбе дуги: $j > 10^5 \text{ A/cm}^2$. Токпроводящий канал перемещается по приэлектродным областям, поддерживая поверхность электродов, контактирующую со столбом дуги, в расплавленном и перегретом состоянии.

В работе [4] распределение тока в приэлектродных областях исследовали с помощью зондов, расположенных под сварочной ванной. Полученные данные также подтверждают наличие в прианодных областях токпроводящего канала.

В работе [5] установлено, что в прианодных и прикатодных областях плазмы дуги, горящей между стальной пластиной и неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне, плавящимся электродом в аргоне, под флюсом, в CO_2 и воздухе имеется токпроводящий канал сечением на несколько порядков меньше площади отпечатка (электродного пятна) и с плотностью тока выше средней в столбе дуги. Токпроводящий канал последовательно перемещается по поверхности приэлектродной области, поддерживая поверхность электродов, контактирующую со столбом дуги в расплавленном перегретом состоянии. Через один или несколько токпроводящих каналов протекает практически весь ток дуги (более 90 %). При токе 120—160 А сечение токпроводящего канала меньше 10^{-2} см^2 . Приэлектродные области при стационарном горении дуги шунтируются токпроводящими каналами и практически через поверхности этих областей (исключая каналы) ток не протекает.

В вихревом механизме возбуждения дуги микронеровности являются источниками токовых нитей (микродуг). Вследствие испа-

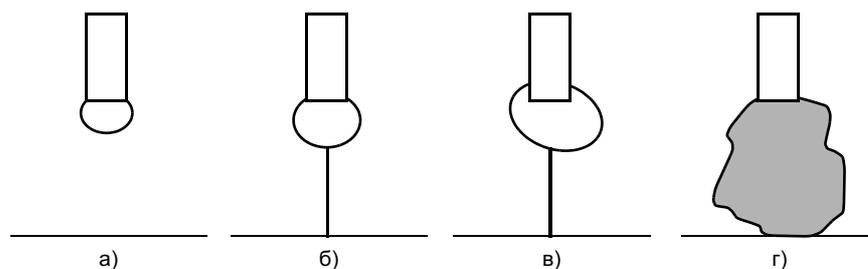


Рис. 7. Стадии формирования электрической дуги при импульсной сварке

рения вещества микронеровности разрушаются, напряженность поля уменьшается, микродуга гаснет. Однако вблизи присутствует другой выступ шероховатости, на который перемещается (зажигается) микродуга. Происходит непрерывное перемещение микродуг, что является основной причиной блуждания анодного и катодного пятен, токпроводящего канала дуги. Данное явление также обуславливает сетчатую структуру катода, так как его выгорание происходит по микронеровностям. При этом на катоде образуется кратер (углубление, ячейка). Поэтому данная модель процессов, происходящих при возбуждении электрической дуги, полностью подтверждает связь зажигания дуги и переход к устойчивому горению открытой сварочной дуги с ячеистым строением катодного пятна при свободном его формировании [6]. Эта связь является также и экспериментальным подтверждением предложенного механизма возбуждения электрической дуги.

Кроме того, наличие токовых нитей (микродуг) объясняет структуру и принцип действия промежуточных слоев газа, соединяющих плазменный столб с электродами: "плазменный столб дуги не может граничить непосредственно с металлом электродов, так как в большинстве случаев точка кипения последних значительно ниже температуры столба. Поскольку бесконечные градации температуры невозможны, то необходимо допущение о наличии промежуточных слоев газа, соединяющих столб с электродами. Температура в них постепенно

снижается, а с ней и степень термической ионизации газа. Поэтому процессы образования заряженных частиц и переноса тока в этих слоях должны существенно отличаться от соответствующих процессов в столбе и изучаться самостоятельно" [1].

Вихревой механизм формирования электрической дуги имеет место также и при импульсной сварке. На рис. 7, а зафиксировано отсутствие дуги (пауза). Из-за наличия большого количества заряженных частиц в межэлектродном промежутке и высокой температуры при подаче импульса электрического тока дуга зажигается самостоятельно, без принудительного короткого замыкания электродов. В результате появляется тонкая нить (рис. 7, б), которая постепенно увеличивается в диаметре (рис. 7, в). Тонкая нить между электродами и есть вихревой токпроводящий шнур. Электроды в данный момент времени фактически находятся в режиме короткого замыкания, при этом количество выделяемой теплоты резко возрастает и при достижении определенной температуры происходит ионизация атомов и молекул межэлектродного промежутка — возникает столб плазмы (рис. 7, г).

Модель электрической сварочной дуги, в которой имеется вихревой токпроводящий канал, получила название вихревой электродинамической модели [7].

ВЫВОД

Модель электрической сварочной дуги позволяет объяснить физический механизм образова-

ния анодного и катодного пятен, устойчивости дуги, разбрызгивания, переноса электродного металла и др., которые имеют большое значение в сварочных процессах и технологиях. Модель расширяет представления о процессах в дуге и средствах управления ими, побуждает к новым теоретическим исследованиям и инженерным разработкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970. 335 с.
2. Арцимович Л. А., Лукьянов С. Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. М.: Наука, 1978. 225 с.
3. Мечев В. С., Замков В. Н., Прилуцкий В. П. Радиальное распределение плотности тока в анодном пятне аргоновой дуги // Автоматическая сварка. 1971. № 8. С. 7—10.
4. Кулагин И. Ж., Николаев А. В. Определение размеров пятен сварочной дуги и распределение в них плотности тока

методом измерения электрического поля в электродах // Изв. АН. СССР. 1957. № 9. С. 108—110.

5. Буки А. А. Моделирование физико-химических процессов дуговой сварки. М.: Машиностроение, 1991. 288 с.

6. Норин П. А., Архипова Е. В. Возбуждение открытой сварочной дуги и переход к устойчивому режиму горения // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 12—14.

7. Федько В. Т., Степанов А. П. Электродинамическая модель сварочной дуги // Современные проблемы машиностроения и приборостроения. Томск: STT, 2003. С. 70—71.

УДК 621.791:658.386

**В. П. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, В. П. ПЛАУНОВ, канд. техн. наук
МГТУ гражданской авиации**

Роль научных школ в решении научно-технических проблем

Термин "проблема" в переводе с древнегреческого означает "сложный теоретический или практический вопрос, требующий разрешения, изучения, исследования". Применительно к крупной научно-технической проблеме речь должна идти о постановке и четком формулировании комплекса задач по развитию той или иной области техники путем привлечения многопрофильного контингента опытных ученых и инженеров, способных реализовать на практике новые достижения науки. При этом имеются в виду значительные и трудно предсказуемые затраты времени и материально-финансовых средств.

Это краткое предисловие авторы данной работы сочли необходимым привести в связи с выходом в июне 2007 г. в свет новой монографии "Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации" [1], посвященной решению и итогам одной из таких проблем на протяжении полувека.

Постановка данной проблемы была сформулирована представителем аэродинамической научной школы С. М. Белоцерковским. В 1955 г. он защитил в ВВИА им. Н. Е. Жуковского докторскую диссертацию "Исследования по аэродинамике современных несущих поверхностей". В качестве секретного приложения она содержала раздел "Аэродинамика решетчатых крыльев конечного размаха". На базе этой и последующих работ, проводившихся под руководством С. М. Белоцерковского, было создано комплексное научное направление, включавшее широкие теоретические и экспериментальные исследования по аэродинамике, конструкции, прочности, массе, выбору оптимальных материалов и технологии изготовления решетчатых крыльев.

Аэродинамикой решетчатых крыльев под руководством и при непосредственном участии С. М. Белоцерковского занимались также ученые ВВИА им. Н. Е. Жуковского, ЦАГИ В. С. Демидов, Л. Н. Кравченко, В. И. Морозов, Л. А. Одновол, В. А. Подобедов, Ю. З. Сафин, В. Г. Табачников, Б. И. Ульянов, М. Ф. Притуло, Н. Е. Коновалова, В. А. Шитов и др. В теории и экспериментах исследовался весь диапазон возможных скоростей полета: дозвуковых, трансзвуковых и сверхзвуковых.

Выявленные преимущества компоновки решетчатого крыла в сравнении с монопланом обеспечивали существенный выигрыш в весовой отдаче самолета. В результате анализа массы, прочности и жесткостных свойств полиплановых крыльев, выполненного представителем научной школы прочности ВВИА проф. А. И. Тюленевым, были определены основные направления выбора рациональных конструкций решетчатого крыла. В развитие данного направления внесли существенный вклад также Б. М. Агишев, В. В. Новицкий, А. П. Воронович, Ю. А. Кибардин и др.

Параллельно проводился комплекс теоретических и экспериментальных исследований по выбору рациональных конструкционных материалов для заданных условий эксплуатации крыльев, экономичных в производстве и надежных в эксплуатации, а также технологий их изготовления. В этой области проявили себя представители научной школы лауреата Государственной и Ленинской премий С. Н. Лоцманова в области пайки и сварки металлов — сотрудники ВВИА им. Н. Е. Жуковского, НИТИ-40 МОП, МИТ, МКБ "Вымпел", ИЭС им. Е. О. Патона и других организаций: В. П. Фро-

лов, Ю. И. Березников, В. М. Гостенина, И. И. Ильевский, А. Ф. Нестеров, В. П. Плаунов, Л. И. Рындин, В. Н. Семенов, Г. П. Теслин, В. Ф. Хорунов, И. П. Чекунов, М. И. Чичунов и др.

Приведенные примеры интеграции научных школ в решении крупной научно-технической проблемы относятся в основном к периоду 1955—1981 гг. — первой половине полувекового этапа научных исследований по проблеме решетчатых крыльев, получивших за рубежом название "русских крыльев".

С 1981 по 2006 гг. продолжалось эффективное сотрудничество ученых ВВИА им. Н. Е. Жуковского, МГТУ ГА, ИЭС им. Е. О. Патона, МКБ "Вымпел" в области разработки решетчатых конструкций экстракласса.

В МКБ "Вымпел" с 1982 по 1994 гг. успешно проводили исследования и разработки новых модификаций ракет класса "воздух—воздух" с решетчатыми рулями и запуск их в серийное производство. Кроме коллективов ГосНИИАС, НИАТ, ВИАМ, ВВИА им. Н. Е. Жуковского и ЦАГИ в этих работах принимали активное участие сотрудники МГТУ ГА, ИЭС им. Е. О. Патона и завода им. Артема (Киев).

В МКБ "Вымпел" отрабатывались преимущественно механизированные и автоматизированные способы изготовления элементов решеток с возможностью сборки, не зависящей от квалификации исполнителя. Благодаря этому гарантированно обеспечивались требуемое качество паяных швов в каждом соединении, технологичность, серийно-пригодность и экономическая эффективность.

Однако одним из "узких мест", не поддающихся средствам механизации, оставалась сборка планов в решетчатый набор, занимавшая более 2 % общего времени производства изделия. Другой, не менее важной проблемой являлось отсутствие автоматизированных печей для пайки решетчатых крыльев в крупносерийном производстве.

В связи с первой задачей следует подчеркнуть, что в 60—70-х гг. сборку планов выполняли, применяя соединение пазов "в замок", а способ сборки внахлестку рассматривался как менее предпочтительный [2]. После передачи конструкторской документации на завод им. Артема для подготовки серийного производства нахлесточное соединение планов сваркой и пайкой было успешно реализовано учеными ИЭС им. Е. О. Патона совместно с сотрудниками заводов "Вымпел" и им. Артема [3—5].

ИЭС им. Е. О. Патона начал разработку технологии изготовления решетчатых конструкций в середине 80-х гг. после получения информации от ряда КБ (А. Д. Надирадзе, С. П. Королева, С. П. Непобедимого, А. Л. Ляпина и др.) о разрабатывавшихся там изделиях с новыми (полипланными) органами управления летательных аппаратов.

Комплекс исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона при сотрудничестве с заводами в

Москве и Киеве, позволил не только отработать новую конструкцию крыльев из жаропрочной стали ЭИ835 для ракеты класса "воздух—воздух", но и разработать припой ПрН58Ф системы никель—марганец—хром для вакуумной пайки и термической обработки крыльев при температуре 1120 °С.

Поскольку производительность обычной вакуумной печи для пайки не удовлетворяет требованиям серийного производства, решение поставленной задачи заключалось в организации непрерывного процесса изготовления изделий. Для этих целей были созданы карусельные многопозиционные вакуумные установки [6].

Для согласования технического задания на проектирование установки в ИЭС им. Е. О. Патона были приглашены представители ВИАМ, НИАТ и завода "Вымпел" В. С. Рыльников, О. А. Филодор, Е. И. Чулков и В. П. Плаунов. Менее чем через полгода установка была сдана в эксплуатацию. В серии роторных установок ИЭС им. Е. О. Патона она являлась самой крупной и была рассчитана на выпуск от 4 до 8 решетчатых рулей в 1 ч. Как было установлено, в 1990 г. этого не мог обеспечить ни один агрегат в мире. Установка П-126 вошла в специальную технологическую линию по серийному производству сварно-паяных решетчатых узлов различных конструкций [1].

По итогам работ в 1991 г. были награждены Государственной премией Украины В. Ф. Хорунов, И. А. Владимирская (ИЭС им. Е. О. Патона), главный сварщик завода им. Артема С. Л. Дыхно, главный металлург МКБ "Вымпел" А. В. Грачев и др.

После распада СССР совместная работа по изготовлению боевой техники прекратилась, и серийное производство ракеты РВВ-АЕ было организовано на заводе "Вымпел". Новаторские разработки коллектива ГосМКБ "Вымпел" им. И. И. Торопова обеспечили создание на базе отечественных технологий боевых ракет, обладающих уникальными свойствами. В течение многих лет на международных авиакосмических салонах ракеты различных модификаций с индексом РВВ-АЕ вызывают большой интерес авиационных специалистов различных стран, в том числе Китая, Индии, Франции, США и др. [7].

На рис. 1 приведена ракета РВВ-АЕ, управляемая решетчатыми рулями, а на рис. 2 — комплект



Рис. 1. Ракета РВВ-АЕ класса "воздух—воздух" средней дальности с решетчатыми рулями



Рис. 2. Самолет МиГ-21-93, в комплект авиационного вооружения которого входят ракеты РВВ-АЕ

авиационного вооружения самолета МиГ-21-93, в который входит ракета РВВ-АЕ.

В заключение процитируем акад. Б. Е. Патона: "Появление решетчатых конструкций в облике современных ракетно-космических комплексов позволяет говорить о техническом преобразовании привычных компоновок и формировании нового образа изделий третьего тысячелетия. А производство сварно-паяных

решеток, бесспорно, дало толчок к развитию и становлению промышленного процесса пайки как одного из самых производительных и при этом научно подкрепленного" [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

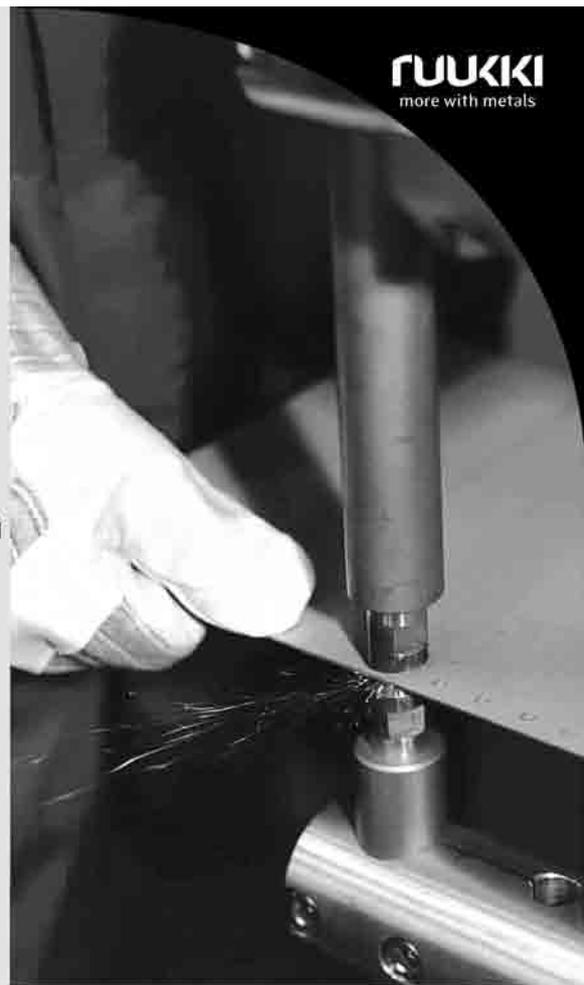
1. *Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации* / Под ред. С. М. Белоцерковского, В. П. Фролова, В. А. Подобедова, В. П. Плаунова. М.: Новый Центр, 2007. 408 с.
2. *Выбор материалов и технологии производства паяных решетчатых конструкций* / Г. А. Соколовский, А. М. Ильин, В. П. Плаунов и др. // *Авиационная промышленность*. 1987. № 4. С. 69—71.
3. *Пайка решетчатых конструкций* / В. Ф. Хорунов, Ю. Б. Малевский, М. И. Дьяченко и др. // *Автоматическая сварка*. 1984. № 1. С. 61—62.
4. *Махненко В. И., Великоуваненко Е. И., Хорунов В. Ф.* Теоретический анализ развития напряжений и деформаций в решетчатой конструкции в неравномерном температурном поле // *САПР ТП сварки, пайки, литья и нанесения газотермических покрытий*. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1985. С. 119—123.
5. *Хорунов В. Ф., Зубченко В. П.* Технологический процесс изготовления решетчатых конструкций // *Пайка в машиностроении*. Тольятти, 1991.
6. *Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Марченко В. Б.* Высокопроизводительная вакуумная печь // *Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной пайки*. М.: ЦРДЗ, ЗАО "АЛАРМ", 2004. С. 84—86.
7. *Решетчатое крыло: от аэроплана к ракетам "Биссектор" и РВВ-АЕ* / В. В. Ватолин, И. В. Баранов, В. П. Плаунов и др. // *Авиакосмическая техника и технология*. 2006. № 2. С. 66—69.

Цинкожелезное покрытие - лучшее решение для контактной сварки оцинкованной стали

Цинкожелезный сплав (Galvannealed) содержит 10 % железа и 90 % цинка:

- свариваемость лучше, чем у оцинкованной стали
- высокая скорость сварки
- менее затратная эксплуатация сварного оборудования
- легкость окрашивания
- высокая коррозионная стойкость

Москва, тел.: (495) 933 11 00
С.-Петербург, тел.: (812) 346 69 48
e-mail: info.metals@ruukki.com
www.ruukki.ru



Публикуется на правах рекламы

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.791.753.5.048

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

Особенности практики использования ГОСТ Р 52222—2004 "Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки"

ГОСТ 9087—81 "Флюсы сварочные плавные", разработанный ИЭС им. Е. О. Патона, регламентирует основные свойства 23 марок сварочных плавных флюсов. Госстандарт России в начале 2003 г. предложил ГНЦ ФГУП "НПО ЦНИИТМАШ" разработать новый ГОСТ "Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки".

Учитывая тот факт, что согласование нового ГОСТа со странами СНГ растянулось бы на длительный срок, было принято решение сделать проектируемый ГОСТ только российским с индексом "ГОСТ Р". В российской промышленности отсутствуют крупные цехи по производству сварочных флюсов за исключением мелких производителей в ПО "Ижорские заводы" и Челябинском трубопрокатном заводе. Исторически сложилось так, что все крупные производители сосредоточены в Украине, в частности, ОАО "Запорожский завод флюсов и стеклоизделий" и ОАО "Никопольский завод ферросплавов".

Разработку нового ГОСТ Р 52222 ЦНИИТМАШ проводил при тесном сотрудничестве с этими производителями. Следует отметить, что украинские производители заинтересованы в разработке и внедрении нового ГОСТа, поскольку большая часть производимых в Украине флюсов (примерно 70 %) экспортируется в Россию.

ГОСТ Р 52222 регламентирует свойства уже 53 марок флюсов в отличие от 23 марок в ГОСТ 9087—81. В новом ГОСТе предусмотрена возможность выпуска рафинированных флюсов с применением дуплекс-процесса, например, АН-348АД, АН-348АДМ, АН-348ВД, ОСЦ-45ДМ, АН-47Д и др. В этом случае флюс первоначально выплавляется в пламенной печи, а затем расплав рафинируется дополнительно в дуговой печи.

Несмотря на ряд преимуществ нового ГОСТа по сравнению с предыдущим, потребители флюсов в

России предпочитают преимущественно флюсы по ГОСТ 9087—81. По данным ОАО "Завод сварочных флюсов и стеклоизделий" (Запорожье), соотношение отпускаемых флюсов было следующим: в 2006 г. по ГОСТ 9087 — 6700 т, ГОСТ Р 52222 — 5223 т; в 2007 г. (девять месяцев) по ГОСТ 9087 — 5200 т, ГОСТ Р 52222 — 1700 т.

Предпочтение ГОСТ 9087 отдается по двум причинам: во-первых, значительное число работающих предприятий пользуется устаревшей нормативной документацией; во-вторых, ГОСТ Р 52222 допускает некоторое незначительное увеличение содержания оксида железа, что связано с объективными причинами, в частности с выработкой месторождений марганцевой руды с низким содержанием железной составляющей и оксида марганца Mn_2O_7 .

Однако, по результатам исследований авторов, проведенных совместно с ОАО "Завод сварочных флюсов и стеклоизделий", даже более высокое содержание Fe_2O_3 в составе флюса незначительно снижает восстановление Mn металлом шва (рис. 1).

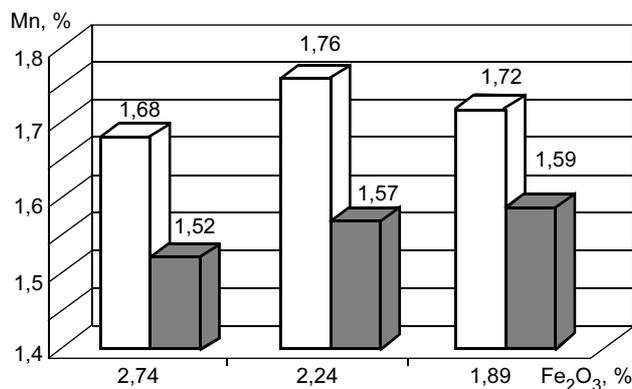


Рис. 1. Зависимость содержания марганца в металле шва от содержания оксида железа во флюсе АН-348 А (светлые столбцы — проволока Sv-08Г1НМА, темные Sv-08А)

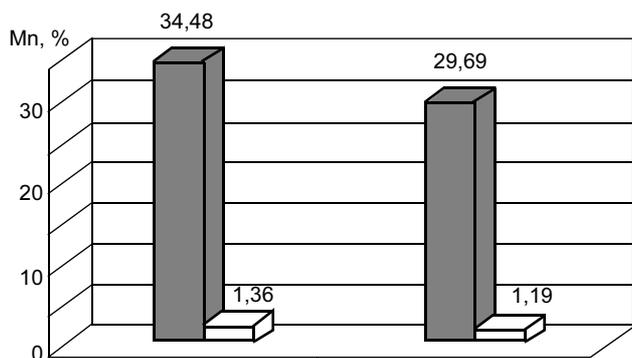


Рис. 2. Зависимость содержания марганца в металле шва (светлые столбцы) от содержания MnO в составе флюса АН-348А (темные)

То же относится и к содержанию MnO в составе флюса, которое новым ГОСТ Р 52222 допускается более низким по сравнению с ГОСТ 9087.

Согласно данным рис. 2, увеличение содержания MnO в составе флюса на 13,6 % приводит к увеличению содержания Mn в металле шва всего на 0,17 %, что практически не влияет на свойства металла шва, и в частности на механические характеристики.

Таким образом, национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52222 — 2004 рекомендуется к широкому внедрению и его необходимо вносить в качестве основного стандарта в нормативную документацию, в том числе в нормативную документацию Ростехнадзора, Морского регистра и других надзорных органов.

УДК 621.791:621.643.1/2

В. И. ГРИНЕНКО, В. В. РОЩИН, канд. техн. наук, В. А. ХАВАНОВ, канд. техн. наук, С. И. ПОЛОСКОВ, д-р техн. наук
НИКИМТ

Автоматизация сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций

В соответствии с директивными документами "Энергетическая стратегия России на период до 2020 г." и "Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века" планируется ввести в строй не менее 26 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР и БН. В связи с этим необходимо совершенствование технического и качественного уровней их изготовления, монтажа, технического обслуживания и ремонта, а также дальнейшее повышение ядерной безопасности этих объектов.

Трубопроводы являются базовыми элементами в технологических цепочках атомных электростанций. Правилами и нормами в атомной энергетике (ПНАЭГ) они выделены в отдельную группу технических устройств по влиянию на надежность и безопасность АЭС. Сложные условия эксплуатации трубопроводов, ограниченная доступность к месту выполнения работ, требования промышленной безопасности обуславливают необходимость обеспечения высокого качества сварки, прочности и коррозионной стойкости сварных соединений. По трудозатратам монтаж трубопроводов занимает порядка 40 % всех затрат на монтаж станций. В основном трубопроводы реакторной установки АЭС соединяют между собой реактор, парогенераторы, главные циркуляционные насосы, арматуру и другое оборудование. В настоящее время в атомной энергетике разрешена к применению для сварки

стыков таких трубопроводов технология автоматической или ручной аргодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом. Основной объем стыков сваривают в неповоротном положении орбитальной сваркой. Такая технология относится к высоким сварочным технологиям, наиболее сложным в реализации.

Определенный интерес представляет история развития автоматической орбитальной сварки в атомной отрасли.

На стадии проектирования головного реактора РБМК для Ленинградской АЭС (ЛАЭС) — первой станции с реакторами этого типа, отличающегося разветвленными трубопроводами, — было принято решение максимально автоматизировать сварку более чем 240 000 трубных соединений, выполняемых на монтаже. Одновременно с этим также было принято решение о создании сварочных технологий и автоматического оборудования для ремонта реакторов РБМК, в том числе с заменой технологических каналов. Задача автоматизации процесса сварки этих соединений была поставлена перед НИКИМТом (ныне филиал ФГУП "ИСК "Росатомстрой" — НИКИМТ), имевшим к тому времени большой опыт в области автоматизации сварки труб.

Характерным примером могут служить работы организованного НИКИМТом монтажно-сварочного участка на заводе № 35 комбината "Маяк".

В 1958—1959 гг. на этом монтажно-сварочном участке под руководством специалистов НИКИМТа было сварено около 10 тыс. неповоротных стыков труб из коррозионно-стойких сталей автоматами АТВ (конструкции НИАТ Минавиапром), изготовленных опытным производством НИКИМТа. По-видимому, это первый в мировой практике случай 100 %-ной автоматизации сварки такого количества трубных соединений.

Однако для сварки трубопроводов АЭС в монтажных условиях автоматы АТВ были неприемлемы в первую очередь из-за больших габаритных размеров и массы. Ко времени проектирования ЛАЭС НИКИМТ имел уже сложившийся коллектив конструкторов сварочных автоматов и значительное количество моделей орбитальных трубосварочных автоматов, применявшихся в атомной отрасли, энергетическом строительстве, атомном судостроении и др.

Для монтажа и ремонта трубопроводов реакторов РБМК был разработан ряд специальных автоматов для сварки конкретных соединений: трактов технологических каналов, сильфонных компенсаторов, торцевых и угловых швов, приварки верхних обойм, "калачей", пароводяных коммуникаций и др. Были доработаны и некоторые модели ранее разработанных автоматов общего назначения серии ОДА, наиболее популярных в СССР, годовая потребность которых во всех отраслях страны составляла более 500 единиц.

В общей сложности при монтаже и ремонте одного блока реактора РБМК были задействованы около 100 автоматов более 20 моделей, разработанных и изготавливаемых НИКИМТом. В том числе только для монтажа были поставлены 48 автоматов.

В результате применения орбитальной автоматической сварки значительный объем сварочных работ был проведен качественно и в сжатые сроки. Автоматическая орбитальная сварка при надлежащей организации производства позволила довести уровень автоматизации до 60 %, что обеспечило повышение производительности труда в среднем в 4 раза по сравнению с ручной аргодуговой сваркой. Следует отметить, что при этом были существенно снижены требования к квалификации сварщиков: выпускника ПТУ обучали на оператора автоматической сварки за один месяц.

В НИКИМТе постоянно модернизировали орбитальные автоматы, заменяли новыми моделями и поставляли на монтаж и ремонт всех последующих АЭС с 17 реакторами РБМК. Главный конструктор реактора акад. Н. А. Доллежалъ на одном из совещаний подчеркнул, что без сварочного оборудования НИКИМТа невозможно было бы разработать и эксплуатировать реакторы РБМК.

Несколько иначе обстояло дело с автоматизацией сварки трубопроводов АЭС с реакторами типа ВВЭР, основных на ближайшую перспективу. Это объясняется рядом причин. Одна из главных заключалась в том, что Минэнерго СССР, строившее наряду с РБМК станции с реакторами ВВЭР, не имело специализированных конструкторских коллективов, а также возможности приобретения дефицитных комплектующих и производственных возможностей, таких как атомная отрасль. Минэнерго приобретало у НИКИМТа трубосварочное оборудование общего назначения, в основном автоматы серии ОДА. Однако этого было недостаточно. В небольшом количестве на непрофильных предприятиях производили упрощенные автоматы для сварки без присадочной проволоки, разработанные институтом "Энергомонтажпроект", и спроектированные ВНИИЭСО автоматы серии АДГ. Последние не были доведены до массового производственного внедрения и требовали существенной доработки. Не разрабатывались для ВВЭР и специализированные сварочные автоматы.

При поставленной задаче существенного развития атомной энергетики за счет строительства АЭС с реакторами типа ВВЭР автоматизация орбитальной сварки более чем 120 000 монтажных стыков трубопроводов в каждом блоке АЭС становится актуальной. Для этого в первую очередь необходимо оснастить монтажные организации аттестованными в соответствии с требованиями отрасли современными орбитальными трубосварочными автоматами.

В настоящее время на рынке сварочного оборудования имеется большое количество орбитальных трубосварочных автоматов различных, в основном зарубежных, фирм. Однако все представленные модели далеко не в полной мере удовлетворяют требованиям монтажа объектов атомной энергетики, где в связи с большим количеством сварных соединений требуется достаточно высокий ресурс машинного времени автоматов и реальная производительность. Все орбитальные автоматы зарубежных фирм для сварки труб малых диаметров в отличие от отечественных требуют жидкостного охлаждения, что снижает их мобильность — увеличивается время передислокации от стыка к стыку, что существенно снижает производительность сварки. Существенно уступают они отечественным автоматам и по ресурсу. Так, автоматы серии ОДА конструкции НИКИМТа для сварки труб малых диаметров имеют ресурс машинного времени 600 ч, что в разы превышает ресурс лучших зарубежных автоматов. Существенным фактором является то, что эти специально разрабатываемые для атомной отрасли автоматы подразделяют на типоразмеры с учетом диаметров труб, применяемых в конструк-

циях отечественных реакторов. Не менее существенно и то, что они имеют самые малые технологические размеры, определяющие вписываемость головок автомата в стесненных условиях монтажа. Реализуемые зарубежными автоматами режимы сварки не в полной мере обеспечивают процессы сварки, применяемые в отрасли, в частности широко применяемый способ сварки с автоопрессовкой, до настоящего времени практически не освоенный за рубежом.

В свое время в СССР специальная комиссия, организованная Всесоюзным координационным советом по сварке при ИЭС им. Е. О. Патона, на основании сравнительного анализа всех известных орбитальных автоматов (включая зарубежные) признала лучшими автоматы конструкции НИКИМТа. Это преимущество сохранилось и до настоящего времени. Работы по совершенствованию существующих и разработка новых моделей современных орбитальных автоматов ведутся в НИКИМТе постоянно. В том числе в последние годы применительно к атомной отрасли разработаны так называемые полнофункциональные автоматы с самой высокой степенью автоматизации процесса сварки и современной микропроцессорной аппаратурой. Большим преимуществом НИКИМТа в области автоматизации орбитальной сварки является то, что ни одна отечественная или зарубежная фирма не обладает столь высокой квалификацией в области технологических процессов орбитальной аргодуговой сварки. Большинство технологических процессов, регламентируемых ПНАЭГ, разработаны в НИКИМТе, и практически все выпускаемые НИКИМТом орбитальные трубосварочные автома-

ты разрабатывались и разрабатываются применительно к способам сварки, также разработанным в институте. К ним относятся сварка с автоопрессовкой, последовательным проплавлением, сварка торцевых трубных соединений. НИКИМТ первым в СССР применил сварку с колебаниями вольфрамового электрода и ступенчатую разделку кромок стыковых соединений.

НИКИМТ разрабатывает и поставляет орбитальные трубосварочные автоматы различных типов в зависимости от реализуемых вариантов технологии аргодуговой сварки неплавящимся электродом — с подачей и без подачи присадочной проволоки и по степени автоматизации — с наличием или отсутствием систем колебания электрода, автоматического поддержания длины дуги, телевизионных систем наблюдения, систем программирования и памяти режимов и других устройств. Автоматы — от простейших, так называемых одно-моторных, до самых сложных — полнофункциональных.

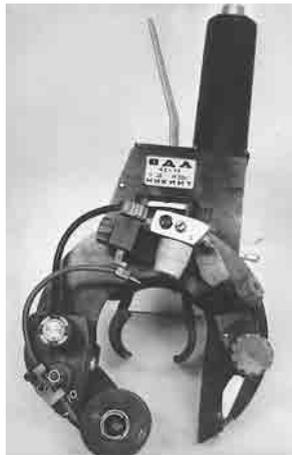
Конструктивно головки автоматов выполняются либо корпусными, когда корпус головки неподвижно фиксируется на трубе, а планшайба с горелкой и другими устройствами вращается вокруг свариваемого стыка, либо тракторными — автомат с горелкой и другими устройствами перемещается по закрепленному на трубе кольцевому направляющему. Типоразмеры корпусных головок позволяют без перенастройки сваривать трубы разных диаметров. Корпусные головки имеют небольшую установочную длину, но при диаметре свариваемых труб более 100—150 мм уступают по весовым показателям тракторным. Последние легче корпусных, но на

Модель	Диаметр свариваемых труб $D_{тр}$, мм	Конструктивное исполнение	Максимальная толщина стенки труб, мм	Радиус вращающихся частей, мм	Установочная длина, мм	Масса головки, кг	Подача присадочной проволоки ¹	Регулировка длины дуги	Колебания электрода ¹	ТВ система ¹	Протоколирование процесса ¹	Примечание
ОДА—26М	8—26	Корпусные	3,5	40	77	2,5	—	—	—	—	—	
ОДА—42М	20—42		3,5	53	82	2,8	—	—	—	—	—	
ОДА—3М	42—76		3,5	85	85	3,9	—	Ручная	—	—	—	
ОДА—20-42П	20—42		6,0	73	80	3,8	+	"	—	—	—	
ОДА—42-76П	42—76		6,0	95	85	4,6	+	"	—	—	—	
ОДА—76-133П	76—133		8,0	160	105	9,5	+		+	—	—	
"Минора-1"	≥ 30	Тракторные	12,0	$D_{тр}/2 + 66$	195	4,0	+	АРНД	+	—	+	
СА-673	325		16,0	263	260	10,0	+		+	+	+	Могут быть изготовлены на другие диаметры
СА-675	442—476		20,0	342	260	10,6	+		+	+	+	
СА-670	828		20,0	546	260	12,0	+		+	+	+	

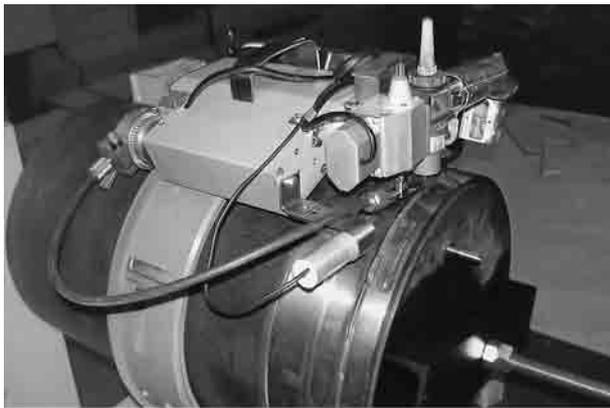
¹ "+" — имеется, "—" — отсутствует.



а)



б)



в)



г)

Оборудование для орбитальной аргодуговой сварки, выпускаемое филиалом ФГУП "Росатомстрой" — НИКИМТ: а—в — головка автомата ОДА-26М, ОДА-42-76П и СА-673 соответственно; г — аппаратура автомата СА-673 (источник, блок управления, ручной пульт, мониторы телевизионной системы)

каждый диаметр труб необходимо изготавливать отдельные кольцевые направляющие.

В настоящее время опытным производством НИКИМТа освоены и могут поставляться в необходимом количестве орбитальные трубосварочные автоматы (см. таблицу).

На базе накопленного опыта НИКИМТ в достаточно короткие сроки может разработать и поставлять орбитальные, в том числе и специализированные, автоматы в соответствии с требованием заказчика (см. рисунок).

Существенным аспектом не всегда успешной автоматизации орбитальной и других вариантов сварки в атомной отрасли является отсутствие регламентации использования сварочного оборудования при изготовлении, строительстве и ремонте изделий атомной техники. Применяется оборудование, не аттестованное в соответствии с требованиями отрасли, в частности оборудование, в том числе и импортное, не в полной мере отвечающее этим требованиям, и даже иногда самодельные устройства, что снижает надежность сварных соединений.

Причиной этого является отсутствие в настоящее время в отрасли системы аттестации оборудования, применяемого при сварке на объектах использования атомной энергии. Существующий РД 03-614-03 "Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов" "Ростехнадзора" целесообразно применять и в атомной отрасли при условии доработки данного РД с учетом отраслевых требований.

Чрезвычайно важны для успешного внедрения автоматизированной орбитальной сварки рациональная организация труда, оптимальная структура подразделений в монтажных организациях, подготовка сварщиков и специалистов. Опыт автоматизации сварки при монтаже показывает, что успех достигается при функционировании в службе главного сварщика специальной группы или лаборатории, занимающейся только автоматической сваркой. Эта группа должна включать сварщиков-операторов, звено наладчиков и ремонтников сварочного оборудования. При этом автоматизация наиболее рациональна при существенном количестве автоматического оборудования в подразделении.

НИКИМТ проводит подготовку и аттестацию сварщиков и ИТР по автоматической сварке, используя наработанный цикл лекций для сварщиков, электриков, ремонтников и ИТР применительно к монтажу и отдельно к ремонту объектов атомной техники с выдачей соответствующих документов.

Оснащение монтажных организаций отрасли качественным аттестованным сварочным оборудованием, рациональная организация производства и комплектование сварочных служб квалифицированным аттестованным персоналом позволят обеспечить гарантированную надежность сварных соединений трубопроводов новых строящихся атомных станций.

Гарантией надежности автоматической орбитальной сварки является многолетняя успешная эксплуатация объектов атомной энергетики и промышленности с сотнями тысяч сварных соединений труб, выполненных данным способом.

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук, **А. А. МОСКАЛЕНКО**, инж., **В. Г. ТЮКАЛОВ**, инж.,
В. А. КОВТУНЕНКО, канд. техн. наук
 (ИЭС им. Е. О. Патона),
Р. И. КУРАН, инж.
 (ОАО "Южтеплоэнергомонтаж", Киев),
Д. Ю. КУЗЬМЕНКО, инж.
 (ОАО "Міттал Стіл Кривий Ріг")

Опыт применения электрошлаковой сварки при монтаже металлургического оборудования

Для восстановления объектов народного хозяйства, разрушенных во время Великой Отечественной войны, требовалось в короткие сроки решить важную задачу механизации сварочных работ на монтаже, так как не хватало квалифицированных электросварщиков. Поэтому первоначальным назначением способа автоматической электрошлаковой сварки являлась именно монтажная сварка вертикальных швов, которая и была впервые применена при возведении кожуха доменной печи объемом 1050 м³ в 1949 г. на заводе "Запорожсталь".

В дальнейшем электрошлаковую сварку стали применять и в других отраслях производства и не только при монтаже, в частности, при производстве большегрузных конвертеров, различных технологических аппаратов для промышленных предприятий, водоводов и др.

В последние годы в Украине существенно возрос интерес к электрошлаковой сварке, так как ее широкое применение на монтаже позволяет перейти к индустриальным методам строительства и капитального ремонта промышленных объектов.

Так, например, на крупнейшей в Европе доменной печи ДП-9 (полезным объемом 5 тыс. м³) ОАО "Міттал Стіл Кривий Ріг", введенной в строй в 1974 г., в процессе непрерывной эксплуатации в тяжелых специфических условиях в конструкциях накопились деформации, дефекты и повреждения, потребовавшие замены ряда участков.

Для участков неохлаждаемой части кожуха вместо стали 16Г2АФ класса 440 повышенной прочности с нитридным упрочнением толщиной 40 и 45 мм был выбран листовой прокат из более технологичной качественной экономно-легированной малоперлитной стали повышенной прочности 06Г2Б (ТУ У 14-16-150 — 99), легированной микродобавками молибдена, ниобия, титана, алюминия. Сталь толщиной 45 мм имеет предел текучести не ниже 440 МПа.

В соответствии с проектом капитального ремонта первого разряда домны ДП-9 для самонесущего кожуха применена оригинальная технология, заключающаяся в замене пояса высотой 7 м, расположенного на высоте 30 м и состоящего из девяти укрупненных монтажных блоков, соединенных вертикальными стыками. Каждый монтажный блок собран из трех полотнищ. Сварные швы между блоками и полотнищами в блоках выполняли электрошлаковой сваркой.

Поскольку сталь 06Г2Б применяли в строительстве впервые, необходимо было выбрать способ электрошлаковой сварки, обеспечивающий требуемые свойства сварного соединения в монтажных условиях. Успешный опыт применения электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением высокопрочных сталей толщиной 40 мм [1—4] позволил рекомендовать данный способ для получения сварных соединений стали 06Г2Б повышенной прочности толщиной 45 мм. При сварке использовали сварочную проволоку Св-10НМА (ГОСТ 2246 — 70) диаметром 3 мм и сварочный флюс АН-8 (ГОСТ 9087 — 69).

Сварочный ток составлял 1200 ± 100 А, скорость сварки — 4 ± 0,5 м/ч, сварочный зазор — 24 мм.

Механические свойства сварного соединения стали 06Г2Б, выполненного электрошлаковой сваркой с сопутствующим охлаждением (табл. 1, 2), практически не уступают соответствующим свойствам основного металла. Макро- и микроструктурный анализы показали отсутствие дефектов структуры, пор, трещин, непроваров, опасных закалочных структур и достаточно равномерное распределение твердости по металлу шва, ЗТВ и основному металлу. В образцах металла сварного соединения, испытанных на статический изгиб (угол изгиба 145°), трещины отсутствовали.

Технологическая схема проведения ремонтных работ предусматривала размещение на монтажной площадке рядом с поддоменником спроектирован-

Таблица 1

Место вырезки образца	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Металл шва	$\frac{499,9—506,2}{503,5}$	$\frac{642,3—649,3}{645,5}$	$\frac{23,3—24,7}{24,2}$	$\frac{78,1—78,2}{78,2}$
Основной металл	$\frac{428,8—453,8}{436,2}$	$\frac{560,0—572,5}{565,9}$	$\frac{28,0—34,0}{30,9}$	$\frac{83,8—86,5}{84,7}$
Сварное соединение	—	$\frac{552,2—557,4}{554,8}$	—	—

Примечание. В числителе приведены предельные значения, в знаменателе — среднее.

Таблица 2

Месторасположение разреза	Ударная вязкость KCU , Дж/см ² , при T , °С	
	20	-40
Шов	$\frac{215,1—266,8}{236,5}$	$\frac{90,5—161,1}{131,6}$
2,5 мм от линии сплавления	$\frac{272,6—360,0}{330,9}$	$\frac{63,7—261,6}{175,1}$
5 мм от линии сплавления Основной металл	$\frac{360,0—360,0}{360,0}$	

Примечание — см. табл. 1.

ного и изготовленного в ОАО "Миттал Стіл Кривий Ріг" специализированного стенда для электрошлаковой сварки укрупняемых монтажных блоков (рис. 1). На кожухе доменной печи из пояса, подлежащего замене, вырезали фрагмент. Точность реза обеспечивали посредством применения механизированной резки машинным газокислородным резаком, установленным на тележке сварочного аппарата.

На месте вырезанного фрагмента устанавливали соответствующий укрупненный блок, фиксировали его с помощью сборочных приспособлений и выполняли сварку верхнего и нижнего горизонтальных швов. Затем вырезали следующий фрагмент, устанавливали другой укрупненный блок, выполняли электрошлаковую сварку вертикального шва, соединяющего оба установленных монтажных блока. Далее производили сварку верхнего и нижнего швов, соединяющих второй укрупненный блок с кожухом. В таком порядке монтировали все девять укрупненных блоков и электрошлаковой сваркой выполняли все девять вертикальных швов.

Каждый укрупненный монтажный блок и демонтируемый элемент кожуха транспортировали монтажным краном через вертикальную купольную

часть печи. Технологическая схема предусматривала перемещение сварочного аппарата по внутренней поверхности корпуса. Причем направляющую рейку-уголок аппарата устанавливали на уже вваренном монтажном блоке. Сборочный зазор под электрошлаковую сварку между монтажными блоками фиксировали сборочными скобами, установленными с наружной стороны корпуса. Сварочный аппарат, источники питания, кассеты со сварочной проволокой размещали на подвесной площадке рядом со сварным швом внутри корпуса домны.

В процессе электрошлаковой сварки могут иметь место технологические дефекты. Как правило, их возникновение связано с прерыванием подачи электроэнергии. Технология исправления дефектов предусматривает ремонт участков сварного шва, имеющего протяженные и точечные дефекты. Разработаны технологические инструкции, регламентирующие методы удаления дефектов, подготовку кромок, порядок выполнения работ, требования к персоналу и контролю.

Качество всех сварных швов контролировали визуально-оптическим и ультразвуковым методами контроля в объеме 100 %. Места остановки и пересечения сварных швов дополнительно контролировали гаммаграфированием. Перед пуском печи в работу, согласно требованиям СНиП III-18—75, проводили испытания самонесущего кожуха на прочность и плотность.

Таким образом, все вертикальные укрупнительные и монтажные стыки выполняли скоростной электрошлаковой сваркой с дополнительным сопутствующим охлаждением. Суммарная протяженность швов составляла 140 м — примерно 60 % массы всего металла, наплавленного различными способами сварки при ремонте кожуха.

Благодаря строгому соблюдению разработанной технологии в запланированные сроки осуществлена уникальная операция по замене отслужив-

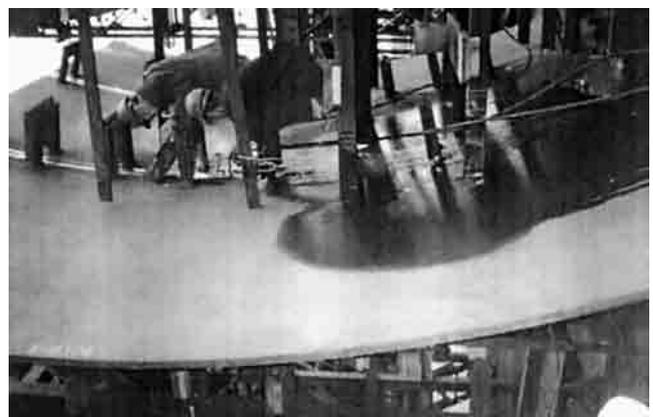


Рис. 1. Электрошлаковая сварка укрупненных монтажных блоков корпуса доменной печи на специализированном стенде

шего срок металла пояса кожуха домы новой высокопрочной экономнолегированной сталью 06Г2Б.

В дальнейшем способ электрошлаковой сварки был также успешно применен специалистами ОАО "Міттал Стіл Кривий Ріг" для выполнения монтажных стыков корпусов конвертеров.

Корпус конвертера состоит из двух цилиндрических обечайек с толщиной стенки 80—100 мм, высотой 1600—2000 мм. Верхняя цилиндрическая обечайка дополнена конической обечайкой высотой 1600 мм с толщиной стенки 70 мм, нижняя — сферической — обечайкой высотой 1600 мм с толщиной стенки 60 мм. На верхней конической обечайке располагается горловина.

Типовая технологическая схема изготовления корпуса конвертера предусматривает отгрузку заводом-изготовителем отдельных транспортируемых частей с последующей их сборкой и сваркой у заказчика. Обычно корпус конвертера делится на четыре лепестка нижнего пояса, сваренных из четвертинок нижней цилиндрической обечайки с четвертинками сферической обечайки, и на четыре лепестка верхнего пояса, сваренных из четвертинок верхней цилиндрической обечайки с четвертинками конической обечайки. Отдельно поставляется горловина, разделенная на две половины. На месте монтажа отдельные части собирают в соответствии с чертежами и сваривают ручной дуговой сваркой.

Технологическая схема изготовления корпуса конвертера электрошлаковой сваркой предполагает, что корпус поставляется заводом-изготовителем такими же частями. Монтажные стыки верхнего пояса, как цилиндрической, так и конической обечайки, и цилиндрической обечайки нижнего пояса выполняют автоматической однопроходной электрошлаковой сваркой. При этом необходимо придать стыку вертикальное положение и создать параллельную разделку кромок с заданным зазором (порядка 26—30 мм) газокислородной резкой. Стыки собирают и фиксируют на П-образных скобах. Электрошлаковую сварку выполняют монтажным аппаратом АД 381Ш. Его тележку при необходимости применяют и для газокислородной резки при выполнении сборочного зазора. Скорость сварки для низколегированных сталей толщиной 70—100 мм обычно составляет 1,0—2,0 м/ч.

Можно применить электрошлаковую сварку также для выполнения кольцевого шва, соединяющего цилиндрические обечайки верхнего и нижнего поясов, если имеется возможность вращения корпуса конвертера вокруг оси в горизонтальном положении.

Электрошлаковую сварку также можно применять и при изготовлении опорного кольца конвертера.

Ниже приведен пример применения электрошлаковой сварки при сооружении корпуса доменной печи № 5 (емкостью 1513 м³ и годовой про-

изводительностью 1,05 млн т в год) на Енакиевском металлургическом заводе.

Для изготовления сварных конструкций корпуса печи применяли не склонную к отпускной хрупкости конструкционную низколегированную сталь 09Г2С толщиной 40—50 мм. Предусматривалось горизонтальное расположение листов обечайек корпуса печи с взаимным смещением вертикальных стыков в каждом поясе. Ввиду большого объема сварочных работ потребовалась их максимальная механизация. При таком расположении листов металла толщиной 40—50 мм вертикальные стыки поясов, объем которых составлял 20 % общей протяженности швов корпуса доменной печи, было решено выполнять электрошлаковой сваркой.

Для предотвращения отрицательного влияния разупрочнения электрошлаковая сварка стали 09Г2С без последующей высокотемпературной термической обработки возможна только при условии регулирования термического цикла посредством сопутствующего принудительного охлаждения шва и ЗТВ при соответствующей скорости сварки [4, 5].

Данные механических испытаний контрольных сварных соединений приведены в табл. 3. Ударную вязкость металла сварного соединения определяли на образцах с круглым надрезом по Менаже при температуре 20 °С. Согласно требованиям СНиП III-18-75, ее значение должно быть не ниже 60 Дж/см². На расстоянии 2,5 мм от линии сплавления ударная вязкость составляла 158—236 Дж/см², а на расстоянии 5 мм — 193—324 Дж/см².

Исследования макро- и микроструктуры показали отсутствие в сечении сварного соединения неметаллических включений, пор, трещин, непроваров. Структура основного металла, металла шва и ЗТВ представляет ферритно-перлитную смесь с определенным количеством бейнита в металле шва и ОШЗ.

Как показали результаты исследований, свойства сварных соединений, выполненных электро-

Таблица 3

Место вырезки образца	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Металл шва	<u>423,1—447,8</u> 433,6	<u>568,7—603,7</u> 584,1	—	<u>70,4—71,6</u> 71,2
Основной металл	<u>306,5—384,0</u> 335,9	<u>495,3—579,5</u> 523,4	<u>25,3—34,3</u> 31,1	<u>68,2—72,1</u> 70,6
Сварное соединение	—	479,6	—	—
Примечание — см. табл. 1.				

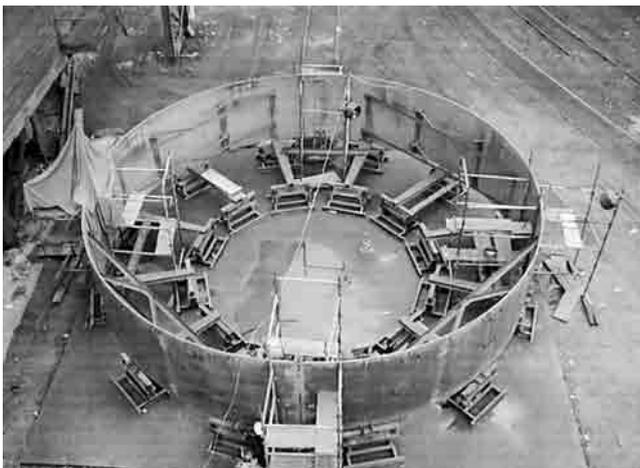


Рис. 2. Стенд для сборки и сварки обечаек корпуса доменной печи

шлаковой сваркой по предложенной технологии, соответствуют требованиям СНиП III-18—75.

Обечайки поясов корпуса печи изготовляли непосредственно на монтажной площадке. К точности геометрических размеров сварных соединений предъявлялись высокие требования, так как именно при выполнении продольных швов обечаек задавался диаметр корпуса печи. Требуемых результатов достигали применением метода дозированного противодействия, суть которого заключается в создании воспроизводимых условий закрепления, что обеспечивает практически постоянный противодействующий момент от собственной массы изделия. Сборку листов кожуха доменной печи в монтажные обечайки и электрошлаковую сварку производили на специальном горизонтальном стенде, расположенном на строительной площадке рядом с возводимым корпусом домны (рис. 2).

Для компенсации деформаций, возникающих при электрошлаковой сварке, вертикальные стыки обечаек собирали с неравномерным зазором, увеличивающимся кверху. В нижней части стыка зазор составлял 25 мм. Зазор в верхней части зависел от высоты собираемых элементов (например для высоты обечайки 2614 мм она составила 48 мм). По всей высоте собранного соединения с наружной стороны обечайки устанавливали фиксирующие скобы. Шаг установки скоб составлял 500—600 мм.

Обечайку корпуса печи собирали из четырех секторов, с одной стороны одного из них был монтажный припуск 200 мм. Стык № 2 располагался диаметрально противоположно стыку № 1, а стык № 4 — диаметрально противоположно стыку № 3. После сборки стыка № 1 с подгонкой неравномерного зазора под сварку в зависимости от высоты обечайки стыки № 2 и 3 собирали с постоянным зазором 25 мм по всей высоте и фиксировали уста-

новкой технологических планок. Стык № 4 с монтажным припуском собирали и фиксировали внахлестку с обеспечением параллельности кромок.

После выполнения электрошлаковой сварки стыка № 1 требуемую величину сборочного зазора на стыке № 2 обеспечивали путем увеличения его ширины в верхней части обечайки. Затем после выполнения сварки второго стыка аналогично производили сборку и сварку стыка № 3. Перед сборкой под электрошлаковую сварку стыка № 4 производили замер длины окружности обечайки в верхней и нижней частях. Их величины сравнивали с проектными значениями, после чего определяли обрезаемый припуск.

Сварку выполняли двумя электродными проволоками Св-10Г2 диаметром 3 мм с использованием флюса АН-8М на следующих режимах: скорость сварки 4 м/ч; скорость подачи электродной проволоки 280—350 м/ч; сварочное напряжение 40 В.

Суммарная протяженность швов, выполненных электрошлаковой сваркой для соединения корпуса домны, составила 160 м (общая — 600 м). При использовании промышленных методов строительства и соответствующем проектировании возможно увеличение объемов применения электрошлаковой сварки до 45—50 %.

Разработан специальный монтажный аппарат нового поколения для электрошлаковой сварки прямолинейных и криволинейных швов металла толщиной 30—100 мм АД-381Ш (рис. 3). Аппарат

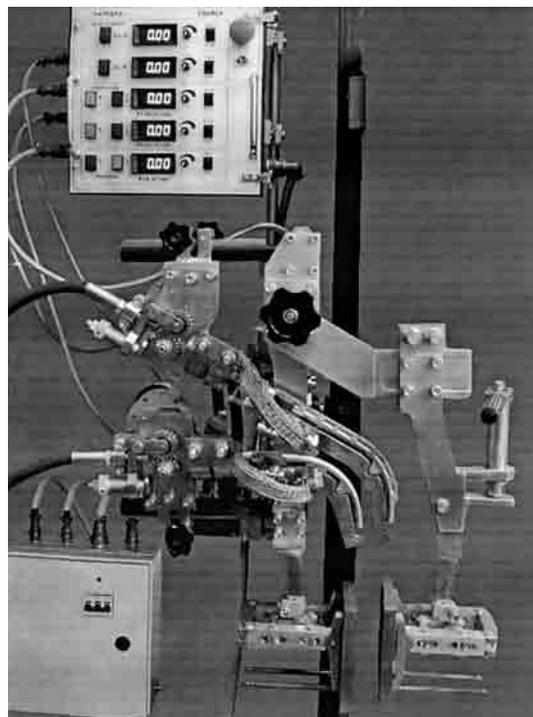


Рис. 3. Двухэлектродный монтажный аппарат нового поколения АД-381 для электрошлаковой сварки

состоит из четырех модулей, быстро монтируемых без дополнительных инструментов с помощью ключа-трещотки, что значительно сокращает подготовительно-заключительное время выполнения шва. Он снабжен двумя подающими механизмами для проволок диаметром 2—4 мм при раздельном независимом регулировании скорости подачи каждой из них. Блок управления аппарата оснащен цифровыми индикаторами скорости сварки и подачи каждого электрода, а также напряжения сварки на каждом электроде. Направляющей служит прокатный стальной уголок сечением 50×50×5 мм. Ходовая тележка аппарата, перемещаясь по направляющей, служит также ходовым механизмом как для газокислородного резака при подготовке стыков под сварку, так и для устройств, обеспечивающих последующую обработку сварного соединения.

Электрошлаковая сварка характеризуется высокой устойчивостью процесса. Полная автоматизация способствует получению сварных соединений стабильно повторяемого высокого качества, существенно уменьшает влияние человеческого фактора.

Значительным преимуществом электрошлаковой сварки является ее производительность. Традиционно сварка вертикальных швов на монтаже выполняется ручным методом с применением электродов УОНИ-13/55 или ДСК-50. При двухсторонней разделке кромок на сварку 1 м шва с толщиной стенки 50 мм, учитывая необходимость послышной зачистки, затрачивается до 14—16 чел.-ч. Так как высота собираемых обечайек корпуса доменной ограничивается из-за ширины проката до 2 м, то двухстороннюю сварку одного вертикального шва одновременно могут выполнять не более двух сварщиков. Учитывая эти условия, сварку одной обечайки, содержащей четыре вертикальных шва длиной по 2 м, можно выполнять ручной дуговой сваркой за 16 ч при условии одновременной работы восьми сварщиков и двух слесарей. Применение электрошлаковой сварки одним аппаратом в этом случае ускоряет процесс сварки одной обечайки в 2 раза, а трудоемкость ее изготовления снижается в 8 раз при условии обслуживания установки двумя операторами.

Большие трудозатраты занимает послышная зачистка при ручной дуговой сварке и механическая обработка выпуклости шва и ОШЗ для проведения неразрушающего контроля. Шов, выполненный

электрошлаковой сваркой, имеет правильную геометрическую форму и не требует дополнительной обработки.

Немаловажное значение в настоящее время имеет дефицит сварщиков высокой квалификации. Подготовка и аттестация сварщиков требуют значительных затрат времени и средств. Для электрошлаковой сварки требуется в несколько раз меньшее число сварщиков, причем более низкой квалификации.

ВЫВОДЫ

1. При электрошлаковой сварке отсутствуют повышенные требования к подготовке кромок: разделка без скоса кромок может быть осуществлена в монтажных условиях.

2. Практика применения электрошлаковой сварки на монтаже показала, что электрошлаковая сварка вертикальных швов кожуха доменной печи не является сдерживающим фактором в технологической схеме изготовления и ремонта корпусов доменных печей.

3. Электрошлаковая сварка как автоматический способ сварки обеспечивает гарантированную повторяемость качества сварного соединения и практически исключает влияние человеческого фактора на качество и производительность.

4. Электрошлаковая сварка, отличающаяся высокой производительностью и экономичностью, наиболее эффективна для выполнения протяженных вертикальных стыковых соединений металла толщиной 30—60 мм, особенно при монтаже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сварка высокопрочной стали 12ГН2МФАЮ* / В. Ф. Мусияченко, Б. С. Касаткин, Л. И. Миходуй и др. // Автоматическая сварка. 1982. № 5. С. 47—50.
2. *Выбор режима охлаждения при электрошлаковой сварке стали 14Х2ГМР* / И. И. Сузук-Слюсаренко, В. М. Хрундже и др. // Автоматическая сварка. 1978. № 7. С. 43—45.
3. *Электрошлаковая сварка стали 12ГН2МФАЮ толщиной 40 мм* / И. И. Сузук-Слюсаренко, А. А. Москаленко, В. М. Хрундже, В. Г. Тюкалов // Автоматическая сварка. 1983. № 11. С. 58—59.
4. *Хакимов А. Н.* Электрошлаковая сварка с регулированием термических циклов. М.: Машиностроение, 1984. 208 с.
5. *Лифшиц Л. С., Хакимов А. Н.* Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение, 1989. С. 336.
6. *Ковалев В. Д.* Автомат АД-381 для электрошлаковой сварки с принудительным формированием вертикальных стыков // Сварщик. 2003. № 4. С. 3.

Е. Н. ВЕРЕЩАГО, канд. техн. наук, **В. Ф. КВАСНИЦКИЙ**, д-р техн. наук,
В. И. КОСТЮЧЕНКО, аспирант
Национальный университет кораблестроения (г. Николаев)

Квазирезонансный источник питания PLASMA 110i HF для плазменной резки¹

В настоящее время воздушноплазменная резка является наиболее эффективным способом разделительной резки практически всех токопроводящих металлов: высоколегированных, инструментальных, конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов и др. Плазменная резка значительно превосходит по скорости газокислородную для толщины металла до 35 мм, а в сочетании с высокоскоростными машинами с программным управлением становится основным способом разделки металлов в судостроении и машиностроении. Эти обстоятельства, а также универсальность способа плазменной резки способствовали его бурному развитию в последние десятилетия.

Подавляющее большинство источников питания мощных плазмотронов выполнено на основе управляемого тиристорного выпрямителя со схемой плавного регулирования и стабилизацией выходного тока. Основные проблемы эксплуатации таких установок, отличающихся простотой схемных решений, связаны со значительными массой и габаритными размерами электрооборудования (объемные понижающий трансформатор и выходной фильтр), низким КПД и весьма низким коэффициентом мощности (КМ), низкими динамическими свойствами, невозможностью улучшения технологических процессов и эксплуатационных показателей оборудования, недопустимо большими искажениями

входных токов, ограниченным диапазоном регулирования и противоречивыми требованиями к выбору индуктивности выходного дросселя [1—3]. Так, для снижения уровня пульсаций выходного тока необходимо увеличивать индуктивность, но большие значения индуктивности усложняют процесс возбуждения дугового разряда [2].

Эти недостатки могут быть устранены (в комплексе) только в источниках питания, построенных на основе транзисторных регуляторов с высокочастотной импульсной модуляцией. Одним из приоритетных направлений развития плазменных технологий в сварочной и смежных с ней отраслях на ближайшее десятилетие является создание малогабаритных и экономичных источников тока, построенных на инверторных преобразователях. Инверторные источники питания имеют существенно меньшие по сравнению с традиционными габаритные размеры и массу; более высокие КПД и КМ; высокие динамические характеристики и расширенные функциональные возможности, включая возможность формирования ВАХ любой сложности.

Анализ состояния рынка плазменного оборудования показывает, что зарубежные фирмы широко практикуют замену тиристорных источников питания преобразователями с высокочастотной импульсной модуляцией. Их высокая эффективность и быстрое действие, возможность адаптации служат основой для создания специализированных устройств электропитания, максимально

учитывающих специфические требования технологических нагрузок, таких как воздушные плазмотроны [1, 3].

В последние годы на рынке силовой преобразовательной техники, применяемой в инверторных аппаратах для сварочных технологий, сформировался устойчивый спрос на преобразователи с высокой объемной плотностью энергии. Это побуждает к внедрению более эффективных топологий преобразователей, критериями которых помимо объемной плотности энергии выступают КПД, КМ (максимизация производительности и минимизация удельных затрат электроэнергии), надежность, ресурс работы, цена, электромагнитная совместимость установок с энергетическими системами (сетью), уровень создаваемых ими помех в эфире и др. При этом два последних требования являются одними из самых сложных и важнейших задач, которые вынуждены решать производители и разработчики современных систем [2—4]. Требования по электромагнитной совместимости ужесточаются с возрастанием единичной мощности преобразователей.

Цель данной работы — разработка системы электропитания нового типа для технологической установки плазменной резки. При разработке кроме основных показателей качества учитывали и другие, которые нельзя отнести к малозначимым или вспомогательным.

Главным требованием к устройствам электропитания плазмотронов является обеспечение устойчивости дугового разряда

¹ Разработка выполнена при финансировании МОН Украины.

при воздействии на дуговой промежуток совокупности дестабилизирующих факторов. Электрическая дуга, как известно, обладает существенно нелинейными и нестационарными характеристиками. Одна из основных причин нестационарности — шунтирование дуги [3]. Это приводит к появлению флуктуаций напряжения на плазмотроне, частота которых составляет 1—10 кГц, а размах пульсаций может составлять 40—60 % его среднего значения. В этом случае устойчивость дуги может быть достигнута не просто при положительном, но и сравнительно большом значении коэффициента устойчивости системы источник питания — дуга (ИП—Д):

$$K_y = \left| \frac{\partial U_{и}}{\partial I} \right| - \left| \frac{\partial U_{д}}{\partial I} \right| > A \gg 0,$$

где $U_{и}$, $U_{д}$ — напряжение источника и дуги соответственно; I — ток; A — конечная величина, зависящая от условий горения дуги.

Дифференциальное сопротивление источника при этом должна быть не ниже

$$|\rho_{и}| = \left| \frac{\partial U_{и}}{\partial I} \right| = 5 \text{ В/А.}$$

Помимо статической устойчивости необходимо выделить еще динамическую, пространственную и технологическую [2, 3]. Динамическая устойчивость определяется из уравнения электрического равновесия системы ИП—Д и обусловлена непрерывностью тока дуги, обеспечиваемой оптимальной величиной индуктивности сглаживающего дросселя и отсутствием автоколебаний тока дуги.

При повышенной плотности в канале сопла плазмотрона появляется опасность нарушения пространственной устойчивости дуги [3]. Условие пространственной устойчивости

$$E_c I_c < U_{пр},$$

где E_c — напряженность в канале сопла; I_c — длина канала сопла;

$U_{пр}$ — напряжение пробоя проложки газа, изолирующей внутреннюю поверхность канала сопла от столба дуги.

При оптимальных плотности тока j_c и соотношении I_c/d_c (где d_c — диаметр сопла) пространственная устойчивость обеспечивается плавным или ступенчатым нарастанием тока дуги I_d в начале процесса резки.

Требование технологической устойчивости системы ИП—Д при плазменной резке обусловлено существенным ухудшением ее режущих свойств в случае чрезмерной пологости ВАХ источника [3].

Таким образом, для получения качественного реза (устранения ряда качественных недостатков плазменно-дуговой резки) и сокращения расхода электроэнергии необходимо применять жестко стабилизированную дугу (с высокими плотностью мощности и скоростью плазмы) возможно малого диаметра.

В качестве внешней ВАХ источника питания выбирали из условия энергетической устойчивости дуги и получения качественного реза оптимальную комбинацию характеристик, содержащую два участка: пологопадающий или жесткий по току при коротких дугах и возрастающий или пологовозрастающий при средних и длинных дугах. Решение всех этих проблем потребовало применения новых технических подходов.

Учитывая изложенное, в работе выбрано применение в системах управления мощных плазмотронов новых мостовых преобразователей с транзисторными квазирезонансными инверторами напряжения с фазовым управлением, обеспечивающих мягкое переключение транзисторов [4, 5]. Замена обычных ключей в преобразователе с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) резонансными ключами обеспечивает контролируемое соотношение du/dt . Квазирезонансные типовые преобразователи постоянного напря-

жения (DC—DC) обладают рядом неоспоримых преимуществ: позволяют реализовать переключение транзисторов на "нуле напряжения" (ПНН), снизить требования по электромагнитной совместимости. Выгода в первую очередь заключается в устранении половины и более рабочих потерь в мощных MOSFET-транзисторах и возможности увеличения рабочей частоты источника электропитания с сопутствующим уменьшением размеров и массы силового трансформатора и дросселей и увеличением КПД на несколько процентов. Это позволяет использовать их в преобразователях и системах электропитания различного назначения. Известно несколько основных топологий ПНН, отличающихся главным образом построением вторичной стороны преобразователя: с однополупериодным и двухполупериодным выпрямителем; сглаживающим фильтром C и LC ; с двумя трансформаторами; с интегрированным магнитным элементом [2].

Недостатки типового ПНН обнаруживаются при его работе в широких диапазонах входного напряжения и тока нагрузки. Эти недостатки значительны, и они сужают возможные области применения ПНН, ухудшают надежность и не позволяют увеличить удельную мощность источника питания [4, 5].

В работе [5] предложено решение, направленное на улучшение работы ПНН. Фрагмент электрической схемы силовой части усовершенствованного ПНН с адаптивной структурой применительно к преобразователю с двухполупериодным выпрямителем и L -фильтром для случая работы на дуговую нагрузку — с выходным током, изменяющимся в широких пределах, приведен на рис. 1. Силовой каскад содержит сетевой выпрямитель с емкостным фильтром и однофазный инвертор на транзисторах $S1$ — $S4$ с формирующими конденсаторами

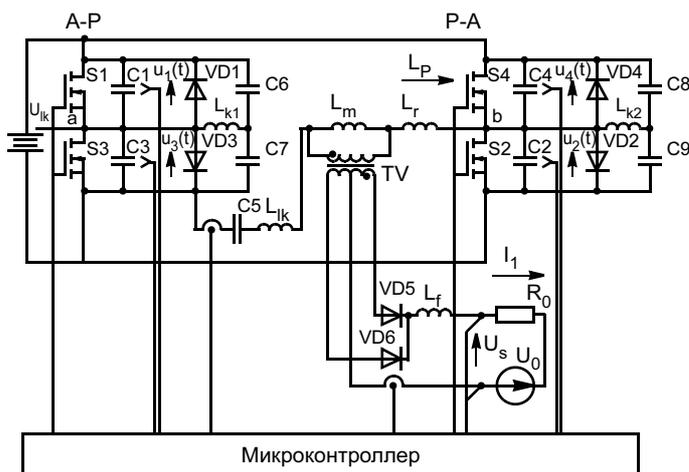


Рис. 1. Схема силовой части разработанного источника питания

С1—С4 и формирующим дросселем L_{jk} в диагонали переменного тока. Для расширения ПНН-диапазона без свойственной типовому конвертору потери в рабочем цикле D введены дополнительные LCC-контуры. Вспомогательные LCC-цепи состоят из емкостного делителя напряжения С6, С7 (С8, С9) и индукторов L_{k1} (L_{k2}), подключенных между средней точкой делителя напряжения и средней точкой фазы (участка) А—Р (Р—А), как показано на рис. 1. При этом, когда, например, ключ S2 находится в проводящем состоянии, напряжение на обмотке дросселя L_{k2} имеет положительную полярность $U_{in}/2$, напротив, когда S4 находится в проводящем состоянии, напряжение на обмотке дросселя изменяет полярность. Этот факт вынуждает осциллировать ток в дополнительном дросселе, причем последний достигает своего макси-

муму в момент смены Р—А на А—Р и наоборот. Это усиливает ток в первичной обмотке в течение перехода, например от пассивного режима к активному, и, таким образом, увеличивает располагаемую энергию для расширения ПНН-диапазона.

Система управления преобразователем выполнена на основе микропроцессора АТмега 16 [6, 7]. Кроме повышения точности работы технологического агрегата новая топология силовой части с микропроцессорным управлением значительно повышает (на 15—20 %) точность и качество вырезаемых заготовок, регламентируемые ГОСТ 14792—80 (EN 60791-1) и аналогичными стандартами Германии, Франции и других стран. Сокращает не менее чем в 2 раза расход быстрознашивающихся деталей плазмотронов, обеспечивает автодиагностику состояния и защиту всего управляемого комплекса, цифровую индикацию действительных и заданного значений тока и напряжения дуги и сопряжения с ЭВМ верхнего уровня. Сигналы на силовые ключи поступают через оптронную развязку.

На основе электрической схемы силовой части (см. рис. 1) разработан новый инверторный источник питания мощного воздушного плазмотрона и начато освоение его промышленного



Рис. 2. Внешний вид источника питания

производства. Опытные образцы источника питания прошли длительные испытания на машинах термической резки компании "УКРТЕРММАШ". На рис. 2 приведен внешний вид разработанного транзисторного источника питания PLASMA 110i HF, а его основные технические характеристики — в таблице. Удельная мощность выпрямителя составила 150 Вт/дм^3 , частота переключения транзисторов DC—DC — 40 кГц.

Экспериментальные исследования взаимодействия регуля-

Параметр	Значение
Ток, А	20—100
Напряжение, В	108—120
Напряжение холостого хода (максимальное), В	250
Установка тока	Плавная
Тип характеристики СС	Падающая
Ток (40 °С), А, при ПВ, %:	
100	70/108 В
70	100/120 В
Напряжение питания, В	3 ~ 400
Отклонение напряжения питания, %	±10
Частота питающей сети, Гц	50
Сечение кабеля питания, мм	4 × 4,0
Разъем питания	CEE 32
Предохранитель питания, А	32 (инертный)
Потребляемый ток I_1 , А, при ПВ, %:	
100	26
70	32,5
Потребляемый ток I_{1max} , А	44
Потребляемая мощность S_1 , кВт · А, при ПВ, %:	
100	15,9
60	
Потребляемая мощность S_{1max} , кВт · А	20,0
Коэффициент мощности	0,99
Вид защиты (по EN 60529)	IP23
Класс изоляции	F (155 °С)
Класс охлаждения	F
Уровень шума, дБ	<70
Габаритные размеры, мм	710×285×485
Масса, кг	29
Давление воздуха, бар	5,5—7,0
Расход воздуха (зависит от применяемого резака), л/мин	200
Максимальная толщина металла, мм:	
сталь	32/37
алюминий	22/27
коррозионно-стойкая сталь	24/30

Примечание. В числителе приведены данные для качественной резки, в знаменателе — для разделительной.

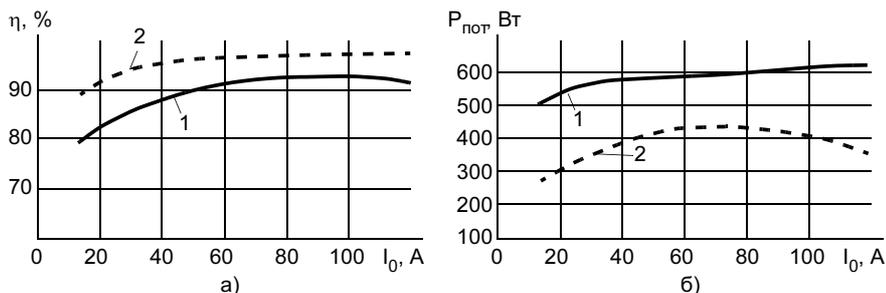


Рис. 3. Зависимость кпд и потерь мощности от тока нагрузки в транзисторах разработанного и стандартного ПНН-преобразователя

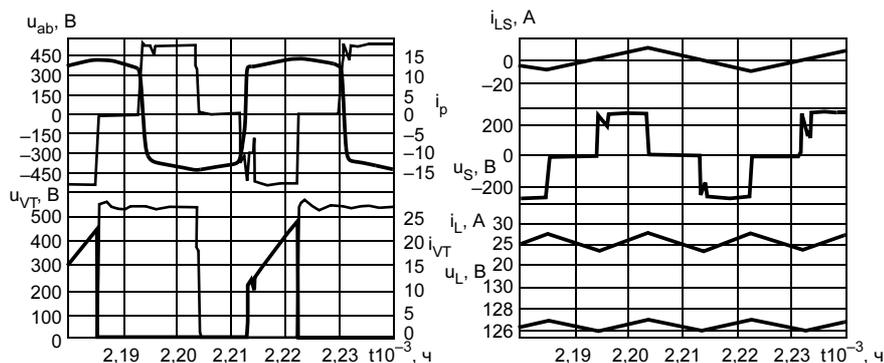


Рис. 4. Временные диаграммы тока и напряжения разработанного ПНН-преобразователя

тора тока с реальной технологической нагрузкой показали, что переход на высокую частоту преобразования обеспечивает устойчивость дугового разряда при индуктивности выходной цепи не более 300 мкГн. Малая инерционность регулятора обеспечивает быстрое нарастание тока при возбуждении дугового разряда, а высокая крутизна участка токоограничения (свыше 40 В/А) — снижение флуктуаций тока при изменении скорости воздушного потока.

На рис. 3 приведены зависимости кпд (а) и потерь мощности (б) от тока нагрузки для традиционного (кривая 1) и разработанного (2) преобразователей. Видно, что кпд нового преобразователя составляет 91—95 % при нагрузке от 20 % до номинальной, выходном напряжении 120 В и напряжении сети 380 В, а потери в типовом преобразователе выше во всем диапазоне регулирования тока.

На рис. 4 приведены диаграммы, отражающие процесс коммутации в инверторе. Видно насколько эффективным является

применение новой топологии: при любых значениях тока нагрузки и уровня входного напряжения включение и выключение транзисторов происходит практически без потерь. При этом имеет место полный обмен зарядами снабберных конденсаторов С1—С4.

Модифицированный модуль в составе квазирезонансного преобразователя для питания плазмотрона в режиме ПНН обеспечил снижение на 15—25 дБ радиопомех, создаваемых при работе аппарата на различных режимах работы, по сравнению со стандартным ПНН-преобразователем, причем относительный уровень напряжения генерируемых радио-

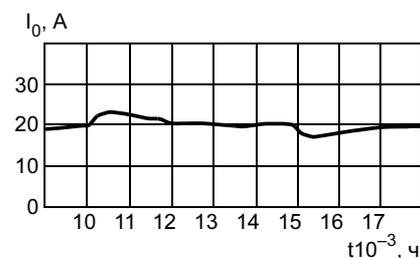


Рис. 5. Переходные процессы в системе "в большом" ($R_n = 5 \text{ Ом}$, $R_{n1} = 5 \text{ Ом}$, $I = 20 \text{ А}$)

помех во всем диапазоне частот не превышал нормативный в соответствии с ГОСТ 13821—77. Этому способствовали отсутствие влияния тока обратного восстановления антипараллельных диодов и меньший уровень du/dt , характерные для данного применения. Дополнительное улучшение спектрального состава удаётся достичь при использовании снабберных конденсаторов большей емкости.

Для анализа динамических свойств регулятора тока рассматривали процессы, происходящие в системе при скачкообразных изменениях нагрузки. Результаты моделирования переходного процесса "в большом" в системе с оптимизированным регулятором [5, 6] приведены на рис. 5. В стабилизированном преобразователе тока обеспечены заданная статическая точность системы, устойчивость и желаемый аperiodический характер процесса спада-накопления выходного тока при скачках нагрузки. Параметры переходного процесса: максимальное перерегулирование $\Delta I_{0max} = 4 \text{ А}$, длительность процесса $t_n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Из сравнения основных характеристик видно, что применение новой топологии силовой части в качестве звена промежуточной частоты для питания плазмотрона эффективно и перспективно.

В настоящее время разработаны и изготовлены малыми сериями источники питания для плазмотронов на ток 10—200 А. В промышленной эксплуатации находится ряд установок различной мощности, часть из которых успешно эксплуатируется более трех лет.

ВЫВОДЫ

1. Новая структура силовой части и схема управления в источниках питания плазменной дуги, максимально учитывающие особенности технологической нагрузки, обеспечивают низкие ком-

мутационные потери и низкие перегрузки в ключевых элементах, уменьшение уровня электромагнитных помех и отсутствие дополнительного акустического шума, более высокий уровень удельной мощности и высокую эффективность работы инвертора в широком диапазоне изменения тока нагрузки.

2. Применение дополнительных мер позволяет разработанному преобразователю напряжения успешно конкурировать с лучшими отечественными и зарубежными аналогами.

3. Экспериментальные исследования показали возможность улучшения технологических процессов и эксплуатационных показателей оборудования за счет применения источников питания нового поколения для плазменной резки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. С. Перспективы совершенствования источников питания для сварки и резки // Сварочное производство. 1995. № 5. С. 32—33.
2. Схемотехника инверторных источников питания для дуговой сварки: Учебное пособие / Е. Н. Верещаго, В. Ф. Квасницкий, Л. Н. Мирошниченко, И. В. Пентегов. Николаев: УГМТУ, 2000. 283 с.

3. Эсибян Э. М. Воздушно-плазменная резка: состояние и перспективы // Автоматическая сварка. 2000. № 12. С. 6—16, 20.

4. Верещаго Е. Н., Фельдшер И. Ф., Костюченко В. И. Новый источник питания для плазменной обработки деталей // Вестник двигателестроения. 2006. № 4. С. 16—19.

5. Верещаго Е. Н., Квасницкий В. Ф., Явишев Д. И. Источник питания сварочной дуги на основе ZVS-схемы // Техническая электродинамика. 2005. № 6. С. 24—28.

6. Верещаго Е. Н., Ковалев В. В. Оптимизация процессов в инверторных источниках питания для дуговой сварки // Сварочное производство. 2001. № 5. С. 14—16.

7. Микропроцессорный регулятор источника питания сварочной дуги / Е. Н. Верещаго, В. Ф. Квасницкий, В. В. Сатановский и др. // Сварочное производство. 1999. № 3. С. 39—42.

УДК 621.791.3

**В. В. ЖУРАВЛЕВ, д-р техн. наук
ВНИИАЛМАЗ**

Особенности пайки алмазных резцов

Эффективность использования однокристалльного алмазного инструмента в значительной степени определяется надежностью крепления алмаза к корпусу. В отличие от пайки металлов при пайке алмаза необходимо учитывать большую разницу в температурных коэффициентах линейного расширения алмаза и материала державки, специфику смачиваемости алмаза расплавом припоя, относительно низкую температуру начала графитизации алмаза (около 800 °С), анизотропию твердости алмаза в зависимости от формы кристалла и ориентации его граней при механической обработке (а следовательно, различной конечной шероховатости поверхности алмаза под пайку).

В данной работе на столбиках с поперечным сечением 2×3 мм, вырезанных из алмазов октаэдрической и ромбододекаэдрической формы, проводили исследования обрабатываемости плоскости алмаза в зависимости от усилия прижима столбика к ограничителю

диску, зависимости параметра шероховатости полученной поверхности от удельной интенсивности шлифования, а также зависимости силы среза напаянного кристалла от параметра шероховатости обработанной поверхности.

Огранку торцев столбика алмаза проводили на чугунном диске, шаржированном алмазным порошком АМ-40/28, при скорости $v = 35$ м/с в течение 40 мин, поворачивая столбик алмаза на 90° через каждые 10 мин обработки.

Удельная интенсивность шлифования

$$q = Q/St,$$

где Q — съем алмаза, мг; S — площадь торцевой грани столбика, мм²; t — время шлифования, мин.

Съем алмаза определяли взвешиванием на каратных весах Tettler.

На рис. 1 приведены зависимости параметра шероховатости обработанной поверхности торца столбика алмаза, вырезанного из

алмазов октаэдрической и ромбододекаэдрической формы, от удельной интенсивности шлифования и давления на алмазный столбик при обработке. Видно,

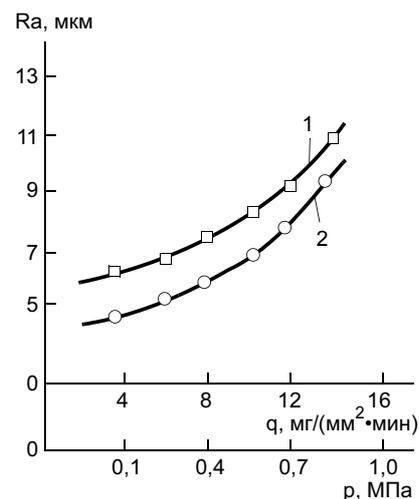


Рис. 1. Зависимость параметра шероховатости обработанной поверхности торца столбика алмаза от удельной интенсивности шлифования и нагрузки на торец: 1, 2 — октаэдрическая и ромбододекаэдрическая формы кристаллизации алмаза соответственно

что алмазы разной формы кристаллизации имеют разную удельную интенсивность шлифования и, соответственно, шероховатость обработанной поверхности.

Пайку алмазных образцов осуществляли ТВЧ с частотой 60 Гц, время пайки 3 мин, температура пайки 860 °С. Использовали припой системы Cu—Sn—Ag—Ti. Сдвиг паяных алмазов осуществляли на стандартной разрывной машине мощностью до 50 кН.

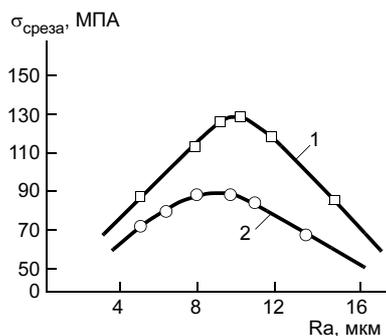


Рис. 2. Зависимость прочности крепления алмаза от параметра шероховатости: 1, 2 — см. рис. 1

На рис. 2 приведены зависимости прочности крепления $\sigma_{среза}$ от параметра шероховатости обработанной поверхности кристаллов алмаза при различной форме кристаллизации алмаза. Видно, что кривая прочности крепления алмаза методом пайки в зависимости от параметра шероховатости проходит через максимум и максимальная прочность соответствует параметру шероховатости поверхности $Ra = 8 \div 9$ мкм.

УДК 621.791:669.295

В. А. ПАНФИЛОВ, В. М. МУРАШКО, А. Н. ТАРАСОВ
ФГУП ОКБ "Факел" (Калининград)

Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана

В процессе проведения регламентных, ремонтных и аттестационных работ на глубоководных аппаратах серии "Мир" в ОКБ "Факел" впервые были применены новые мартенситсодержащие стали и высокопрочные титановые сплавы разработки ОКБ (для ЭРД МТ и технологических источников плазмы) [1, 2]. При подготовке аппаратов "Мир" к высокоширотной арктической глубоководной экспедиции на дно Северного Ледовитого океана с установкой российского флага на Северном полюсе возникла задача изготовления флага с высокими коррозионной стойкостью, прочностью и необычными декоративными свойствами на уровне ювелирных изделий.

На базе имеющихся разработок¹ были рассмотрены и апробированы новые технологические схемы и варианты изготовления с использованием титановых сплавов [2]. В таблице приведены мар-

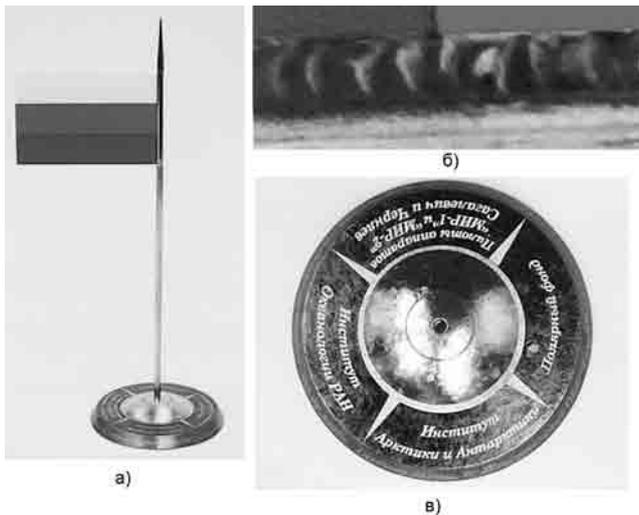
ки, основные свойства и технические требования к титановым сплавам в конструкции триколора.

Формирование крупнозернистого макрорельефа на основании и полусфере в виде фрагмента земного шара у Северного полюса осуществляли вакуумным отжигом при 1100—1150 °С в течение 1—1,5 ч. Одновременно в процессе нагрева в вакууме (10^{-3} Па) наносили крупный цифровой и

буквенный текст путем сплавления ленточной коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т толщиной 0,1 мм, оплавливающейся на титановой основе с формированием кристаллической жидкой фазы. Остальной текст наносили лазерным гравированием после химического или термического оксидирования от золотисто-желтого до голубого и фиолетового цветов. Фиксацию иглы флажштока и

Деталь	Сплав, поставка, прочность, обработка	Способ соединения в конструкции, термическая обработка, покрытие*
Основание (земная полусфера)	BT1-0, плита толщиной 20 мм, 480—500 МПа, механическая, укрупнение зерна	АрДС, предварительный вакуумный отжиг при 1100 °С, цветное химоксидирование до сборки
Флажшток Пика флажштока	BT-6, BT-23, прутки диаметром 10 мм, 1200 МПа, механическая обработка пики	Резьбовое соединение, цветное химоксидирование перед сборкой
Полотнище	BT1-0, лист толщиной 2 мм, 540—500 МПа, слесарная, для сварки с флажштоком	АрДС, предварительное термическое оксидирование, нанесение силиконового триколора
* Цветовое химическое и термическое оксидирование от золотисто-соломенного до голубого и фиолетового цветов после выращивания зерна в вакууме; для флажштока и пики с сохранением текстуры прокатки, без выращивания зерна.		
О б о з н а ч е н и е. АрДС — аргонодуговая сварка.		

¹Патент 2081201 (РФ).



Флаг России в собранном виде (а), фрагмент сварного шва (б) и основание флагштока (в)

флагштока в корпусе проводили точечной контактной сваркой после сборки флага.

На рисунке приведен внешний вид флага, фрагмент сварного шва крепления с флагштоком и основание флагштока с полусферой.

Испытания образцов и фрагментов сварных, отожженных и сборных деталей из сплавов ВТ1-0, ВТ-6, ВТ-23, ВТ-14 в конструкторско-технологических вариантах изготовления флага показали высокую прочность соединений и коррозионную стойкость в 40 %-ной серной кислоте, растворах соляной и серной кислот при выдержке в течение 1000—1500 ч. Это позволило рекомендовать разработанные варианты соединений для использования конструкции на дне Мирового океана.

Флаг России был успешно установлен во время проведения героической операции подледного погружения 2 августа 2008 г. аппаратов "Мир-1" и "Мир-2" на дно в точке Северного полюса при изучении подводного шельфа Северного Ледовитого океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов А. Н., Сагалевич А. М., Панфилов В. А. Материаловедческие и конструкторско-технологические аспекты выбора марок сталей для глубоководных аппаратов "Мир" // Наука и технологии. М., 2004. Т. 2. С. 47—52.
2. Tarasov A. N., Murashko V. M., Panfilov V. A. Main directions of new materials and technologies the manufacture of electric reactive engines // Welding International. 2006. Vol. 20. N 3. P. 240—242.

www.MVK.ru
(495) 995-05-95

РОССИЯ, МОСКВА, МВЦ «КРОКУС-ЭКСПО»

21 – 24 октября 2008

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ

WELDEX

РОССВАРКА

8-я Международная специализированная выставка

www.weldex.ru www.mvk-crocus.ru

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4

Дирекция выставки: тел./факс: (495) 925-34-82, e-mail: mns@mvk.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ЗАО «МВК»:

МВК СЕВЕРО-ЗАПАД: +7 (812) 332-15-24
МВК УРАЛ: +7 (343) 371-24-76
МВК ВОЛГА: +7 (843) 291-75-89

МВК СИБИРЬ: +7 (383) 201-13-68
МВК ЮГ: +7 (863) 234-52-45

Организатор:
ЗАО «Международная Выставочная Компания»

При поддержке:
Московской Межотраслевой Ассоциации Главных Сварщиков

Под патронатом:
Торгово-промышленной палаты РФ

При содействии:
Российской ассоциации сварочных компаний
EUA
Эксперт

Генеральный информационный спонсор:
Журнал «Сварочное производство»

Информационные спонсоры:
СварМатрикс, Студ, СварОкс, МВК МЕТАЛЛА, ВЕРИФИКАЦИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:338.45

Г. П. ЕЖОВ, канд. физ.-мат. наук

Долгопрудненское научно-производственное предприятие

Современный производственный менеджмент и перспективы его развития

В многообразной управленческой деятельности особую роль играют производственные менеджеры, которые доводят до конечного результата стратегические решения высшего управленческого персонала. Производственные менеджеры несут ответственность за производство товаров и услуг в организации. Они принимают решения относительно реализации всех производственных функций в организациях, производящих товары и услуги, обеспечивают динамику производственных систем (ПС), управляют ресурсами, обеспечивают создание необходимой организационной среды, организационного климата и культуры, осуществляют общее руководство качеством.

В организациях, ориентированных на сервисное обслуживание, менеджеры обеспечивают выполнение необходимых операций в соответствующих отделах.

Производственный менеджмент реализует организационную функцию, являющуюся важнейшей функцией бизнеса, такой же, как маркетинг и финансы.

Производственные менеджеры рассматриваются как менеджеры по преобразовательному процессу в фирме.

С позиции системного подхода производственные и сервисные операции, являющиеся основой преобразовательного процесса, рассматриваются во взаимосвязи с операциями проектирования и анализа.

Первое необходимо для постоянного совершенствования процесса и изделия (услуги), второе — для оценки состояния процесса и организации и как элемента обратной связи.

В свою очередь системный подход обеспечивает управление ПС за пределами производственной функции при наличии соответствующих организационных отношений, например с логистическими фирмами. Реализация маркетинговой функции может рассматриваться также как производительная система с затратами, преобразованием и результатами.

Производственный менеджер принимает решение, которое является в известной мере продуктом его труда и вольным элементом производственного менеджмента.

Рассматривая процесс преобразования с позиции принятия решения, его можно разделить на крупные

части, по которым могут приниматься самостоятельные, но взаимосвязанные решения. К ним можно отнести процесс, мощность, имущество, рабочую силу, качество и др.

Производственный менеджмент не является отраслевой принадлежностью. Производственные функции реализуются во всех отраслях: производственных, финансовых, торговых и др. Но реализация этой функции в каждой из них имеет свою специфику.

В целом процесс преобразования можно рассматривать как процесс превращения привлеченных ресурсов в товары и услуги.

С помощью технологического процесса, являющегося оптимально подобранным методом преобразования, привлеченные ресурсы — труд, капитал, материалы, энергия и информация — обращаются в товары или услуги — продукцию.

Производственный менеджер использует информацию обратной связи как необходимую для анализа, контроля и отраслевого управления процессом преобразования.

Учитывая постоянно изменяющиеся составляющие процесса преобразования, производственный менеджер принимает решения по комплексному их использованию с ориентацией на эффективное достижение результата. В различных отраслях приоритет одного или другого ресурса является объективным или предпочтительным. Имеются отрасли энергоемкие, трудоемкие, материалоемкие и др. Соответственно складывается и структура затрат в процессе преобразования. Особое место занимают операции в сервисных отраслях — транспорте, обслуживании в гостиницах и др. Они отличаются от производственных и используют другие ресурсы.

Целью производственного менеджмента является реализация корпоративной стратегии фирмы, основанной на ее корпоративной миссии, посредством рационального использования ресурсов и производственных возможностей для достижения фирмой конкурентного преимущества.

Производственный менеджмент имеет дело с непосредственными производственными ресурсами фирмы.

Процесс преобразования невозможен без привлечения труда людей в основных и вспомогательных операциях, которые выполняются на предприятиях, предназначенных для реализации производственных процессов или услуг. Необходимые материальные и другие компоненты производственного процесса реализуются с помощью оборудования, технологий и других средств в готовую продукцию. Система планирования и контроля используется менеджером для управления и включает необходимые для этого процедуры и инфраструктуру.

Производственный менеджер разрабатывает и реализует производственную стратегию, под которой понимается процесс, по которому фирма определяет, как она будет конкурировать в своей отрасли.

Предполагается определение долгосрочных целей и развитие стратегии их достижения. При выработке стратегии учитываются внешние факторы, такие как отраслевые, экономические возможности и общественные ценности, а также внутренние факторы, такие как сильные и слабые стороны компании. Сложность выработки производственной стратегии в условиях переходного периода, конверсионных процессов, спада производства определяется четкостью корпоративной стратегии. Производственная стратегия является как бы ее "заложницей". Отсутствие определенной перспективы не позволяет рационально управлять ресурсами.

В свою очередь наличие долгосрочной цели предприятия (фирмы) позволяет определить, как фирма будет конкурировать на рынке товаров и услуг. Это предполагает определение стратегии действий для функциональных областей бизнеса, которыми могут быть маркетинг, динамика продаж, продуктовая линия, финансы и контроль, инжиниринг, исследования и развитие, труд, закупки, производство и распределение.

Производственную стратегию не следует рассматривать как сугубо самостоятельную, независимую от других функциональных областей. Все виды деятельности, связанные с движением материала (ресурса) от поставщика через стадию производственного процесса до реализации, должны интегрироваться для формулировки разумной производственной стратегии.

Каждая из функциональных областей деятельности существенно влияет на определение стратегии. Нельзя изолировать закупки, производство и распределение. Они должны быть прочно связаны в любой современной теории производственной функции, так же как и инжиниринг, исследования и развитие, являющиеся дополнительными ключевыми ресурсами. Проблема заключается в стадии развития той или иной функциональной области в фирме. В настоящее время на российских предприятиях требуется активное развитие службы маркетинга, продаж, финансов и инжиниринга. Имеются большие проблемы с организацией закупок и даже труда.

Из этого не следует делать вывод о безысходности ситуации. Объяснимое упущение некоторых функциональных сфер деятельности связано с непродуманной системой перехода предприятия от плановой

экономической системы к рыночной, а точнее, с ее отсутствием. На многих предприятиях стратегия стала неуправляемой, что привело к упадку производства.

Сохранившийся интеллектуальный и производственный потенциал вселяет надежду на возрождение производства в новых условиях и на новой качественной основе.

Современное производство предъявляет большие требования к менеджеру. Это объясняется многими причинами, и в частности его динамичностью, сложностью используемых систем машин, изменяющимися технологиями, большими потоками информации и коллективом людей, объединенных единой целью — созданием конечной продукции, реализуемой на рынке. Постоянно изменяющаяся внешняя и внутренняя среда заставляет товаропроизводителя находить наиболее выгодные решения. Порой они кажутся противоречивыми и несовместимыми. Поэтому их реализация возможна только на принципиально новой технической основе. Предпосылкой этому служит научный и практический опыт создания прогрессивного оборудования с компьютерным управлением, использования систем диагностики, изменивших организацию ремонта оборудования и способствующих стабильной работе, а значит, и устойчивости производственного процесса. Высокоорганизованная система машин требует более высокой степени организации информации, передачи системе части управленческих функций, что без использования микропроцессорной и вычислительной техники невозможно.

Современное производство должно активно реагировать на запросы потребителей, которые, с одной стороны, все в большей степени индивидуализируются, а с другой — могут различаться по объему выпуска. Но и в том, и в другом случае производство должно обеспечивать высокое качество изделий на всем жизненном цикле. Производство само должно быть качественно иным: обладать мобильностью и гибкостью, в нем должна быть заложена способность к постоянному совершенствованию. Все это усложняет работу менеджера и требует от него высоких профессиональных качеств.

Доминирующим в деятельности менеджера становится постоянное стремление улучшить качество выпускаемой продукции или услуг.

Происходящие процессы интеграции экономики России с Европейским экономическим сообществом, возможное вступление во Всемирную торговую организацию (ВТО) требуют особого внимания к конкурентоспособности производства и выпускаемой новой продукции. Соответствие требованиям международного стандарта ИСО 9001:2000 обеспечивается постоянным улучшением процессов общего руководства организацией, а также реализацией оптимальных стадий жизненного цикла изделий.

Глубинный смысл требований международного стандарта заключается в постоянных изменениях, обеспечивающих достижение соответствия качества продукции или услуг возрастающим требованиям по-

требителя. Это возможно лишь при отношении к выполнению работ на каждой стадии жизненного цикла как к процессу, постоянно развивающемуся по содержанию и исполнению. Последовательность реализации стадий жизненного цикла изделий от зарождения к росту, зрелости, насыщению и спаду требует от менеджера выбора наиболее эффективного способа реализации каждой отдельной стадии.

В то же время стадия, например зарождения продукта или услуги, качество ее разработки повлияют на реализацию стадии роста, которая позволяет обеспечить динамичное развитие продукта за счет использования прогрессивных технологий, организации производства и труда непосредственно в производственном процессе.

Производственный менеджмент должен находить перспективные методы решения этих проблем, в частности, используя "прочное" проектирование, совместное проектирование, компьютерное проектирование, модульное проектирование, создание творческих коллективов для реализации проектов, формирование рациональной производственной и организационной структур.

Для достижения заданной цели по производству конкурентоспособного продукта формируется ПС, под которой можно понимать совокупность множества элементов и связей между ними, направленных на наиболее эффективное осуществление производственного процесса.

Целью такой ПС является создание конкретной продукции, выраженной в деталях, изделиях, совокупности действий по созданию материальных ценностей, которые объединяются понятием "услуги", и др. Такая деятельность присуща всем ПС, участвующим в кооперированном процессе создания конечного продукта, будь то производственный участок, цех, завод или другие объединения товаропроизводителей. Эти образования, в известной степени являющиеся следствием процесса разделения труда, кооперации, концентрации и специализации производства, влияют на эффективность действия производительных сил.

Для реализации производственного процесса ПС должна располагать необходимыми материальными, финансовыми и трудовыми ресурсами. Их рациональное использование способствует созданию дополнительной прибыли, часть которой может быть направлена на развитие этой же ПС.

Надежное обеспечение хода производственного процесса при минимальных размерах запасов также свидетельствует о высокой организации производственных систем. Примером тому является так называемое "изящное" производство, используемое на предприятиях Италии.

Для производственной системы любого уровня характерно наличие социально-экономических процессов. Они являются следствием и причиной развития системы производственных отношений, складывающихся в ПС данного уровня. Это свойственно ПС потому, что активное вовлечение в производственный процесс че-

ловека как главного элемента производительных сил требует обеспечения условий для его всестороннего развития и воспроизводства рабочей силы. Недооценка этих отношений привела не только к падению авторитета труда, снижению его производительности, но и снижению заинтересованности в нем, потере стремления наращивать интеллектуальный потенциал. Необходимым свойством ПС является их иерархическое единство. Наличие и реализация этого проявляются в производственной структуре, а в совокупности с другими свойствами ПС (например, целостности и членимости), — в ее оптимальности. Каждая ПС определенного уровня проходит свойственный ей путь развития.

Диалектика развития требует изменения производственной структуры ПС. Небольшое предприятие с бесцеховой структурой, развиваясь, создает цехи, затем группы однородных цехов, формирует их в производство. Когда количественный рост достигает определенного предела, при постоянном наращивании уровня автоматизации и интеллектуализации труда, результатом которого является создание гибких производственных систем (ГПС) и других прогрессивных форм организации производства, отпадает необходимость в структурной единице — цехе. Границы производства расширяются, оно "вбирает" группы цехов, тем самым ликвидируя цеховую систему. Отмечается переход к бесцеховой структуре, но на новом качественном уровне.

Любая ПС может быть элементом системы более высокого уровня и зависит от стратегии поведения, выработанного для высшего уровня ПС. Эта зависимость проявляется в способности ПС принимать все ресурсные и информационные изменения, реагировать на них, изменяя свое состояние в определенных пределах. Значит, ПС присущи свойства, позволяющие считать ее открытой, поведение — гибким при сохранении устойчивого функционирования. Наличие этих свойств позволяет изменять параметры ПС в пределах имеющихся резервов при различных (внешних и внутренних) возмущающих факторах определенной силы. Безусловно, что в зависимости от уровня ПС изменяются состав и приоритет резервов, создаваемых с целью обеспечения надежного функционирования системы.

Чтобы дать полную характеристику ПС, следует определить, обладает ли она свойствами, присущими системе. К таким ее свойствам относятся целостность и членимость, свойство связи, организация, интегративные качества.

Производственная система, с одной стороны, есть целостное образование, а с другой — в ее составе могут быть выделены элементы. Система любого уровня состоит из элементов, имеющих системоопределяющее свойство. Например, рабочее место в ПС — участок. Вне системы оно имеет системозначимые свойства, в системе играет роль элемента, исключение которого из системы нарушает ход производственного процесса. Для выполнения конкретных действий согласно технологическому процессу на рабочем месте

имеются оборудование, необходимая оснастка, человек, осуществляющий этот процесс. Рабочее место взаимодействует с другими рабочими местами, выполняющими другие операции технологического процесса, которые могут быть между собой связаны.

Необходимым свойством ПС каждого уровня является ее целостность. Это свойство выражается в законченности конечного результата, производимого данной системой. Если идти от обратного, то можно считать ПС, ничего не производящую и не участвующую непосредственно в создании конечного продукта, лишним звеном.

Анализ этого свойства ПС позволяет сделать вывод о целесообразности самостоятельных обслуживающих подразделений в ПС данного уровня, концентрации этих функций в специальных системах или "растворения" их в ПС. Такой процесс все ярче проявляется в ПС, в которых используются коллективные формы организации труда, подрядные и арендные отношения.

С повышением уровня автоматизации производства изменяется характер рабочей машины, целостность ПС еще в большей степени укрепляется. Значимость элемента в каждой системе при повышении уровня автоматизации возрастает. Любая ПС ориентирована на определенную цель, которой в зависимости от вида структуры ПС может быть деталь, сборочная единица, изделие и др. Организация системы зависит от многих факторов, и прежде всего от специализации, уровня кооперирования и т. д.

В ПС между элементами существуют устойчивые связи. Они с закономерной необходимостью определяют интегративные свойства системы.

Эти связи базируются на строгом соблюдении технологической дисциплины, они обусловлены местом и ролью системы данного уровня в производственном процессе и связью с другими подсистемами. Эти связи могут определяться как передачей деталей с одного рабочего места на другое любым способом, так и обменом информацией между элементами системы и внешней средой. Связи в ПС четко определены и направлены, они могут быть устойчивыми и случайными. Последние вызваны, как правило, воздействием внешней среды, неустойчивостью технологического процесса, поведением человека в системе человек—машина. В ПС имеют место прямые и обратные связи, необходимые для управления. К ним относится информация, передаваемая по каналам связи, о ходе производственного процесса, его количественных характеристиках. Целостность системы может быть нарушена в том случае, когда мощность (сила) существенных связей между элементами системы на интервале времени, не равном нулю, будет превышать мощность (силу) связей этих же элементов с окружающей средой. С ПС это может произойти в том случае, когда нарушается ее специализация, особенно предметная или поддетальная. Например, в технологическом про-

цессе имеются операции, которые в силу небольшой трудоемкости и неполной загрузки оборудования выполняются на других участках. Деталь передается для выполнения операции на этот участок, затем возвращается. При значительном числе таких отклонений теряется сила связи с элементами внутри системы.

Производственной системе присуще свойство организации. Оно проявляется в снижении неопределенности системы при неопределенности системформирующих факторов, определяющих возможность создания системы. К последним можно отнести число элементов системы, число системозначимых свойств элементов, число существенных связей, которыми может обладать данный элемент, число системозначимых свойств связей.

При определении и формировании связей складывается определенная структура системы, а свойства элементов ПС преобразуются в функции, связанные с ее интегративными качествами. Более полно свойство организации проявляется в крупных ПС. В этом случае неопределенность системы будет снижаться, так как возрастает влияние коллективного фактора воздействия на отдельные человеко-машинные элементы системы. С усложнением системы возможно повышение энтропии, однако в связи с направленностью влияния всех элементов на конечный результат и развитием обеспечивающих элементов системы мера неопределенности будет снижаться. Спецификой ПС является то, что в зависимости от условий производства могут быть выбраны определенный тип структуры системы, число ее элементов. ПС обладает таким качеством, как самоорганизация.

Интегративные качества присущи системе в целом, но не свойственны ни одному из ее элементов. Отдельное рабочее место, участок, цех не могут выпустить окончательно готовую продукцию, ее может выпустить предприятие, имеющее все необходимые производства, подсистемы, лаборатории, испытательные полигоны и т. д. На отдельном рабочем месте (как элементе системы) может быть выполнена операция, изготовлена деталь. И только совокупность рабочих мест позволяет выпустить изделие. Интегративные качества возрастают с повышением уровня ПС и ее сложности.

Использование продуктовых, дивизионных и других ПС, ориентированных на конечный результат с определенной долей бюджетных отношений, требует повышения уровня интеграции их элементов. В условиях автоматических систем машин эти качества приобретают особую значимость.

Таким образом, можно сделать вывод, что для ПС характерно наличие всех системных свойств. Значимость их возрастает с ростом сложности системы, проявляющейся в числе ее элементов, связей между ними, уровне решаемых задач в автоматизации процессов и др.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 621.791:658.386

Н. В. МАЛИЧ

Московский энергетический институт (технический университет)

Основные формы развития сотрудничества Московского энергетического института (технического университета) и предприятий в условиях рыночной экономики

Механизм планового распределения молодых специалистов в условиях рынка перестал действовать, при этом стало актуальным и необходимым установление новых форм, обеспечивающих взаимодействие вузов и рынка труда. Некоторые вузы потеряли годами формировавшиеся связи с предприятиями, контакты с отраслевыми организациями.

МЭИ свои связи с отраслевыми организациями не только не потерял, а установил за эти годы более тесные контакты с такими организациями, как РАО "ЕЭС России", Мосэнерго, Мосгортепло и др.

Постоянная работа с выпускниками МЭИ и предприятиями велась на протяжении всего этого периода. По данным отдела трудоустройства МЭИ, подтвержденными соответствующими документами, доля трудоустроенных выпускников составляет 98,7—99,92 %.

По последним данным, согласно исследованиям компании Graduate (журнал "Карьера", 2005, № 4), спрос работодателей на выпускников технических специальностей неуклонно растет.

Российские компании все активнее привлекают на работу молодых специалистов. Если в 2001/2002 учебном году приглашали в среднем 9 человек на одну компанию, то в 2003/2004 — 34.

У компаний или предприятий существуют три вида организации работы с выпускниками:

- программа набора и развития молодых специалистов. Эту программу используют лишь 18 % компаний, так как этот способ наиболее затратный и наименее гибкий, поскольку разработка программы, как правило, является трудоемким процессом, требующим учета долгосрочных планов компании в области управления персоналом. Но этот вид организации работы позволяет привлечь действительно лучших молодых специалистов;
- точечный рекрутмент. Этот вид работы наиболее популярен, к нему прибегали 92 % опрошенных компаний, а для 40 % компаний данный способ был единственным благодаря его гибкости и относительно невысокой стоимости, а для вузов практически бесплатный;
- программа стажировок находится на втором месте, ее используют 54 % компаний.

Таким образом, компании решают свои кадровые вопросы наименее затратным путем, т. е. кадровая политика

компаний направлена на достижение текущих результатов, а не на перспективное развитие. Здесь просматривается определенная позиция работодателей. В отсутствие нормативно-правовой базы предприятия, выступающие в роли работодателей, потребительски относятся к высшим учебным заведениям. Вузы являются бесплатными донорами для решения кадровых проблем предприятий. Представители организаций забывают, что качественная подготовка специалистов требует дополнительных затрат. Потенциальные работодатели, как правило, не готовы вкладывать средства в вузы, финансируя дополнительную подготовку специалистов, модернизацию материально-технической базы учебного процесса.

Сотрудничество вуза и предприятия не только необходимо, но и взаимовыгодно как для одной, так и другой стороны. Оно может осуществляться по нескольким направлениям деятельности, например в процессе практики студентов.

Система практик позволяет целенаправленно формировать у студентов теоретические знания и практические навыки, возможность работы на уникальном оборудовании. Для предприятия — это возможность проверить профессионально-квалификационный уровень будущих выпускников и предложить им свои вакансии. Ежегодно в МЭИ на проведение практик заключается более 700 договоров с различными предприятиями и организациями. Постоянные партнеры института — многие подразделения Мосэнерго, РНЦ "Курчатовский институт", завод "Сапфир", ВЭИ, Теплоэлектропроект, Электрозавод, Всесоюзный теплотехнический институт, Московский завод тепловой автоматики, НИИ "Пульсар", "Геофизика-Космос", Энергосетьпроект, завод "Изолятор", Криогенмаш, ОРГРЭС, Атомэнергопроект и др. Практика на предприятии дает тот самый профессиональный опыт, в котором нуждаются работодатели.

Другим, не менее важным направлением сотрудничества является целевое обучение и обучение по дополнительным программам сверх государственного стандарта. Реализация этого направления заключается в том, что совместно с представителями предприятия вуз разрабатывает программу обучения с учетом специфики работы конкретной организации для более углубленного изучения интересующих предприятия дисциплин, новейших технологий, для формирования у студентов более полных знаний в сфере деятельности предприятия. Таким образом,

предприятие получает профессионально квалифицированного выпускника, которого не надо переучивать или доучивать. В МЭИ уже несколько лет ведется такая работа с Атомтехэнерго и РНИИКП. Как показал опыт работы, из группы 10 человек 9 остаются работать на этом предприятии. Преподавание по таким программам могут вести не только вузовские преподаватели, но и специалисты предприятия. Студенты, обучающиеся по программам дополнительного обучения, проходят практику и выполняют дипломное проектирование на этих предприятиях, после защиты диплома зачисляются в штат.

Расширяется контрактная форма подготовки специалистов, предусматривающая оплачиваемое предприятием обучение студента с гарантированным его последующим трудоустройством на это предприятие.

Еще один вид сотрудничества и взаимодействия вуза и предприятия по оказанию помощи специалистам предприятия в повышении квалификации и профессиональной подготовке. В МЭИ ведется такая работа с 1995 г. С 2000 по 2005 гг. в среднем в год заключались свыше 600 договоров с юридическими лицами. Повышение квалификации и переподготовку специалистов проводят центры подготовки и переподготовки (ЦПП), являющиеся структурными подразделениями МЭИ (ТУ). ЦПП проводят обучение по программам повышения квалификации от 100 до 500 ч и краткосрочное повышение квалификации (тематические курсы продолжительностью не менее 72 ч), долгосрочные программы более 500 ч (программы профессиональной переподготовки). Прошедшие профессиональную переподготовку специалисты с высшим образованием получают диплом о профессиональной переподготовке. По этим программам также обучаются студенты, которые до окончания дополнительной программы станут дипломированными специалистами. Таким образом, студенты по окончании института имеют два дипло-

ма по двум специальностям. Например, выпускник имеет диплом по технической специальности и диплом о профессиональной переподготовке по направлению "Менеджмент в сфере управления проектами, маркетинг, финансовый менеджмент, производственный менеджмент и управление персоналом". Сегодня на рынке занятости востребованы молодые, активные специалисты, знающие иностранные языки. Многие зарубежные компании и совместные предприятия заинтересованы в наших выпускниках со знанием иностранных языков. Наши студенты имеют возможность обучаться по дополнительной программе "Переводчик в сфере профессиональной коммуникации" с правом ведения деятельности в сфере гуманитарно-социальной коммуникации, также есть школа технического перевода. Такое обучение поднимает конкурентоспособность будущего выпускника на рынке труда. Выпускник вуза, желающий в своем профессиональном развитии двигаться дальше, должен понимать, что получение диплома означает лишь переход от одной формы обучения к другой, поэтому выпускникам и специалистам необходимо непрерывно-периодический контакт с системой дополнительного образования.

Результаты опросов представителей предприятий, на которых работают выпускники, показывают, что на первом месте стоит качество подготовки и профессиональная компетенция выпускника, на втором — умение использовать современные компьютерные технологии, на третьем — владение иностранными языками.

Таким образом достигается создание новых, актуальных для современного рынка специалистов научных и гуманитарно-технических профилей направления подготовки.

В этой связи весьма актуальным становится создание многоцелевой программы, направленной на обеспечение интеграции образования, науки и производства.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

УДК 621.791.75

Ю. УУСИТАЛО, инж.
(Kemppi Oy, Lahti, Finland),
А. С. МОСЯГИН, инж., С. А. ЛИНОВСКИЙ, инж.
(ООО "Кемппи", Москва)

Новая технология сварки модифицированной короткой дугой

Развитие цифровых технологий в области источников сварочного тока открывает новые пути совершенствования технологии сварки. В настоящее время управление сварочным аппаратом все чаще основывается на электронных компонентах. Цифровые системы улучшают время ре-

акции на параметры сварки. Это одна из причин появления на рынке новых модифицированных сварочных технологий. В области MIG/MAG-сварки применяемые формы волн тока и напряжения, а также контролируемый режим короткого замыкания обуславливают возможность разработки тех-

нологии сварки короткой дугой без брызг, с капельным переносом. Наиболее серьезные проблемы при сварке корня шва заключаются в разбрызгивании и трудности контроля проплавления.

Разработана новая технология сварки модифицированной короткой

дугой Kemppi FastROOT™, основанная на цифровом контроле параметров дуги — сварочного тока и напряжения. Эта технология MIG/MAG-сварки корневого прохода и тонколистового металла применима для сварки низкоуглеродистых и легированных сталей, облегчает и ускоряет работу сварщика. Сварку можно проводить во всех пространственных положениях, со стабильным проплавлением и при практически полном отсутствии брызг. Технология FastROOT™ при более высокой производительности обеспечивает лучшее качество шва, чем TIG-сварка.

Корневые швы сваривают с применением различных сварочных технологий с учетом требований конкретной ситуации. MIG/MAG-сварку корневого прохода выполняют цельнометаллической или порошковой проволокой. При сварке короткой дугой или импульсной сварке, особенно коррозионно-стойких сталей, главными проблемами являются разбрызгивание и нестабильность сварочной дуги при сварке в потолочном и нижнем положениях.

Недостаточное проплавление может привести к непровару корня шва. Причиной непровара являются недостаточная мощность, большая длина дуги, нестабильная скорость сварки или неправильное положение горелки, а также недостаточный зазор, завышенное притупление или ошибка в технологическом процессе. Этих ошибок можно избежать за счет корректирования сварочного тока, скорости подачи проволоки, напряжения дуги, скорости сварки, а также используя способ сварки углом вперед. Разбрызгивание при сварке корневого прохода должно быть сведено к минимуму, особенно при сварке труб. Это снижает необходимость последующей зачистки шва и ОШЗ. Брызги снижают коррозионную стойкость металла внутренней поверхности труб и даже могут препятствовать потоку жидкости по трубе.

Технология FastROOT™ основана на цифровом контроле параметров на выходе сварочного аппарата — сварочного тока и напряжения. Электроника отслеживает короткие замыкания и контролирует точное время перехода капли металла с конца проволоки в сварочную ванну. Технология сварки модифицированной короткой дугой основана на разделении цикла сварки на два разных периода: период короткого замыкания и период горения дуги, чередующиеся между собой (рис. 1). Процесс сварки мо-

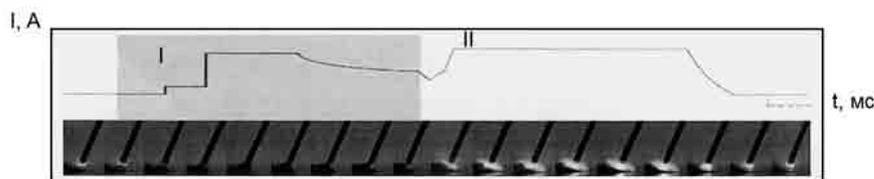


Рис. 1. График сварочного тока в процессе сварки FastROOT™ (капля металла с конца проволоки переносится в сварочную ванну, чередуются периоды короткого замыкания I и горения дуги II)

дифицированной короткой дугой принципиально отличается от процесса импульсной сварки.

В период короткого замыкания поступающая проволока замыкается на сварочную ванну, ток резко увеличивается и остается на заданном уровне. В течение периода короткого замыкания резкий скачок сварочного тока до заданного уровня завершается отделением капли расплавленного металла. Плавное уменьшение сварочного тока. В момент переноса капли в сварочную ванну начинается второй период роста тока и происходит зажигание дуги. Управление процессом точно определяет момент отделения капли и зажигания дуги. Точный контроль времени уве-

личения и снижения тока гарантирует отсутствие брызг при переходе от короткого замыкания к горению дуги.

В период горения дуги формируется сварочная ванна и обеспечивается необходимое проплавление корня шва. Эти два периода роста тока следуют друг за другом, в конце каждого из них ток стабилизируется на заданном уровне.

Интенсивный и точный контроль величины сварочного тока и формы волны тока в процессе сварки обеспечивает бесперебойное отделение капель и их перенос в сварочную ванну практически без брызг. Это гарантирует стабильность дуги и простоту управления процессом сварки.

Сварочный аппарат Kemppi FastMIG позволяет сварщику регулировать скорость подачи проволоки, величину базового сварочного тока и второго импульса тока (формирующего импульса FPI) (рис. 2), влияющих на формирование корневого прохода при сварке коррозионно-стойкой стали (рис. 3).

Наиболее важным моментом в технике сварки является удержание дуги на поверхности сварочной ванны, дугу нельзя смещать к краю стыка (рис. 4). Сварочная проволока может пройти ванну насквозь и вызвать брызги со стороны корня шва. Дуга должна удерживаться над центром сварочной ванны, сварщик не должен задерживать дугу на сторонах разделки при колебательном движении, а также не увеличивать амплитуду поперечных колебаний. Скорость сварки должна быть максимальной, частота колебаний выше, чем при

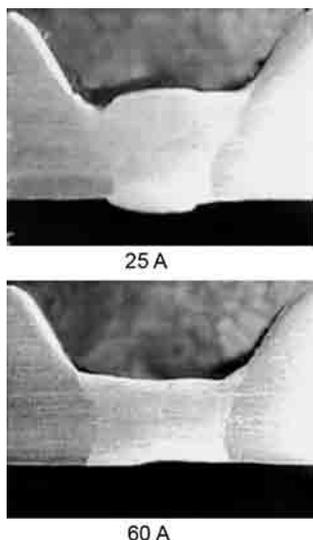


Рис. 2. Влияние базового тока на формирование сварного шва

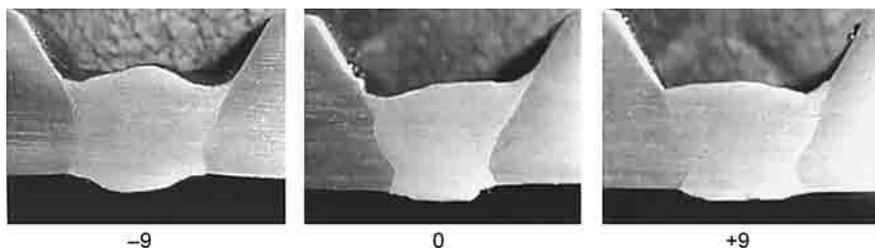


Рис. 3. Влияние формирующего импульса на формирование сварного шва (показания указаны в условных единицах, которые регулируются и отображаются на дисплее сварочного аппарата FastMIG)



Рис. 4. Техника сварки корневого шва

обычной сварке короткой дугой способом сверху вниз. Проплавление увеличивается при применении способа сварки углом назад. Технология FastROOT™ позволяет также выполнять сварку без колебаний. Это увеличивает скорость сварки, но поверхность сварного шва не будет иметь такую же гладкую форму, как у шва, сваренного с колебаниями горелки.

Технология FastROOT™ разработана в основном для сварки корневого прохода шва, но также может использоваться для сварки тонкого металла низкоуглеродистых и коррозионно-стойких сталей. В таблице приведены программы для сварочного аппарата FastMIG. Кроме того, возможна их разработка на заказ для различных производственных потребностей. Первые программы были разработаны для коррозионно-стойких сталей EN 10088 1.4539 — 904 L и EN 10088 1.4464 — 22 % Cr. Разработаны программы для сварки порошковой проволокой, сталей с высоким содержанием никеля, для сварки-пайки проволокой CuSi_3 , а также для сварки в различных газовых смесях.

Номер программы	Диаметр проволоки, мм	Защитный газ	Поддув
Низкоуглеродистые стали			
902	0,9	Ar + (18—25) % CO_2	—
903	1,0		
904	1,2		
912	0,9	CO_2	—
913	1,0		
914	1,2		
Коррозионно-стойкие стали			
922	0,9	Ar + 2 % CO_2	Ar
923	1,0		
924	1,2		
932	0,9	Ar + 30 % He + 1 % O_2	Ar
933	1,0		
934	1,2		



Рис. 5. Стыковой шов, V-образная разделка (60°), корневого прохода сварен с применением технологии FastROOT™ в вертикальном положении, заполнение — синергетической MIG-сваркой в вертикальном положении (зазор 3—4 мм, сварочный ток 130 А, напряжение 16 В, скорость сварки 138 мм/мин, энергия дуги $E = 0,9$ кДж/мм, тепловложение $Q = 0,72$ кДж/мм)

Одними из первых технологию FastROOT™ применили норвежские компании, занимающиеся строительством морских буровых платформ и трубопроводов. Заказчики отзываются о данном процессе как об очень легком в работе и при настройке, также отмечается отсутствие разбрызгивания при сварке стальных труб. Данная технология в настоящее время применяется на проекте Ormen Lange в Норвегии. Это второй в мире по величине подводный газопровод, спроектированный по наиболее жестким требованиям. Параметры сварки трубопровода ($D = 780,0$ мм, $\delta = 45,5$ мм) проекта Ormen Lange: V-образная разделка (50°); зазор 4,5 мм и выпуклость шва 0,5 мм; проволока LNM Ni1 диаметром 1,0 мм, защитный газ Ar + 18 % CO_2 ; скорость подачи проволоки $Wfs = 3,5 \div 3,9$ м/мин; скорость сварки $v = 75 \div 130$ мм/мин.

Перед запуском технологии в производство были проведены испытания сварки корневых проходов. На рис. 5 приведен один из пробных образцов, в испытательных образцах и рабочих швах сварочные дефекты не выявлены.

Стальные трубы с толщиной стенки до 4 мм можно сваривать встык без разделки кромок. В этом случае зазор особенно важен, так как труба с толщиной стенки 4 мм не может быть

сварена без зазора. В некоторых случаях трубы с толщиной стенки до 1,5 мм варятся без зазора. Для качественной сварки неповоротных стыков труб в один проход (рис. 6) при диаметре трубы $D = 110$ мм и толщине стенки 4 мм применяли следующую технологию сварки: проволока G3Si1 диаметром 1,0 мм; стыковое соединение без разделки кромок, зазор 4 мм; сегменты трубы сваривают с разной скоростью подачи: при разбивке в часовых координатах от 12 до 3 ч — $Wfs = 3,0$ м/мин; от 3 до 6 ч — $Wfs = 2,8$ м/мин.



Рис. 6. Сварное стыковое соединение, выполненное без разделки кромок в один проход (зазор 4 мм)

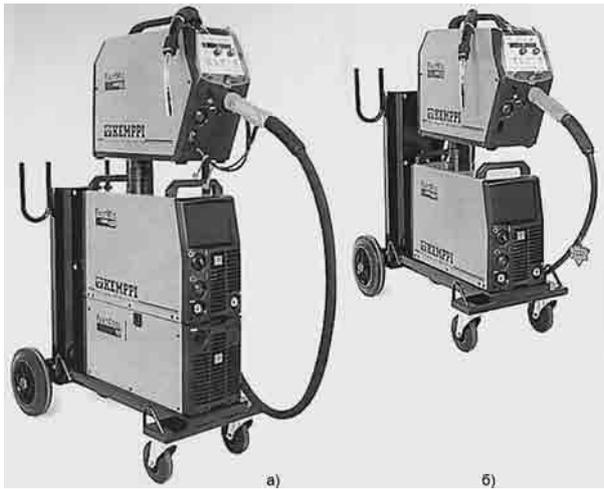


Рис. 7. Сварочные аппараты FastMIG Synergic с блоком водного охлаждения (а) и без него (б)



Рис. 8. Сварка образцов в демонстрационном зале ООО "Кемпси"

единений как с разделкой в 45°, так и 60°, а также для сварки тонкого металла (рис. 9, 10). Отмечается универсальность аппаратов серии FastMIG Synergic. Провар корня шва и заполнение разделки производятся одним сварочным аппаратом в отличие от аналогичных технологий других производителей. Провар корня осуществляется с применением технологии FastROOT, а заполнение — традиционной или синергетической MIG/MAG-сваркой. Аппарат FastMIG Synergic может поставляться как укомплектованным технологией FastROOT, так и без нее — как универсальный сварочный аппарат для стандартной и синергетической MIG/MAG- и MMA-сварки. Провар корня шва рекомендуется выполнять сплошной сварочной проволокой диаметром 0,8—1,0 мм, возможно также применение проволоки диаметром 1,2 мм. Заполнение шва можно производить цельнометаллической проволокой диаметром 1,0—1,2 мм, при этом не требуется замена катушки при переключении с FastROOT на MIG/MAG-сварку.

При применении порошковой проволоки плотность тока выше и лучше переплавление металла сварного шва, что значительно улучшает качество и механические свойства свариваемого соединения. Для этой цели аппарат FastMIG Synergic может укомплектовываться двумя подающими устройствами (рис. 11).

В одно подающее устройство заряжается сплошная проволока диаметром 0,8—1,0 мм для проварки корня шва, а в другое — порошковая проволока для заполнения шва. Подающие устройства подключаются к

источнику тока, и для перехода с провара корня шва на его заполнение достаточно переключить сварочный аппарат с одного подающего устройства на другое. Одновременная сварка при помощи двух подающих устройств на одном аппарате осуществляться не может, устройства работают только в последовательном режиме.

В роботизированной сварке применяется технология AAA, аналогич-

ная технологии FastROOT. Технологию AAA применяют на аппаратах серии KemrArc, которые могут устанавливаться на роботы Motoman, Kuka, Kawasaki и др. Данный сварочный аппарат также выполняет провар корня шва и заполнение разделки без смены катушки с проволокой. Образцы, сваренные роботизированным способом, приведены на рис. 12.

Развитие цифрового управления источниками сварочного тока обеспечивает лучший контроль характеристик дуги. Появляется возможность разработки новых модифицированных сварочных технологий, которые могут применяться для различных нужд сварочного производства.

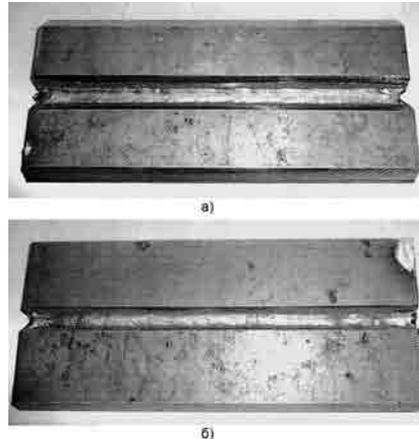


Рис. 9. Корневой проход, сваренный с применением технологии FastROOT (зазор 4 мм): а, б — угол разделки 45 и 30°

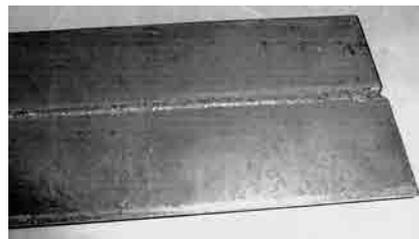


Рис. 10. Формирование обратного валика при сварке корневого прохода



Рис. 11. Сварочный аппарат FastMIG Synergic в комплектации с двумя подающими устройствами

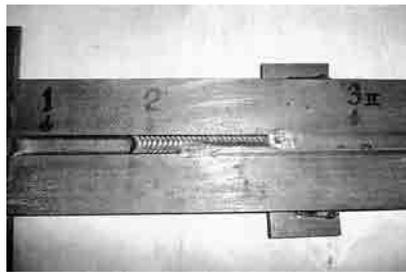
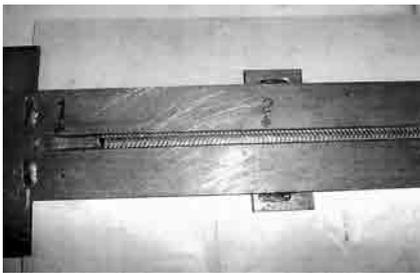


Рис. 12. Корневой шов, сваренный аппаратом KemrArc на работе Motoman: 1 — сварной шов; 2 — перекрытие; 3 — облицовка

Таким образом, технология FastROOT™ сочетает в себе новый метод сварки модифицированной короткой дугой как корневого прохода шва, так и сварки тонкого металла. Сварочные синергетические режимы

позволяют осуществлять сварку низкоуглеродистых и легированных сталей во всех пространственных положениях. Простота настройки и общее удобство использования обеспечивают превосходную управляемость ду-

гой и высокую стабильность процесса при роботизированной сварке. Преимущества технологии FastROOT™:

- производительность и скорость сварки выше, чем при TIG-сварке;
- меньше разбрызгивание;
- корневой проход и заполнение шва производятся на одном оборотовании;
- легкость выполнения сварки;
- оптимальные поверхность и форма корневого прохода шва;
- корневой проход варится без подкладки;
- практически не требуется зачистка шва после сварки;
- гибкость и простота использования;
- возможность сварки во всех пространственных положениях.

ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.791:061.2/4

8-й Международный салон инноваций и инвестиций

С 3 по 6 марта 2008 г. в Москве на ВВЦ состоялся 8-й Международный салон инноваций и инвестиций, организованный Министерством образования и науки России, Министерством экономического развития и торговли России, Федеральным агентством по науке и инновациям, Правительством Москвы, Торгово-промышленной палатой РФ, ФГУ "НИИ—Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы", ОАО "ГАО ВВЦ".

В работе салона приняли участие более 600 фирм и компаний из 22 регионов РФ и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Ниже приведены организации и их наиболее значимые разработки согласно основным тематическим разделам выставки.

Воронежский государственный технический университет, Проблемная научно-исследовательская лаборатория нитевидных микро- и нанокристаллов:

— нанокompозитные солнечные элементы (солнечные батарейки для зарядки различных устройств). Лицевая поверхность солнечных эле-

ментов текстурирована нитевидными нанокристаллами. Кпд достигает 60—90 % (у выпускаемых в настоящее время фотопреобразователей кпд = 15 %). Область применения: широкий спектр изделий;

— наносенсоры. Нитевидные кристаллы полупроводников служат уникальным материалом для создания тензодатчиков, поскольку область их упругой деформации на два порядка превосходит область деформации применяемых в настоящее время волоочных и пленочных тензоэлементов. Область применения: многофункциональные датчики температуры, расхода жидкости и газа и др. (рис. 1);

— зонды микроскопов. Кремниевые ультраострия, выполненные из нанокристаллов (взамен вольфрамо-

вых), повышают разрешающую способность на атомном уровне.

Институт физической химии и электрохимии РАН (Москва) — уникальные нанокompозитные покрытия для упрочнения деталей машиностроительного комплекса. Метод упрочнения основан на химическом осаждении карбидов вольфрама из газовой фазы. Температура процесса 450—520 °С. Оптимальная толщина покрытия 15—80 мкм. Абразивная стойкость на уровне твердого сплава, высокая коррозионная стойкость. Метод позволяет наносить покрытия на любые детали сложной формы, включая внутренние поверхности цилиндров (что недоступно при применении известных газотермических методов), регулировать до заданного уровня микротвердость и вязкость покрытия с учетом условий работы узлов трения. Область применения: насосы, краны высокого давления для нефтегазового, бурильного и химического оборудования, штампы для прессования порошков металлургического производства, нагруженные узлы трения для автотранспортной, авиационной, горнодобывающей и



Рис. 1. Чувствительные элементы наносенсорных устройств

других отраслей машиностроения, металлизация алмазных порошков.

Институт проблем химической физики (ИПХФ) РАН (Черноголовка Московской обл.). Микроволновая плазмохимическая установка для получения нанокристаллических (менее 100 нм) порошков оксидов, нитридов, некоторых металлов и порошковых композиций конденсацией из высокотемпературного химически реагирующего газового потока. Производительность установки до 0,1 кг/ч. Изменением режимных параметров технологического процесса можно регулировать дисперсность, фазовый и химический составы получаемых порошков.

Микроволновая плазмохимическая установка награждена серебряной медалью на международной выставке "Эврика—2002" в Брюсселе (Швеция).

Байкальский центр нанотехнологий, Иркутский государственный технический университет:

— наноразмерные катализаторы для химической промышленности (кобальт, родий, палладий), полученные восстановлением солей переходных металлов. Высокая активность наноразмерного катализатора обусловлена уменьшением вероятности агрегации нанокластеров и увеличением поверхности веществ для катализа. Область применения: в реакциях полимеризации при производстве полимеров, для очистки при производстве синтетических масел и др.;

— новые технологии строительных бетонов с наномодификаторами, обеспечивающих сочетание высокой конструкционной прочности и теплоизоляционных свойств, снижение себестоимости строительства; широкий спектр применения: малоэтажное строительство, ограждающие конструкции, легкие теплоизолирующие оболочки и др.

ФГУП ГНЦ РФ "Обнинское НПП "Технология":

— наноструктурированные многофункциональные металлооптические покрытия наноразмерных толщин, наносят на изделия остекления из силикатного или органического стекла с заданными оптическими свойствами, предназначены для защиты летного оборудования от вредного воздействия внешних факторов. Покрытия обеспечивают ослабление теплового потока солнечного излучения, электромагнитного излучения, снижение заметности на радарх внутрикабинной аппаратуры на 40—60 %, повышение

абразивно-атмосферостойкости органических стекол;

— нанокристаллический стекломатериал (ситалл) с ультранизким температурным коэффициентом линейного расширения и термостойкостью, размер кристаллов 30—50 нм. Область применения: система навигации современных самолетов, точная измерительная техника, лазерная медицинская техника и др.

Тамбовский государственный технический университет — реактор для синтеза углеродных наноструктурных материалов (УНМ "Таунит") производительностью 2000 кг в год (рис. 2). Получаемый продукт представляет углеродные, наномасштабные, нитевидные образования преимущественно цилиндрической формы с внутренним каналом (5—10 нм). Обладает уникальными свойствами: большой прочностью, хорошей электропроводностью, адсорбционной способностью, термостабильностью и др. Широкая область применения: наполнители композитных конструктивных наноматериалов, электропроводящие полимерные композиты, сенсорные системы, носители катализаторов, адсорбенты и др.



Рис. 2. Реактор полунепрерывного действия синтеза УНМ "Таунит"

Томский государственный университет, Научно-образовательный центр по направлению нанотехнологии "Нанокластер" — разработка учебных программ в рамках основного образовательного процесса; разработка порошковых материалов, биосовместимых материалов, полимеров, композиционных и керамических материалов, наноструктурированных катализаторов.

ЗАО "Нанотехнология МДТ" (Москва, Зеленоград) — разработка, производство и реализация оборудования на основе сканирующих зондовых микроскопов для научно-образовательных и научно-исследовательских целей (учебные лаборатории "Наноэдукатор", специальные СЗМ "Солвер", многофункциональные лаборатории "Интегра", нанофабрики полного цикла "Нанофаб" для отработки нанотехнологических процессов и создания новых наноустройств).

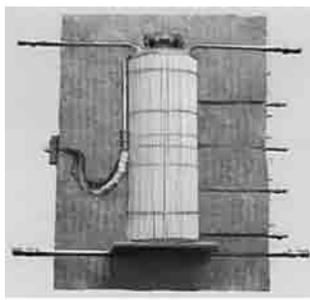
ЦНИИ КМ "Прометей", Научно-производственный комплекс "Материалы и вопросы безопасности энергетических установок" (С.-Петербург):

— проведение комплексных научных исследований в области атомной, термоядерной и тепловой энергетики, а также в других областях техники;

— конструкционные стали для нефтехимического и атомного энергетического машиностроения (теплоустойчивые, радиационно-стойкие хромомолибденованадиевые стали 12Х2МФА, 15Х2МФА, 25Х2МФА, 25Х3МФА, высокопрочные свариваемые стали 115Х3НМФА, 15Х2НМ1ФА, водородостойкая свариваемая сталь системы 3Сг—Мо—V, экономнолегированные теплоустойчивые стали 10ХН1М, 10Х1Н1М, свариваемая экономнолегированная сталь 09Г2СА-А высокой ударостойкости при температуре до -50 °С и др.).

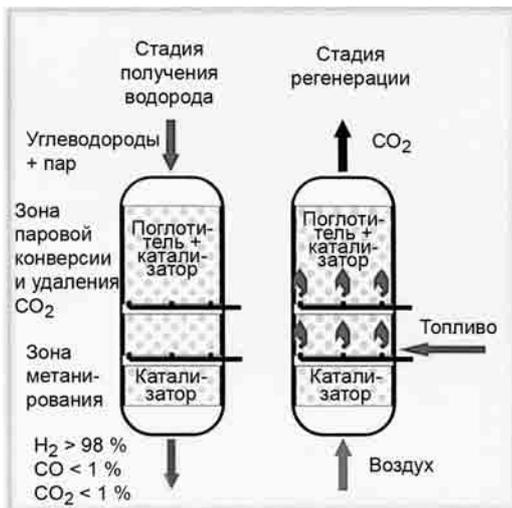
Арзамасский политехнический институт, Нижегородский государственный технический университет — технология изготовления литых магнитопроводов ротора и статора электродвигателей на основе выплавляемых ферросплавов — диэлектротехнология. При замене электромоторов с шихтованными магнитопроводами на монолитные магнитопроводы, полученные методом литейной металлургии, обеспечиваются возможность массового производства и значительный экономический эффект (снижение в 5—6 раз трудоемкости и себестоимости). Область применения: наноиндустрия, приборостроение, машиностроение, электротехническая промышленность.

Кемеровский государственный университет — высокостойкая изоляция нового поколения на основе модифицированных силоксановых полимеров для мощных электродвигателей, генераторов, трансформаторов для различных отраслей промышленности. Применение электроизоляции позволяет увеличить



а)

Рис. 3. Новая технология получения водорода: а — демонстрационная установка; б — принципиальная схема процесса



б)

надежность работы и срок службы электродвигателей в 5—10 раз, уменьшить габаритные размеры и материалоемкость до 50 %, а также снизить затраты на обслуживание и капитальный ремонт.

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (Новосибирск):

- технологии получения водородсодержащего газа из природного газа производительностью по синтез-газу 5 м³/ч (объемная доля водорода в синтез-газе около 75 %);

- технологии получения водородсодержащего газа из метана и метанола в микрореакторах производительностью по водороду 375 и 10 л/ч соответственно;

- портативные генераторы чистого водорода из боргидрида натрия (гранулированные и блочные катализаторы, позволяющие получать водород чистотой 99,98 %);

- новая технология получения водорода — адсорбционно-каталитическая конверсия природного газа, биоэтанола, сжиженного газа. Преимущества технологии: высокая чистота получаемого водорода (свыше 98 %), переработка топлива с содержанием серы до 20 %, катализаторы и адсорбенты не содержат благородные металлы (рис. 3).

Астраханский государственный университет — электрокинетический преобразователь (выработка электрической энергии посредством прохождения воды под давлением). Преобразователь позволяет повысить чувствительность при преобразовании постоянного и переменного давления в электрический сигнал. Внедрение преобразователей обеспечивает уменьшение расходов, связанных с энергетическими затратами. Разра-

ботка конструкции преобразователя механического давления в электрический сигнал, способного регистрировать изменения давления в широком диапазоне измерения (0,1 Па — 1,0 МПа). На базе такого электрокинетического преобразователя возможно создание альтернативного источника электроэнергии для портативных устройств.

ООО "Малые газопоршневые ТЭС" (Москва) — производство газовых и дизельных электростанций мощностью 60, 100, 200 и 315 кВт и мини-ТЭЦ мощностью электрической/тепловой 100/130, 200/260 и 315/420 кВт. Такие установки имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими аналогами: короткие сроки монтажа, быстрый запуск, от-

носительную простоту обслуживания, возможность одновременного производства электрической и тепловой энергии, высокую эффективность использования топлива и относительно низкую себестоимость. Установки имеют различное исполнение: стационарные, передвижные, открытые, в контейнерах.

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) — ветроэнергетическая установка (ветродвигатели), в которой в отличие от традиционных ветроэнергетических станций (ветродвигатели которых устанавливаются на мачтах на высоте около 50 м от уровня земли) ветродвигатели имеют форму горизонтального барабана с радиальными лопастями. Такая конструкция приобретает дополнительную прочность, что позволяет применять установку при ураганных ветрах.

При использовании потоков ветра, проходящих не только вблизи поверхности земли, но и на больших высотах, предлагаются ветроловушки, что повышает КПД установки в 1,5—2 раза. Общая схема ветроэнергетической установки приведена на рис. 4.

ООО НТЦ "ТермоИзолит" (Москва) — новый суперматериал для прессы технологий — прессовая компенсационная подушка "Прессинг" для формующего пресса. Применяется при прессовании в формующем прессе фольгированных и нефольгированных диэлектриков, стеклотекстолитов, многослойных печатных плат,

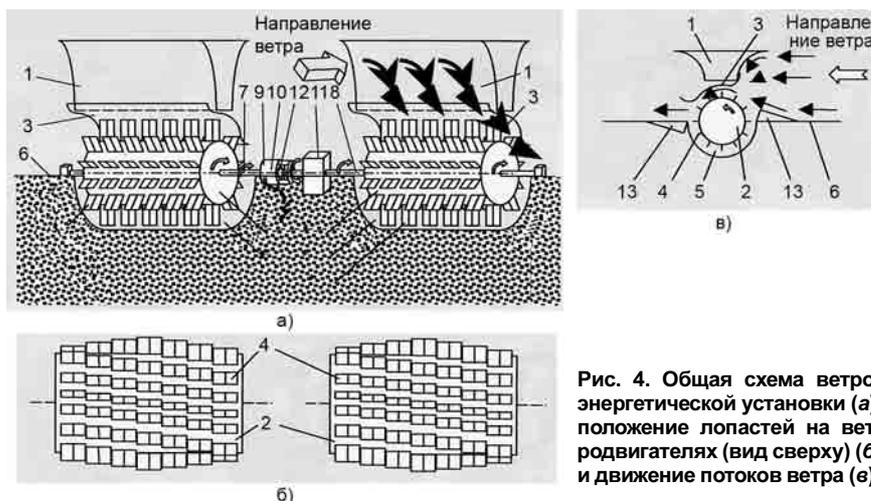


Рис. 4. Общая схема ветроэнергетической установки (а), положение лопастей на ветродвигателях (вид сверху) (б) и движение потоков ветра (в):

1 — неподвижные направляющие, ветроловушки; 2 — барабан ветродвигателя; 3 — нижние подвижные направляющие; 4 — радиальные лопасти; 5 — траншеи; 6 — уровень земли; 7, 8 — два соосных горизонтальных вала ветродвигателя; 9 — ротор генератора электрического тока; 10 — генератор электрического тока; 11 — система зубчатых передач; 12 — статор генератора электрического тока; 13 — подвижные поворотные козырьки

конструкционных и декоративных бумажно-слоистых пластиков, фанеры, древесно-стружечных плит и др. Прессовая компенсационная подушка "Прессинг" разработана при финансовой поддержке Правительства РФ через Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Подушка представляет монолитную конструкцию из композиции теплоустойчивых, теплопроводных материалов толщиной 1,5—3,5 мм, не требует изменения технологического процесса, экономичная, обеспечивает 100 циклов прессования. Прессовая компенсационная подушка "Прессинг" не имеет аналогов.

Пушкинский научный центр РАН — фундаментальные исследования в области физико-химической биологии, молекулярной биологии, биоорганической химии, геномной и клеточной инженерии, биофизики, радиоастрономии, астрофизики и др.

Пушкинский научный центр объединяет девять институтов биологического профиля (Институт белка, Институт биологического приборостроения с опытным производством, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения и др.) и Радиоастрономическую обсерваторию астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН.

Московский государственный университет прикладной биотехнологии — комплексная модификация отходов упаковочного производства, в основном отходов агропромышленного комплекса, с получением вторичного сырья и готовой продукции. Разработан проект ТУ на биоразлагаемые полимерные композиции и технического регламента на их производство.

ГНЦ РФ "Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов "ГНИИГЕНЕТИКА" (Москва) — разработка фундаментальных основ генетики и геномной инженерии промышленных микроорганизмов — продуктов аминокислот, витаминов, кормового белка и др.

ООО "Кировский БиоХимЗавод" — новое экологически безопасное топливо — пеллеты; топливный биоэтанол — добавка к бензину.

Государственный координационно-аналитический центр развития "живых систем":

— координационные информационно-аналитические работы по приоритетному направлению развития науки, техники и технологии РФ "Живые системы";

— организация мероприятий, способствующих активизации инновационной деятельности;

— координация работ, направленных на развитие и внедрение отечественных разработок в различных отраслях биологии, биотехнологии и генно-инженерной деятельности.

ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" (Москва) — научные разработки:

— снижение выбросов вредных веществ с обработанными газами транспортных средств и снижение потребления традиционных топлив;

— автомобиль ВАЗ-11173 "Калина" — "Биоэтанол" для передвижения в мегаполисах. Применение на данном автомобиле двигателя, работающего на биоэтаноле, позволяет снизить выбросы парниковых газов (CO_2) и удовлетворяет требованиям Евро-4.

Преимущества: реагент для подачи в систему нейтрализации вырабатывается на борту автомобиля из топлива, т. е. не требуется заправка дополнительного вещества (например мочевины) для системы нейтрализации (рис. 5).

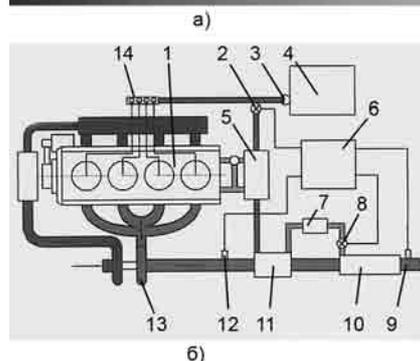


Рис. 5. Общий вид автомобиля ВАЗ-11173 "Калина" — "Биоэтанол" (а) и система снижения выбросов оксида азота (б): 1 — двигатель; 2 — электромагнитный клапан; 3 — топливopодкачивающий насос; 4 — топливный бак; 5 — теплообменник; 6 — блок управления; 7 — аккумуляторная камера; 8 — электромагнитный клапан; 9 — датчик оксидов азота; 10 — каталитический нейтрализатор; 11 — терморектор; 12 — датчик температуры; 13 — турбокомпрессор; 14 — топливный насос высокого давления

Некоммерческое партнерство "Национальная ассоциация водородной энергетики" (Москва):

— разработка автомобиля (ГАЗ 330232 "Газель"), работающего на бензоводородных композициях с электронной системой подачи топлива. Технология позволяет использовать водород в двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием современных транспортных средств;

— комплект многотопливной аппаратуры для переоборудования серийных автомобилей для работы на водороде, природном газе, биоэтаноле, а также на смеси природного газа с водородом, бензине с добавками водорода и других водородсодержащих топливных композициях. Преимущества: при переоборудовании автомобилей, соответствующих требованиям Евро-3, возможно достижение уровня Евро-4, уменьшается расход бензина в 1,5—2 раза, улучшается топливная экономичность в условиях городской эксплуатации на 20—25 %, простота монтажа, надежность и универсальность бензоводородной системы питания.

ООО "Экс-Авиа НН" (Нижний Новгород) — разработка и производство самолетов с шасси на воздушной подушке (СШВП) безаэродромного базирования, способных взлетать (садиться) с любой относительно ровной поверхности: бетона, грунта, пашни, песка, снега, льда, воды, болота (рис. 6). Самолет прошел сертификационные испытания, получен опыт эксплуатации в различных средах.



Рис. 6. Безаэродромный четырехместный самолет с шасси на воздушной подушке

Назначение самолета: облет линий электропередач, газопроводов, обслуживание геологических партий, метеостанций, доставка мелких грузов. Может использоваться для различных транспортных операций (туризм, отдых и др.). Проработана возможность создания самолетов с шасси на воздушной подушке различной вместимости (четырёхместный, масса груза 60 кг, дальность 1200 км, скорость крейсерская 180—220 км/ч,

полезная нагрузка 480 кг, масса топлива 100 кг).

Астраханский государственный университет — сепараторы автономные проточного типа для нефтешламов, нефтепродуктов и сточных вод. Предназначены для улавливания, сбора и выгрузки механических примесей при перекачке нефтешламов, полученных в результате зачистки нефтехранилищ от донных отложений, нефтепродуктов и сточных вод. Конструкция сепараторов выгодно отличается от известных устройств отсутствием электромеханического привода и возможностью монтажа сепаратора на любом участке перекачивающего трубопровода, а также сочетанием достаточно эффективной очистки продукта от механических примесей и возможности освобождать накопитель от механических примесей, не прерывая процесс перекачки. Проект в стадии разработки.

Центр экологических инициатив "ПРЕСС-ТОРФ", ЗАО "Маркетинг бюро" (г. Киров) — комплексная технология ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Технология включает:

— гидрофобный торфоминеральный сорбент "СОРБОНАФТ" для сбора нефти и нефтепродуктов на воде и почве;

— способ и средства нанесения сорбентов (наносятся на нефтезагрязненную поверхность в струе воды под давлением с использованием штатных технических средств);

— способ и средства утилизации сорбента с использованием технологии его переработки в торфонефтяные топливные брикеты, а также микробиологический способ утилизации.

Комплексная технология — лауреат "Национальной экологической премии—2007".

Федеральное космическое агентство, ФГУП "Центр Келдыша" (Москва) — микрофильтрационные элементы на основе трековых мембран. Предназначены для эксплуатации в составе водоподготовительных установках в технологических схемах очистки воды для систем водоснабжения хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. Принцип очистки основан на мембранной технологии отделения загрязняющих веществ из воды и заключается в фильтрации исходной воды, прокачиваемой под давлением через трековую мембрану.

Для производства трековых мембран используются полимерные пленки различной толщины. Отличаются

по размеру пор, производительности, габаритным размерам и массе.

Димитровградский институт технологии, управления и дизайна — филиал Ульяновского ГТУ — очистка воды с помощью цеолитовых (группа породообразующих минералов, водных алюмосиликатов, главным образом кальция и натрия) фильтров-сорбентов.

Разработаны три технологии очистки воды:

— очистка питьевой воды: фильтрация и удаление вредных примесей, доведение воды до нормального содержания в ней макро- и микроэлементов;

— подготовка воды для производства: очистка воды до уровня ТУ производства (гарантия отсутствия образования накипи в оборудовании и механизмах);

— очистка сточных вод: полная ликвидация загрязнений от деятельности производства и быта, получение возможности оборотного водоснабжения.

Преимущества цеолитовых фильтров-сорбентов: малагабаритность, низкая стоимость, высокая производительность, срок службы без замены сорбента более 10 лет.

Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка Московской обл.) — переработка промышленных и бытовых отходов методом фильтрационного горения со сверхadiaбатическим разогревом. Разработан двухстадийный способ использования низкосортных топлив для получения тепловой и электрической энергии: газификация в сверхadiaбатическом режиме, сжигание полученного энергетического газа в энергетических установках. Применяется для переработки промышленных и бытовых отходов с получением энергии. Разработано промышленное оборудование (реакторы-газификаторы) для реализации процесса в периодическом и непрерывных процессах. Разработаны соответствующие технологии переработки отходов.

Разработка защищена патентами, удостоена золотой медали Салона изобретений "Брюссель—Эврика" (Швеция).

Инновационно-инвестиционный фонд Самарской обл. — технология переработки многотоннажных отходов (органоминеральных шламов, сопутствующих очистке стоков на предприятиях машиностроительного комплекса, а также образующихся при нефтедобыче и технологической переработке нефти) в строительные

материалы. Преимущества: широкая область применения данной технологии, широкая номенклатура создаваемых строительных материалов. Стадия разработки: доведение до промышленного уровня.

Фирма "Экоаналитика" (Калуга): — экологическое проектирование (проекты нормативов ПДВ, ПДС, образования отходов и лимиты на их размещение, документы по оценке действия на окружающую среду действующих и проектируемых предприятий и др.);

— разработка программных продуктов в области охраны окружающей среды (программно-аналитический комплекс "воздух—город", "отходы—город" (регион), "отходы—предприятие");

— разработка и обслуживание очистных сооружений и др. Фирма имеет необходимые лицензии на проведение природоохранных работ на территории РФ.

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (Новосибирск) — экологически чистый теплогенератор. Принцип действия теплогенератора основан на двухстадийном сжигании жидкого или газообразного топлива (природного газа). На первой стадии осуществляется факельное сжигание топлива. Полученные топочные газы с помощью центробежного вентилятора разбавляют воздухом до достижения необходимой температуры и подают смесь во вторую камеру, где установлена кассета с блочным катализатором сетевой структуры. На каталитической кассете при температуре 400—800 °С протекает глубокое окисление продуктов неполного сгорания топлива и оксида углерода, а также восстановление оксидов азота.

Техническая характеристика теплогенератора мощностью 90 кВт: расход природного газа 9,1 м³/ч, производительность по воздуху 5000 м³/ч, нагрев воздуха не менее 110 °С. Коэффициент полезного использова-



Рис. 7. Экологически чистый теплогенератор для обогрева теплиц

ния теплоты 99 %. Теплогенератор обеспечивает экономию и экологическую чистоту сгорания топлива, имеет пониженную металлоемкость, надежен в эксплуатации. Область применения: обогрев теплиц, хранилищ, производственных и вспомогательных помещений небытового назначения (рис. 7).

Институт автоматики и электротехники "ИАиЭ" (Новосибирск):

— оптоволоконные мультисенсорные системы. Преимущества: дистанционный контроль (до нескольких километров) без подвода электрического питания к датчикам, пожаро- и взрывобезопасность, повышенная стойкость против коррозии. Область применения: контроль параметров протяженных объектов в угольной (конвейеры в шахтах) и нефтегазовой (скважины, трубопроводы, хранилища) отраслях, строительных конструкций и объектов энергетики;

— лазерные технологии для микрообработки и прецизионного вывода изображений моделей (лазерное гравирование, резка, перфорирование, послойный синтез из порошковых материалов, лазерная запись многоуровневого изображения);

— шаговые линейные высокоэнергоемкие микродвигатели. Преимущества: микроэлектронные конструкция и технология изготовления, высокая удельная энергоемкость до 50—100 Вт/кг, гибкое управление величиной шага и мощностью двигателя. Область применения: микроэлектроника, шаговые микро- и нанопозиционеры, скоростные микросканеры, микронасосы, микророботы, искусственные мускулы, сенсоры и др.

Рязанский институт — филиал МГОУ — инновационный проект: "Система автоматизированного нормирования маршрутно-операционных технологических процессов". Система предназначена для автоматизации работ технологических подразделений машиностроительных предприятий. Обеспечивает процесс интерактивного диалогового расчета режимов резания и норм основного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени для работ, выполняемых на различном станочном оборудовании в условиях единичного, мелко- и среднесерийного производства. Система может быть легко адаптирована для работы в условиях конкретного предприятия.

ООО НПК "Генезис знаний" (Самара) — разработка программного обеспечения на основе инновацион-

ных информационных технологий: заказное программное обеспечение, системы автоматизированного управления предприятием, управления логистикой, для электронной коммерции, интернет-порталы и сайты любой сложности, обучающие системы, тренажеры, продажа и внедрение программного обеспечения.

Всероссийский институт научной и технической информации "ВИНИТИ" (Москва) — обработка документов по естественным, точным, техническим и прикладным наукам, разным отраслям народного хозяйства и некоторым комплексным проблемам. Базы данных ВИНТИ доступны в сети Интернет.

Отличительная черта салона — достаточно широкое представительство организаций, фирм и компаний по оказанию услуг в области инновационной деятельности (более 40). Ниже приведены некоторые из них.

Ассоциация "Российский дом международного научно-технического сотрудничества" (некоммерческая организация) (Москва) — формирование банка данных о российских технологиях, не имеющих аналогов за рубежом. Трансфер отечественных технологий за рубеж с целью создания на их основе совместных производственных предприятий.

Белорусский инновационный фонд (некоммерческая организация) (Минск) — комплексная поддержка инновационной деятельности в Республике Беларусь.

Компания "Бюро венчурных инвестиций" (Москва) — полный комплекс бизнес-услуг в инновационной сфере (привлечение финансирования, разработка бизнес-планов, юридические услуги в инновационной сфере, маркетинговые исследования, патентные услуги и др.).

Бюро управления инновационными проектами (БУИП) (Москва) — создание в рамках программ Международного фонда технологий и инвестиций (IFTI) как системного организатора и управленца малых инновационных предприятий.

Государственная некоммерческая организация "Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан" (Казань) — повышение инновационного потенциала Республики Татарстан, развитие наукоемких производств и внедрение новых прогрессивных технологий, поддержка инноваций, создание условий для увеличения числа предприятий венчурного капитала, совершенствова-

ние системы поддержки малого и среднего бизнеса.

Инновационное бюро "Эксперт" (Москва) — консультационные, информационные и аналитические услуги на российском инновационном рынке. Бюро проводит конкурсы инновационных проектов — "Конкурс русских инноваций" (ежегодно с 2001 г.), а также конкурс для студентов "Лучший бизнес-план инновационного проекта".

Государственное учреждение "Нижегородский инвестиционный бизнес-инкубатор" — сервисная поддержка инновационных проектов на раннем этапе развития (консалтинговые услуги, содействие в поиске инвесторов, предоставление на льготных условиях в аренду офисных помещений, образовательные и другие услуги).

ОАО "Центр акционирования инновационных разработок" — ЦАИР (Москва) — поиск и оценка перспективных результатов исследований для создания на их основе малого бизнеса, поиск инвестиций для продвижения проектов, оценка инновационного потенциала научных организаций и регионов, практическая подготовка инновационных менеджеров.

Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Москва) — оказание прямой безвозмездной финансовой помощи малым инновационным предприятиям, реализующим проекты по разработке и освоению новых видов наукоемкой продукции и технологий на основе интеллектуальной собственности. Идеология программ: выработка и практическая реализация инструментов содействия коммерциализации научного потенциала РФ через малые предприятия.

Определенный интерес у специалистов и посетителей салона вызвали национальные экспозиции Республики Татарстан и Республики Беларусь, а также ряд стендов зарубежных стран.

Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан:

— организация производства оборудования по модификации поверхностей изделий из металлов и сплавов при помощи многоканального плазменного разряда. Разработанный метод — решение сложных проблем финишной обработки металлов и сплавов (рис. 8). Преимущества: совмещение в одной технологической установке операций обезжиривания, травления, полировки и модификации поверхности, высокая скорость обра-

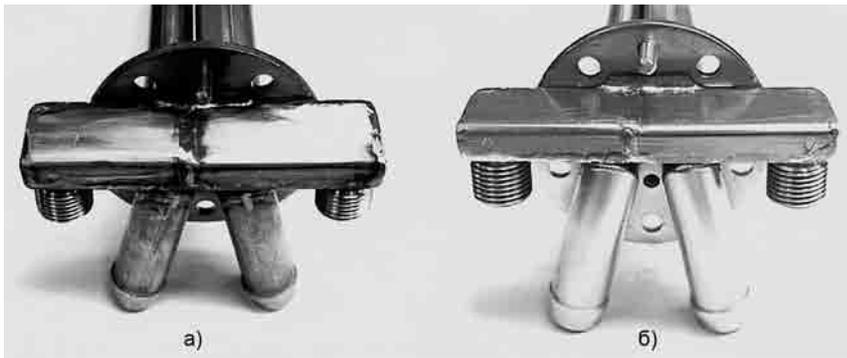


Рис. 8. Общий вид деталей до (а) и после (б) электролитно-плазменной обработки (ЭПО)

ботки, в 5—6 раз более экономичен, чем аналогичные методы — ЭПО и др.;

— организация производства нового вида щелочных аккумуляторов. Реализация проекта: разработаны, изготовлены и испытаны макетные образцы новых аккумуляторов и материалов с характеристиками, превышающими известные мировые аналоги. Ужесточение экологических требований к выбросам вредных веществ в автомобилестроении (Евро-3, 4, 5) при производстве, утилизации, эксплуатации автомобилей, а также переход на бортовое напряжение 36 В для легковых и 42 и 48 В для грузовых автомобилей, повышает возможность использования более эффективных источников тока. Преимущества: увеличение срока службы аккумуляторной батареи до 7 лет, использование экологически чистого аккумулятора вместо свинцово-кислотного, уменьшение массы и габаритных размеров аккумулятора в 3 раза, что позволит в грузовых автомобилях разместить аккумуляторную батарею в кабине водителя и др.;

— организация производства по переработке отходов металлургического производства ОАО "КамАЗ—металлургия". Технология направлена на утилизацию техногенных отходов литейного и кузнечного производств, получение из них продукции, используемой в собственном производстве и дорожном строительстве, экономию природного сырья. В отличие от известных способов брикетирования, где процесс происходит при наличии посторонних связующих материалов, разрабатываемая в проекте технология предполагает получение брикетов с применением отходов предприятия. Отличительной особенностью технологии брикетирования является возможность изготовления брикетов из шихтовых смесей (максимально приближены к традиционной шихтовой плавке, не вносят

вредных примесей от связующих материалов). Получаемая продукция из железосодержащих отходов: железобрикет, дробь стальная литая, чугунный скрап, минеральный порошок. Преимущества: более низкая стоимость выплавляемого металла, замена чугуна и стального лома, повышение производительности, уменьшение потерь шихты и др.

Республиканский Центр трансфера технологий (РЦТТ) Республики Беларусь — содействие сотрудничеству между разработчиками, предпринимателями и инвесторами.

Белорусский государственный университет (научно-инвестиционный отдел) (Минск):

— термостойкие композиционные материалы. Некоторые составы успешно использованы в узлах ракетно-космической системы "Энергия—Буран". Предлагаются теплоизоляционные и футеровочные материалы, огнеупоры, покрытия, клеевые композиции, связующие краски.

Материалы негорючи, нетоксичны, экологически чистые, безотходное производство не требует сложного оборудования. Область применения: металлургия, производство огнеупоров, керамики, строительных материалов, космическая техника;

— разработаны и изготовлены образцы уникальных патронных фильтров из новых пленочно-тканевых материалов для очистки артезианских и поверхностных вод, доочистки водопроводной холодной и горячей воды, различных технологических растворов, хозяйственно-бытовых и производственных стоков от песка, механических примесей и других загрязнений. Преимущества фильтров по сравнению с другими аналогами: высокая производительность (1—100 м³/ч), тонкая фильтрация (1—10 мкм), сверхмалые размеры (от 90 × 120 до 800 × 800 мм), многократные регенерируемые Н⁰ТЕХМА-

фильтры (BSU) (рис. 9). Новые фильтры устойчивы к действию микроорганизмов, горячей воды и перегретого пара, разбавленных кислот и щелочей, выдерживают химическую и температурную стерилизацию. Материалы фильтров нетоксичны и разрешены Минздравом РБ к использованию в пищевой промышленности;

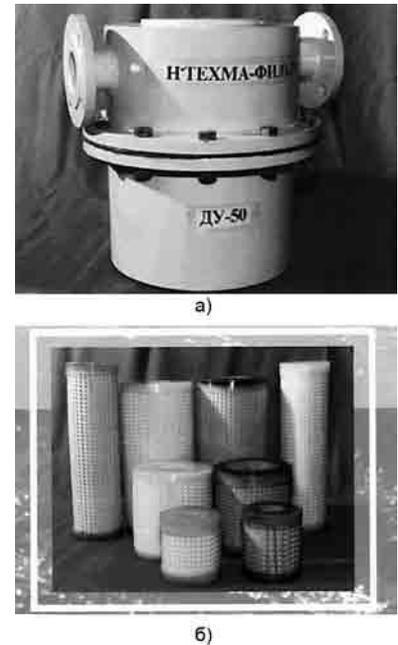


Рис. 9. Н⁰ТЕХМА-фильтр (BSU): а — общий вид; б — материал фильтра

— программно-аппаратный комплекс оценки технического состояния изделий машиностроения (компрессоры, прокатные станы, насосы, подшипниковая продукция и др.). За счет современных методов обработки вибрационных сигналов обеспечивается достоверное выявление дефектов на ранних стадиях развития и возможность функционирования комплекса в автономном режиме, в том числе без присутствия эксперта. Встроенные средства телеметрии обеспечивают удаленный контроль технического состояния объекта диагностики, позволяют вести протоколирование работы оборудования, оперативно реагировать на изменение режимов его работы.

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ — технология непрерывного получения дизельного топлива из рапсового масла для транспорта, энергетики, сельского хозяйства. Биотопливо представляет смесь метиловых эфиров высших жирных кислот, вязкая жидкость светло-желтого цвета, легко растворима в неполярных и хлорированных органических раство-

рителях, мало растворимо в воде. Организовано производство метиловых эфиров жирных кислот (дизельное биотопливо) мощностью 500 тыс. т и смесового дизельного биотоплива 100 тыс. т на базе ОАО "Гродно Азот".

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Республики Беларусь (Минск):

— установка лазерной маркировки и гравировки изделий из металла, пластика и керамики, а также изделий с лакокрасочным и другими покрытиями. Предназначена для использования в заводских условиях машиностроительной, приборостроительной и металлообрабатывающей отраслях промышленности.

Техническая характеристика: потребляемая мощность 4 кВт, длина лазерного излучения 1,06 мкм (возможна модификация 10,6 мкм), минимальная высота гравировочных знаков 0,6 мм, габаритные размеры 1900 × 900 × 1200 мм, масса 250 кг;

— установка для лазерной резки металлов. Предназначена для использования в заводских условиях машиностроительной и металлообрабатывающей отраслях промышленности. Техническая характеристика: толщина разрезаемого металла (стали) до 5 мм, масса обрабатываемой детали до 10 кг, длина волны излучения 1,06 мкм, мощность лазерного излучения до 150 Вт, режим работы — импульсный.

Набор оборудования: блоки для вращения обрабатываемой детали вокруг вертикальной и поперечной осей, световодная приставка для транспортировки лазерного излучения, аппарат визуального контроля и контроля видеокамерой, трехосевой стол;

— оптические профилометры для контроля поверхности цилиндрических изделий в машиностроении. Разработанные оптические профилометры, основанные на применении конических пучков, перспективны для

экспресс-анализа и контроля промышленных изделий на машиностроительных предприятиях (рис. 10).

Профилометры осуществляют параллельное измерение всей цилиндрической поверхности, что исключает необходимость вращения объекта в процессе измерения. Преимущества профилометров данного типа: высокое быстродействие, виброустойчивость одноплечевых схем профилометров, возможность профилометрии шероховатых поверхностей, высокая точность измерений отклонений профиля от цилиндрического.

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого — технология магнитоэлектрического упрочнения быстроизнашиваемых деталей машин (элементов технического оборудования, рабочих органов строительной и дорожной техники и др.). Установка состоит из сварочного трансформатора, электромагнитной катушки и специальной оснастки и монтируется на базе универсальных станков (токарного или фрезерного). Техническая характеристика: ток 75—150 А, напряжение холостого хода генератора 18—50 В, магнитная индукция в зазоре 0,05—0,40 Тл, производительность 10 225 см²/мин, толщина наносимого слоя 0,25—0,50 мм. В качестве наплавочных материалов используют порошки (ферробор, легированные стали и чугуны, самофлюсующие порошки на железной основе) с частицами сферической или неправильной формы размером от 0,315 до 0,630 мм. Преимущества: простота используемого технологического оборудования, низкая себестоимость наплавочных материалов и покрытий, гетерогенная (микроскопическая неоднородная физико-химическая система/структура), высокая износостойкость в различных условиях эксплуатации.

Национальное республиканское унитарное предприятие "На-

учно-технологический парк при Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) "МЕТОЛИТ" (Минск) — новые материалы (порошки и защитные покрытия с аморфно-кристаллической структурой). Назначение и область применения: порошки и защитные покрытия для изготовления изделий методами порошковой металлургии, изготовления гибких шнуровых материалов, нанесения покрытий газотермическими методами, для газотермического упрочнения и восстановления деталей, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Получение порошков осуществляется плазмохимическим синтезом композиционных частиц на основе тугоплавких соединений. Композиции, содержащие в своей структуре аморфные фазы, позволяют получать материалы с уникальными свойствами (например, газотермические покрытия многофункционального назначения: износо-, ударо- и коррозионно-стойкие, жаростойкие, теплоизоляционные). Восстановление шпинделей в ОАО "Минский подшипниковый завод" позволяет снизить их стоимость в 3—7 раз.

На экспозиции выставки были представлены фирмы зарубежных стран: фирма **ECOACCIAI SpA** (Италия) — охрана окружающей среды, альтернативные источники энергии; **Ассоциация венгерских изобретателей** (Будапешт) — трансфер венгерских изобретений на мировой рынок, а также импорт зарубежных изобретений и новых изделий; **Корейская ассоциация продвижения интеллектуальной собственности** (Сеул); **Государственная организация "Национальный совет Таиланда по научным исследованиям"** (Бангкок) — разработка государственной политики в области научных исследований; фирма **"Ист Вест технолоджи Трансфер"** (Германия) — содействие трансферу российских технологий за рубеж и юридическая помощь в патентовании российских изобретений в других странах.

В рамках салона были организованы мероприятия под девизом "Национальные приоритеты развития России: образование, наука, инновации". Лучшие инновационные и инвестиционные изобретения и товарные знаки награждены специальными призами, медалями и дипломами международного жюри и оргкомитета салона.

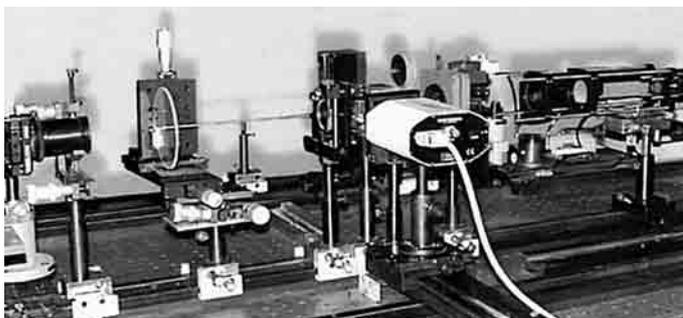


Рис. 10. Лабораторный макет профилометра

Ан. А. СУСЛОВ, канд. техн. наук

10-я Международная научно-практическая конференция "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки"

15—18 апреля 2008 г. в Санкт-Петербурге состоялась 10-я Международная научно-практическая конференция "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки", организованная научно-производственной фирмой "Плазмацентр" и Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом.

В работе конференции участвовали около 550 представителей различных предприятий и организаций России, Республики Беларусь, Украины, Казахстана, Азербайджана, Молдавии и Армении. Около 40 периодических изданий являлись ее информационными партнерами.

Работа конференции осуществлялась по четырем взаимосвязанным направлениям: технологии восстановления первоначальной (заданной) геометрии поверхности и сварки изделий; конструкционные и эксплуатационные методы повышения долговечности, триботехника, обработка поверхности изделий; технологии упрочнения и восстановления физико-механических свойств поверхности; технологии дефектации, диагностики, мойки и очистки.

Во вступительном слове полномочный представитель Президента Российской Федерации в Северо-Западном Федеральном округе И. И. Клебанов отметил, что данная конференция — это значительное событие в научно-промышленной сфере, направленное на обеспечение функционирования используемой промышленной продукции, а также средств технического и технологического оснащения производств. Проведение в Санкт-Петербурге конференции по данной тематике является авторитетным мероприятием в области технологий ремонта оборудования.

Открывая конференцию, генеральный директор НПФ "Плазмацентр" П. А. Тополянский, отметил, что наряду с масштабностью и значимостью проводимой в Санкт-Петербурге конференции главным ее отличием является участие в ее работе не только ученых, преподавателей и разработчиков технологий ремонта, восстановления, упрочнения и повышения долговечности оборудования, но и представителей промышленности — непосредственных потребителей данных технологий из разных областей России и стран СНГ. Именно прямое общение разработчика и непосредственного потребителя инновационных проектов характерно для данных конференций, основной целью которых является внедрение технологий. Лозунг конференции — "Руководителей надо учить", так как повышение качества, надежности и долговечности выпускаемой продукции зависит не от отдела технического контроля, а именно от руководителя, который должен знать основы создания конкурентоспособной продукции. Особенностью проводимых конференций является их практическая направленность, возможность внедрения технологий ремонта, восстановления и упрочнения, демонстрация и презентация нанесения износо-

стойких покрытий на изделия. На конференциях всегда присутствуют студенты и аспиранты, которым наглядно демонстрируется необходимость и востребованность их знаний на современном этапе развития.

На конференции было заслушано более 70 пленарных докладов. Каждая организация, представившая доклад, была отмечена почетным дипломом. Доклады и их аннотации представлены на сайте www.plasmacentre.ru.

На конференции распространяли компакт-диск "Энциклопедия технологий ремонта, восстановления и упрочнения", содержащий материалы предшествующих конференций с компьютерной программой поиска (по ключевым словам) информации для решения производственных задач. Была проведена презентация монографии Н. А. Соснина, С. А. Ермакова, П. А. Тополянского "Плазменные технологии".

Для участников конференции было организовано посещение промышленных участков по восстановлению и нанесению функциональных покрытий с использованием технологий газотермического напыления и наплавки. На выставочных площадях демонстрировалось оборудование нового поколения, разработанное специалистами НПФ "Плазмацентр" для финишного плазменного упрочнения инструмента и деталей технологической оснастки.

В рамках конференции была организована школа-семинар "Все методы повышения стойкости инструмента, штампов, пресс-форм и другой технологической оснастки", где освещались практически все известные в России и за рубежом технологии упрочнения инструмента и оснастки. Участникам школы-семинара продемонстрирован новый процесс финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия, обеспечивающий многократное повышение стойкости изделий за несколько минут обработки. Производилось также упрочнение привезенного слушателями инструмента и технологической оснастки.

Участники конференции отметили существенную активизацию работ по применению новых наукоемких технологий для ремонта, и, особенно для упрочнения ответственных деталей и инструмента; широкое применение плазменных, лазерных и других высокоэффективных электрофизических процессов для продления ресурса работы деталей, инструмента и технологической оснастки; расширение применения нанотехнологий для упрочнения различных изделий и совместную работу ученых и практиков различных стран СНГ.

Международные конференции подобного формата являются эффективным средством, способствующим развитию практически всех секторов экономики как России, так и других стран.

Участники конференции приняли следующее постановление. Учитывая накопленный многолетний опыт проведения конференций по данной тематике, наличие обширной информации, поступающей от заказчиков, по про-

блемам ремонта, а также технической базы в области данных технологий, поддержать инициативу организатора данной конференции — НПФ "Плазмацентр" — по созданию в Санкт-Петербурге Центра технологий ремонта, восстановления и упрочнения. Основная цель функционирования центра — оказание информационных услуг по проблемам ремонта, восстановления и упрочнения и предоставление информации об исполнителях данных работ.

На сайте НПФ "Плазмацентр" (www.plasmacentre.ru) открыт постоянно действующий форум "Проблемы ремонта, восстановления и упрочнения", сформировать

банк данных исполнителей технологий ремонта и восстановления и упрочнения.

Ежегодно проводимая в Санкт-Петербурге конференция, посвященная технологиям ремонта, восстановления и упрочнения, является важным звеном для обоюдной интеграции науки и производства.

К открытию конференции был издан сборник ее материалов в двух томах.

П. А. ТОПОЛЯНСКИЙ, канд. техн. наук
ООО "НПФ "Плазмацентр"

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

JOURNAL OF JAPAN INSTITUTE OF LIGHT METALS (Vol. 57, N 1, 2007, Япония)

Matsui M. et al. Влияние температуры горячей штамповки на способность к формоизменению листового магниевого сплава AZ31. P. 2—5.

Taguchi K. et al. Оценка зависимости прочности клеевых соединений алюминиевых сплавов, выполненных с применением акрилового клея, от температуры и скорости нагружения. P. 6—11.

Kanno Y. et al. Применение прерывистого магнитного поля переменного тока для получения композитов с алюминиевой матрицей, локально упрочненной частицами SiC. P. 12—18.

Ando M. et al. Охрупчивание Cr- или Zr-содержащих Al—Zn—Mg—Cu-сплавов под воздействием атмосферных условий. P. 19—24.

Yamada H. et al. Влияние скорости деформации на высокотемпературную пластичность Al-5 % Mg-сплавов. P. 25—29.

Doi M. et al. Кристаллизация и формирование изображений двухслойных покрытий системы алюминий/аморфный полупроводник. P. 30—36.

Kosuge H. Влияние структурных превращений в процессе обработки на гомогенизацию свойств алюминиевых сплавов. Ч. 2. Al—Mg—Si- сплавы системы 6000. P. 37—43.

(Vol. 57, N 2, 2007, Япония)

Miyazaki M. et al. Магнитно-импульсная сварка алюминиевой фольги с фольгой из других металлов. P. 47—51.

Kaneko S. et al. Применение скоростной поперечной прокатки для управления текстурой технически чистого алюминия. P. 52—56.

Yamamoto A. et al. Коррозионная стойкость и микроструктуры поверхности различных магневых сплавов, обработанных фторидами. P. 57—61.

Takatsuji N. et al. Оценка качества и свойств поверхности пресс-профилией, напыленной электроимпульсным способом. P. 62—66.

Nakaura Y. et al. Измельчение рекристаллизованного зерна листового магниевого сплава AZ31 асимметричной прокаткой. P. 67—73.

Osaki Sh. et al. Характеристики водородного охрупчивания во влажной атмосфере листов алюминиевых сплавов с надрезом. P. 74—79.

Satoh Y., Yoshiie T. Изменение структуры алюминия и его сплавов при высокоскоростной деформации. P. 80—87.

Kosuge H. Влияние структурных превращений в процессе обработки на гомогенизацию свойств алюминиевых сплавов. Ч. 3. Al—Mn-сплавы системы 3000. P. 88—95.

(Vol. 57, N 3, 2007, Япония)

Yamamoto A. et al. Текстура магневых сплавов после прессования штампами с волнистой поверхностью. P. 99—104.

Kinoshita K., Osaki K. Влияние формы и размера зерна образцов для испытаний на ударную прочность при растяжении тонколистовых Al—Mg—Si-сплавов. P. 105—111.

Aonuma M. et al. Свариваемость чистого титана с магниевым сплавом AZ31 при применении сварки трением с перемешиванием. P. 112—118.

Tokuda K. et al. Режим литья на высокоскоростной двухроликковой машине и образование внутренних трещин в листовом алюминиевом сплаве 6022. P. 119—124.

Murakami K. et al. Влияние режима безэлектролизного свойства никелефосфорного покрытия. P. 125—130.

Tanihata A. et al. Применение литья под давлением для изготовления высокопрочных поршней. P. 131—136.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (N 11, 2006, Польша)

Klimpel A. et al. Влияние типа абразива на износостойкость абразивной панели, изготовленной из хромистого чугуна. P. 3—6.

Tasak E., Ziewiec A. Структура сварных соединений из низкоуглеродистых и низколегированных сталей. P. 7—12.

Szymiek K., Cwiek J. Влияние микроструктуры стали повышенной прочности на водородное разрушение. P. 13—25.

Nowacki J. et al. Подготовка документации и приемка технологии высокотемпературной пайки. P. 26—31.

Klimpel A. et al. Лазерная наплавка чугуна с шаровидным графитом, содержащего Si—Mo, с помощью никелевого порошка. P. 32—35.

Nowacki J., Wolnomiejska A. Практические аспекты процесса сварки алюминиевых сплавов. P. 35—38.

(N 12, 2006, Польша)

Babul T. Роль скорости струи в процессах формирования покрытий, выполняемых с помощью метода детонационного напыления. S. 4—6.

Adam Kruk A., Łata T. Развитие пластинчатых изломов в металлургических листах, нагруженных в направлении прокатки. S. 7—9.

Nowacki J., Wolnomiejska A. Отдельные аспекты газовой защиты при сварке алюминия. S. 10—12.

Nowakowski E. Газовые установки, используемые при сварке. S. 13—18.

Slania J. et al. Измерение и регистрация термических циклов сварки непосредственно в сварном шве с помощью измерительной системы, разработанной в Институте сварки. S. 23—26.

Żubrowski M. Физические и металлургические явления в технологиях проволочных соединений. S. 27—33.

(N 12, 2007, Польша)

Nowacki J., Wypych A. Оценка термического цикла наплавленного слоя суперсплава инконель 625 на сталь 13 CrMo4-5 с помощью метода термовидения. S. 3—7.

Haduch J., Ziewiec A. Наплавка бронзы CuSn6 на углеродистую сталь. S. 8—14.

Węglowski M. et al. Контроль процесса ТИГ-сварки на основе свечения дуги. S. 15—19.

Węgrzyn T., Miros M. Включения в металле швов, наплавленном электродом с рутиловым покрытием. S. 21—24.

Lucas W., Bertaso D. Применение ТИГ-сварки сжатой дугой и плазменно-дуговой сварки для повышения производительности. S. 29—33.

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

SUDURA
(An. XVII, N 5, 2007, Румыния)

Jenicsek A. et al. Сквозная приварка шпилек на стальных листах с разными покрытиями. Р. 5—11.

Panaitecu S. Влияние входных механических параметров на выходные параметры при сварке трением с перемешиванием. Р. 13—20.

Mitelea I. et al. Параметры процесса при сварке трением чугунов с шаровидным графитом с легированными сталями для машиностроения. Р. 21—27.

Aichele G., Undi T. Применение способа ТИГ горячей проволокой при сварке в узкий зазор и орбитальной сварке. Ч. 2. Р. 30—35.

Dzelnitzki D. Дуговая сварка плавящимся электродом в защитном газе с использованием ленточного электрода — выполняется легко, повышает производительность. Р. 38—41.

VARILNA TEHNIKA
(Let. 56, N 1, 2007, Словения)

Podržaj P. et al. Применение нейронной сети для обнаружения выплеска при контактной точечной сварке. С. 7—10.

Mele M. Сварка трением с перемешиванием алюминия. С. 11—16.

(Let. 56, N 2, 2007, Словения)

Uran M. Применение анализа в пространстве состояний при проектировании устройств управления для контактной сварки с динамическим регулированием. С. 39—42.

Koveš A., Golob M. Обзор применения сварки на основе программно-управляемых методов. С. 43—51.

(Let. 56, N 3, 2007, Словения)

Международный институт сварки — обзор деятельности за 60 лет. С. 26—28.

Влияние вибраций на ударную вязкость сварных швов. С. 37—41.

WELDING JOURNAL
(Vol. 85, N 8, 2006, США)

Cho Y. et al. Односторонняя контактная точечная сварка для сборки автомобильных кузовов. Р. 26—29.

Tumuluru M. D. Контактная точечная сварка высокопрочной двухфазной стали с покрытием. Р. 31—37.

Fiore S. R. Сокращение длительности воздействия шестивалентного хрома в отходящих сварочных газах. Р. 38—42.

Klingbeil K. Что необходимо знать о лазерной сварке с дистанционным управлением. Р. 44—46.

Scotchmer N. Программное обеспечение моделирования в помощь автомобилестроительным предприятиям. Р. 47—49.

Summons M. Высокая техника сварки обеспечивает высококачественные швы, выполненные дуговой сваркой вольфрамовым электродом в защитном газе независимо от источника питания. Р. 51—52.

Дуговая сварка вольфрамовым электродом в защитном газе. Р. 80—82.

Sampath K., Varadan R. Оценка предельных величин химического состава в спецификациях электродов для дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе высокопрочной низколегированной стали. Р. 163—173.

Choi H. W. et al. Применение гибридной лазерной сварки для контроля дефектов выпуклости валика. Р. 174—179.

Yoo W.-S. et al. Обнаружение конечной точки углового шва с помощью механизированного датчика вращающейся дуги при дуговой сварке плавящимся электродом в защитном газе. Р. 180—187.

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.052:539.56

Вязкость разрушения в оценке распространения хрупкой трещины в стальных конструкциях при пониженной температуре. Аммосов А. П., Аммосов Г. С. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 3—9.

Рассмотрена возможность оценки распространения хрупкой трещины в материалах при ударных стандартных испытаниях с определением ударной вязкости и ее составляющих, а также динамического коэффициента интенсивности напряжений по диаграмме ударного нагружения без измерения площади хрупкого разрушения в образцах. Разработан простой инженерный метод расчета. Установлена связь фрактографических показателей поверхности разрушения со скоростью распространения хрупкой трещины. Определены значения коэффициентов, при которых обеспечивается хладостойкость низколегированных сталей и их сварных соединений. Табл. 1. Ил. 9. Библиогр. 11.

УДК 621.791.052:620.18

Исследование механических свойств сварных соединений коррозионно-стойкой стали со сплавами титана. Родин М. Е., Семенов А. Н., Плышевский М. И. и др. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 9—12.

Проведено исследование механических свойств сварных соединений из стали 08Х18Н10Т и сплава титана 5В в ответственных конструкциях ядерной энергетики, выполненных диффузионной сваркой в вакууме. Установлено, что термический цикл диффузионной сварки практически не влияет на кратковременную прочность сварных соединений. Качество получаемых соединений достаточно стабильное. Приведены результаты исследований. Табл. 2. Ил. 3.

УДК 621.791:621.643

Структурный фактор коррозионно-механической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб. Выбойщик Л. М., Лучкин Р. С., Платонов С. Ю. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 12—16.

Приведены результаты механических испытаний и коррозионной стойкости сварных труб из сталей 09ГФС и 13ХФА, изготовленных с использованием методов дуговой сварки под флюсом и сварки токами высокой частоты. Показано преимущество метода сварки токами высокой частоты и последующей термической обработки. Табл. 6. Ил. 7. Библиогр. 5.

УДК 621.791.92.042

Повышение хладостойкости аустенитной стали при восстановлении изношенных поверхностей электродуговой наплавкой порошковыми проволоками. Макиенко В. М., Романов И. О., Баранов Е. М., Строителев Д. В. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 17—19.

Разработана порошковая проволока для электродуговой наплавки аустенитной стали, содержащая в составе шихты ферромарганец, молотый графит и циркониевый концентрат, обеспечивающая повышение хладостойкости наплавленного металла. Стабильность порога хладоломкости обеспечивается введением в сердечник проволоки порошкового никеля. Приведены результаты исследований. Табл. 1. Ил. 7.

УДК 621.791.01

Вихревой механизм возбуждения электрической сварочной дуги. Немова Т. Н., Степанов А. П. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 20—24.

Рассмотрен вихревой механизм возбуждения электрической сварочной дуги на основе электродинамического подхода, анализа электрических и магнитных полей, движения заряженных частиц. Показано, что в столбе электрической сварочной дуги формируется токопроводящий канал, который определяет электрические и технологические свойства дуги. Ил. 7. Библиогр. 7.

УДК 621.791:658.386

Роль научных школ в решении научно-технических проблем. Фролов В. П., Плаунов В. П. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 24—26.

Приведены примеры сотрудничества научных школ в области сварки и пайки при разработке решетчатых элементов конструкций для авиации, ракетостроения и космонавтики. Ил. 2. Библиогр. 7.

УДК 621.791.753.5.048

Особенности практики использования ГОСТ Р 52222 — 2004 "Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки". Потапов Н. Н., Волобуев Ю. С., Феклистов С. И. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 27—28.

Приведен сравнительный анализ двух национальных стандартов на сварочные флюсы: ГОСТ 9087 — 81 и нового ГОСТ Р 52222. Новый стандарт регламентирует свойства флюсов 53 марок (в отличие от 23 марок ГОСТ 9087 — 81) и предусматривает выпуск новых рафинированных флюсов с применением дуплекс-процесса. Незначительное увеличение содержания оксидов железа и марганца в составе флюсов практически не влияет на свойства металла шва. Приведены результаты исследований. Ил. 2.

УДК 621.791:621.643.1/2

Автоматизация сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций. Гриненко В. И., Рошин В. В., Хаванов В. А., Полосков С. И. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 28—31.

Приведено оборудование для автоматической орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов АЭС, разработанное филиалом ФГУП "Росатомстрой" (НИКИМТ). Отмечено, что данное оборудование по своим техническим характеристикам превосходит лучшие отечественные и зарубежные аналоги. Табл. 1. Ил. 1.

УДК 621.791.793

Опыт применения электрошлаковой сварки при монтаже металлургического оборудования. Ланкин Ю. Н., Москаленко А. А., Тюкалов В. Г. и др. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 32—36.

Описан опыт применения электрошлаковой сварки для выполнения монтажных вертикальных стыков обечаек корпусов доменных печей ДП-9 в ОАО "Міттал Стіл Кривий Пір" (Украина) и ДП-5 на Енакиевском металлургическом заводе, а также для выполнения стыков корпусов конвертеров.

Приведены механические свойства металла сварного соединения сталей 06Г2Б и 09Г2С толщиной 40—50 мм, выполненных электрошлаковой сваркой с дополнительным сопутствующим охлаждением.

УДК 621.791.75:65.011.56

Квазирезонансный источник питания PLASMA 110i HF для плазменной резки. Верещаго Е. Н., Квасницкий В. Ф., Костюченко В. И. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 37—41.

Разработан источник питания нового поколения для питания мощных плазмотронов. Приведено описание его схемы, рассмотрены структура и принцип работы. Приведены результаты экспериментальных исследований и моделирования основных характеристик современного источника питания. Сделан вывод о перспективности применения нового поколения источников питания для современных плазменных технологий. Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 7.

УДК 621.791:669.295

Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана. Панфилов В. А., Мурашко В. М., Тарасов А. Н. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 42—43.

Приведено сообщение о работе, проведенной в ФГУП ОКБ "Факел" при подготовке флага России для установки на дне Северного Ледовитого океана. Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.791.75

Новая технология сварки модифицированной короткой дугой. Ууситало Ю., Мосягин А. С., Линовский С. А. — Сварочное производство. 2008. № 6. С. 49—53.

Фирма Kemppi разработала новую технологию сварки модифицированной короткой дугой Kemppi FastROOT™. Технология предназначена для сварки корневых проходов, тонколистового металла, низкоуглеродистых и легированных сталей во всех пространственных положениях. Обеспечивается хорошее проплавление при практически полном отсутствии брызг и высокая производительность процесса. Табл. 1. Ил. 12.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, № 6

Fracture toughness estimated by brittle crack propagation in steel structures at lower temperature. Ammosov A. P., Ammosov G. S. P. 3—9.

Possibility of estimating brittle crack propagation in materials are considered at impact standard tests determining impact strength and its components, as well as dynamic stress intensity factor by shock loading diagram without measurement of the brittle fracture area in the samples. A simple engineering method of analysis is developed. Correlation between fractographic rates of the fracture surface and rate of brittle crack propagation is established. Ratio values are determined, at which cold resisting properties of the low alloyed steels and their welded joints are ensured.

Mechanical properties investigation of the welded connections between rust-resisting steel and titanium alloys. Rodin M. Ye., Semionov A. N., Plyshevsky M. I., Rivkin Ye. Yu., Souglobova L. V., Tyurin V. N. P. 9—12.

Mechanical properties investigation of the welded connections between steel 08X18H10T and titanium alloy 5 B in the critical structures of the nuclear power engineering, conducted by the vacuum diffusion welding. It is established that practically thermal cycle of the diffusion welding has no effect on the short-time welded strength. Fineness ratio of the obtained joints is sufficiently stable. Test data is given.

Structure factor of the stress corrosion welded strength of the oil-field pipes. Vyboyschik L. M., Louchkin R. S., Platonov S. Yu. P. 12—16.

Results of mechanical tests and corrosion stability of the welded pipes from steel 09ГСФ and 13ХФА, made by submerged arc welding and high-frequency current welding methods, are covered. Advantages of the RF current welding method and further heat treatment are shown.

Austenitic steel higher cold resistance growth at wear refacing by flux cored wire electroarc overlaying. Makiyenko V. M., Romanov I. O., Baranov Ye. M., Stroitelev D. V. P. 17—19.

Flux cored electrode for austenitic steel electroarc overlaying is developed. In the working mixture it contains ferromanganese, milled graphite and zirconium concentrate which enable cold resistance rise of the added metal. Cold-shortness threshold stability is ensured by nickel powder introduction into the wire core. Test results are given.

Vortex excitation mechanism of the electric welding arc. Nemova T. N., Stepanov A. P. P. 20—24.

Vortex excitation mechanism of the electric welding arc is considered on the base of electrodynamic approach, electric and magnetic fields analysis, motion of charged particles. It is shown that a conducting circuit, which determines arc electric and processing behavior, is formed in the welding arc column.

On the role of scientific schools integration in the solution of major scientific and technical problems of permanent joint obtaining. Frolov V. P., Plaunov V. P. P. 24—26.

Examples of scientific schools cooperation in the field of welding and soldering and brazing are considered, designing lattice constructional elements for aircraft, rocket production and astronautics.

Application features of GOST R 52222—2004 "Welding fused fluxes for machine welding". Potapov N. N., Volobuyev Yu. S., Feklistov S. I. P. 27—28.

A comparative analysis of two national standards for welding fluxes is given, i. e. GOST 9087—81 and GOST R 52222—2004. The new standard regulates flux properties of 53 brands (in contrast to 23 brands of GOST 9087—81) and provides for releasing new refined fluxes applying duplex process. Small increase of the ferric and manganese oxides in the flux contents has no effect on the weld metal properties practically. Test results are given.

On welding automation of the erection pipeline joints of nuclear power plants. Grinenko V. I., Roschin V. V., Khavanov V. A., Poloskov S. I. P. 28—31.

Orbital machine welding equipment to conduct position pipeline welding at nuclear power plants, designed by "Rosatomstroy" FGUP (NIKIMT), is covered. It is pointed out, that this equipment at its technical characteristics tops the best domestic and foreign analogues.

Up-to-date experience of the erection slag welding application in the metallurgical industry in Ukraine. Lankin Yu. N., Moskalenko A. A., Tyukalov V. G., Kovtunenkov V. A., Kuran R. I., Kouzmenko D. Yu. P. 32—36.

ESW welding application experience is described to carry out erection upright joints of the frame rings for ДП-9 blast furnaces at the "Міртан Стіл Кривий Пир" (Ukraine) and for ДП-59 blast furnaces at the Yenakiyev metallurgical plant, as well as to conduct converters case joints.

Metal mechanical properties of the 06Г2Б and 09Г2С steels welded joints 40—50 mm thick, conducted by ESW welding with attendant external quenching are covered.

Special erecting apparatus АД-381Ш of new generation is developed for ESW welding straight and curved weld seams of metal 30—100 mm thick.

The PLASMA 110i HF quasi resonance power source for plasma-arc cutting. Vereschago Ye. N., Kvasnitsky V. F., Kostyuchenko V. I. P. 37—41.

Power source of new generation is designed to supply powerful plasmotrons. Its schematic is given; construction and principle of operation are considered. Results of pilot research and of the up-to-date power source main characteristic modelling are covered. A conclusion is drawn that application of the power sources of new generation for the modern plasma technology has prospects.

Titanium alloys in the arrangement of the Russian tricolour for the Arctic Ocean. Panfilov V. A., Murashko V. M., Tarasov A. N. P. 42—43.

An information on the work conducted in the "Fakel" OKB, FGUP while preparing the flag of Russia for placing on the Arctic Ocean floor is given.

Innovation of the modified short-arc welding practices. Uusitalo Yu., Mosyagin A. S., Linovsky S. A. P. 49—53.

Kemppi Company has developed innovative short-arc welding procedure Kemppi FastROOT™. It is intended for welding root passes, light-gage sheet metal, and low-carbon and alloyed steel at all attitude positions. This technique enables good penetration (almost spatterless) and high production.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 15.04.2008. Подписано в печать 22.05.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 10,97. Заказ 11/08.

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

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

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