Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

Сварочное производство

8 (885)
Август
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. С. Зубченко
Е. А. Калашников
В. И. Кулик
В. И. Лукин
В. П. Лялякин
Г. А. Меньшиков
В. Н. Панин
И. Н. Пашков
В. В. Пешков
А. И. Рымкевич
О. Н. Севрюков
З. А. Сидлин
Н. В. Смирнов
В. А. Судник
В. А. Фролов
В. А. Хаванов
Ф. А. Хромченко
О. А. Цукуров
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. Егорова*
Редактор-обозреватель *Ан. А. Суслов*
Корректор *М. Г. Джавадян*

Адрес для корреспонденции:
129626, Москва, а/я 01,
Издательский центр
"Технология машиностроения".
Телефон: (495) 796 2491.
Бухгалтерия: 8 910 414 9184
E-mail: tm@folium.ru
(с пометкой для журнала
"Сварочное производство")

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

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное производство" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала.
При перепечатке материалов ссылка на журнал "Сварочное производство" обязательна.
В случае обнаружения полиграфического брака редакция журнала просит обращаться в типографию.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7778.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней.
Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Кархин В. А., Хомич П. Н., Раямяки П. — Анализ химической макронеоднородности вблизи границы сплавления при сварке плавлением ... 3
Хромченко Ф. А., Федосеенко А. В. — Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва. Ч.1. Результаты испытаний образцов с дефектами ... 8
Лебедев В. А. — Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке ... 11
Нафиков М. З., Загиров И. И. — Расчет параметров формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки ... 15

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Мейстер Р. А., Мейстер А. Р., Безруких А. А. — Многодуговая наплавка покрытыми электродами ... 21
Демченко А. И., Рафальский А. С. — Применение контактной точечной и рельефной сварки при изготовлении термоэлементов автоматических выключателей ... 23
Люшинский А. В., Малинов В. И., Качалин Н. И., Баранов Г. В. — Особенности диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ 95 ... 26
Волков С. С. — Технологические возможности ультразвуковой сварки капролона ... 29
Мчедлов С. Г. — Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 3. Электродуговое и высокочастотное индукционное напыление ... 35

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Будкин Ю. В. — Управление процессами в сварочном производстве (на примере инновационных процессов) ... 40

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Носов В. К., Уваров В. Н., Мамонов С. А. — Повышение профессиональной подготовки выпускников вузов и содействие их трудоустройству ... 45

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — 4-я Международная специализированная выставка "Трубопроводный транспорт — 2008" ... 47

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке ... 50
Патенты РФ на изобретения в области сварки ... 52
Рефераты опубликованных статей ... 53

* * *

О. И. Стеклову — 75 лет ... 56

© Издательский центр "Технология машиностроения", "Сварочное производство", 2008

Scientific, technical and production monthly journal

Svarochnoe Proizvodstvo

8 (885)
August
2008

FOUNDER:
Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"
Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Trade,
RF Ministry of Education and Science,
Russian Engineering Academy,
Russian Scientific-Technical Welding Society,
The Union of Machine Engineers of Russia

Published since January 1930

Editorial board:

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

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

Address for correspondence:
Publishing Centre
"Tekhnologiya Mashinostroeniya"
P.O.B.01, Moscow, 129626, Russia
Tel.: (495) 796 2491
Book-keeping 8 910 414 9184
E-mail: tm@folium.ru
(marked for journal
"Svarochnoe Proizvodstvo")

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 registrated by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ N 77-7778.
Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation Committee for publication of competitors works for scientific degrees.

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

Karkhin V. A., Khomich P. N., Rayamyakee P. — Chemical macroheterogeneity analysis close to the weld edge at fusion welding ____ 3
Khromchenko F. A., Fedoseyenko A. V. — High-temperature strength of the steam pipes welds defected in the weld metal. Part 1: Test results of the defected samples 8
Lebedev V. A. — Characterization of the electrode wire impulse feeding at mechanized arc welding and facing ____ 11
Nafikov M. Z., Zaguirov I. I. — Analysis of joining formation at electrocontact wire overlaying (welding) ____ 15

PRODUCTION SECTION

Meister R. A., Meister A. R., Bezrukikh A. A. — Covered-electrode multiarc facing ____ 21
Demchenko A. I., Rafalsky A. S. — Resistance spot and projection welding application at manufacturing thermoelements for automatic cut-outs ____ 23
Lyushinsky A. V., Malinov V. I., Kachalin N. I., Baranov G. V. — Tungsten alloy ВНЖ 95 diffusion welding features ____ 26
Volkov S. S. — Manufacturing capability for kaprolon B ultrasonic sealing ____ 29
Mchedlov S. G. — Gas-thermal coating in machine components strengthening and reconditioning processes: A Review. Part 3: Electroarc and high-frequency inductive sputtering ____ 35

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Boodkin Yu. V. — Process control in welding engineering (innovative processes set as example) ____ 40

EDUCATION & PERSONNEL TRAINING

Nosov V. K., Uvarov V. N., Mamonov S. A. — Training at an enterprise as an opportunity to upgrade graduating students' practical professional training and to assist in employment ____ 45

INFORMATION

Ivanov A. N. — The 4th International specialized exhibition "Pipeline Transport — 2008" ____ 47

BIBLIOGRAPHY

Contents of the foreign journals in the field of welding ____ 50
RF patents for inventions in the field of welding ____ 52
Abstracts of the published articles ____ 55

* * *

O. I. Steklov is 75 years old ____ 56

УДК 621.791.011

В. А. КАРХИН, д-р техн. наук, П. Н. ХОМИЧ, инж.
(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет),
П. РАЯМЯКИ, канд. техн. наук
(Технический университет, Лаппеенранта, Финляндия)

Анализ химической макронеоднородности вблизи границы сплавления при сварке плавлением

ВВЕДЕНИЕ

Поведение сварных соединений при сварке и их работоспособность зависят от локальных свойств металла, которые в свою очередь зависят от химического состава. Например, неоднородность распределения ликвирующих примесей (серы и углерода) значительно влияет на стойкость стали против образования горячих трещин. Формирование химической неоднородности металла сварных соединений рассматривалось во многих работах [1—5]. Однако остаются малоизученными зависимости распределения ликвирующих примесей от условий сварки (химического состава основного металла и металла шва, формы сварочной ванны, термических циклов и др.). Известные экспериментальные трудности существенно усложняют количественное изучение нестационарной диффузии вблизи границы сварочной ванны и шва.

Цель данной работы — исследование влияния основных факторов процесса на макросегрегацию (распределение ликвирующих химических элементов) вблизи границы сплавления.

Модель плавления и затвердевания металла

Обычно рассматривают четыре предельных случая затвердевания сплавов [5—7], которые удобно описать на плоскости параметров D_S/R и D_L/R (D_S, D_L — коэффициенты диффузии в твердой и жидкой фазах соответственно, R — скорость затвердевания) (рис. 1). Далее будет показано, что параметр D_L/R характеризует ширину зоны повышенной концентрации перед фронтом затвердевания при установившемся состоянии этой зоны.

Случай 1 (С1). Распределение концентрации примеси в каждой фазе равновесно (однородно) за счет интенсивной диффузии ($D_S \to \infty$ и $D_L \to \infty$) и/или большой ее продолжительности ($R \to 0$). Этому случаю соответствуют фазовые диаграммы, например диаграмма Fe—C.

Случай 2 (С2). Диффузия примеси в твердой фазе отсутствует ($D_S = 0$). Распределение примеси в жидкой фазе однородно за счет механического перемешивания и интенсивной диффузии ($D_L \to \infty$) — известная расчетная схема Гулливера-Шайля [5].

Случай 3 (С3). Диффузия примеси в твердой фазе отсутствует ($D_S = 0$) и происходит только в жидкости ($0 < D_L < \infty$).

Случай 4 (С4). Концентрация примеси в жидкости не изменяется во времени из-за отсутствия механического перемешивания и диффузии ($D_L = 0$).

Все четыре случая затвердевания являются предельными (параметры D_S/R и D_L/R принимают дискретное значение 0 или ∞). При дополни-

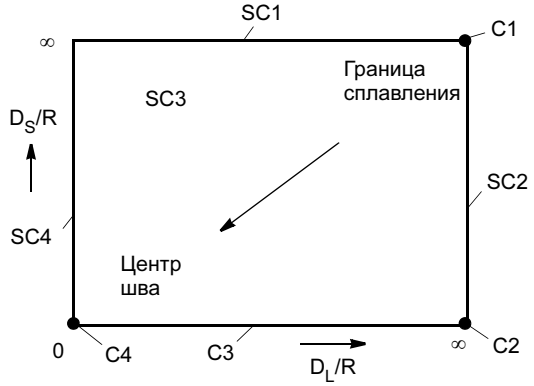

Рис. 1. Предельные и промежуточные случаи затвердевания на плоскости параметров

тельном снятии одного из ограничений получаются промежуточные случаи *SC1*, *SC2*, *SC3* и *SC4* (см. рис. 1). Тогда область возможных значений параметров оказывается непрерывной. Промежуточный случай *SC3* наилучшим образом учитывает условия сварки. По мере роста кристаллитов скорость затвердевания R изменяется от нуля на границе шва до скорости сварки в центре шва. При этом точка, характеризующая случай затвердевания, перемещается на плоскости параметров в пределах области *SC3* (см. рис. 1, перемещение показано стрелкой). С математической точки зрения также удобно взять за основу промежуточный случай *SC3*, так как все остальные случаи можно считать частными предельными случаями данного промежуточного случая, т. е. можно считать, что область *SC3* покрывает всю область возможных значений параметров, включая 0 и ∞. Поэтому далее при анализе диффузии примеси будем рассматривать промежуточный случай *SC3* и учитывать нестационарность процесса.

Примем следующие допущения.

- Фронт плавления и затвердевания задается изотермой ликвидус $T_L = T_L(C_{L0}) = \text{const}$ (C_{L0} — концентрация примеси в сварочной ванне). В действительности по мере затвердевания (по мере роста концентрации перед фронтом затвердевания) T_L уменьшается и может достичь точки эвтектики.
- Направление плавления и роста кристаллов совпадает с направлением температурного градиента G, т. е. не учитывается влияние кристаллографической ориентации и селекции зерен [8].
- Фронт затвердевания в пределах кристаллита является плоским, т. е. мода затвердевания является планарной, что справедливо для области вблизи границы шва.

Траектория подвижной точки, находящейся на фронте плавления и затвердевания, описывается кривой *ABEF* (рис. 2, *а*). Вблизи границы шва (точки *E*) траектории плавления и затвердевания совпадают: плавится и кристаллизуется один и тот же металл.

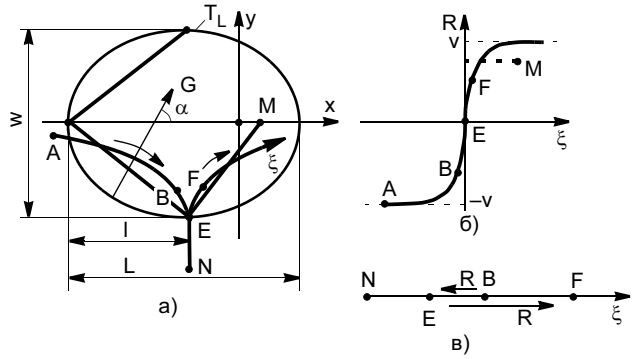

Рис. 2. Сварочная ванна и траектории плавления (отрезок *ABE*) и затвердевания (отрезок *EF* или *EM*) (*а*); скорость плавления ($R < 0$) и затвердевания ($R > 0$) (*б*) и координатная система в диффузионной задаче (*в*) (штриховыми линиями показана каплевидная форма сварочной ванны)

Мгновенная скорость плавления и затвердевания определяется скоростью теплового источника v и направлением градиента G (углом α) (см. рис. 2, *а*):

$$R = \frac{d\xi_{SL}(t)}{dt} = v\cos(\alpha),$$

где $\xi_{SL}(t)$ — координата межфазной границы.

Скорость R изменяется плавно вдоль траектории *ABEF* (оси ξ, рис. 2, *б*). Принято, что плавлению соответствует отрицательное значение R, а затвердеванию — положительное. Вблизи границы сплавления значения скорости плавления и затвердевания практически одинаковые. Если форма ванны каплевидная — граница хвостовой части ванны плоская (на рис. 2, *а* показана штриховыми прямыми), то траектория роста кристаллита описывается прямой *EM*, а скорость роста постоянна (см. рис. 2, *б*).

Задача массопереноса

Примем следующие допущения.

- Задача одномерная, т. е. масса переносится преимущественно вдоль температурного градиента. В действительности значительные поперечные потоки существуют только вблизи центра шва.
- Массоперенос примеси в твердой части тела и прилегающем гидродинамически неперемешивающемся жидком слое толщиной δ_h подчиняется закону молекулярной диффузии, в остальной жидкой части концентрация примеси C_{L0} постоянна из-за конвекции жидкости. Поэтому для анализа диффузии вблизи границы сплавления (см. рис. 2, *в*, точка *E*) достаточно учесть только прилегающий путь *BEF*. Так как отрезок BE относительно мал ($BE \ll W/2$), то он практически совпадает с началом отрезка *EF*. И тогда можно рассматривать диффузию только вдоль тела *NEF*, причем на отрезке *BE* происходит плавление ($R < 0$), на отрезке *EF* — затвердевание ($R > 0$), а отрезок *NE* принадлежит основному металлу (см. рис. 2, *в*). Крайняя точка *N* находится вне зоны диффузионного влияния.
- Кривизна кривой *NEF* (оси ξ) мала (радиус кривизны кривой велик) и не влияет на диффузию.
- Поперечное сечение кристаллита с осью ξ постоянно вблизи границы шва, так как направление градиента G изменяется незначительно.
- В любой момент времени t известно температурное поле и положение межфазной границы $\xi_{SL}(t)$.

- Начальная концентрация примеси C_0 в пределах твердой и жидкой фаз известна.
- Скачок плотности при фазовом переходе не учитывается.

Искомая концентрация примеси $C(\xi, t)$ на межфазной границе ξ_{SL} терпит разрыв:

$$k = \frac{C_S(\xi_{SL}(t), t)}{C_L(\xi_{SL}(t), t)},$$

где k — коэффициент распределения, $k = k(t)$.

Этот разрыв может быть устранен с помощью новой функции (потенциала массопереноса)

$$U(\xi, t) = C(\xi, t)/S(\xi, t), \quad (1)$$

где S — растворимость элемента примеси.

При принятых допущениях постановка диффузионной задачи относительно функции $U(\xi, t)$ примет следующий вид.

1. Уравнение диффузии

$$\frac{\partial(SU)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \xi}\left(SD\frac{\partial U}{\partial \xi}\right) + f, \quad \xi_N < \xi < \xi_{SL}(t) + \delta_h. \quad (2)$$

2. Начальное условие

$$U(\xi, 0) = C_0(\xi)/S(\xi, 0). \quad (3)$$

3. Граничные условия

$$U(\xi_N, t) = C(\xi_N, t)/S(\xi_N, t); \quad (4)$$

$$U(\xi_{SL}(t) + \delta_h, t) = C(\xi_{SL}(t) + \delta_h, t)/S(\xi_{SL}(t) + \delta_h, t), \quad (5)$$

где C — концентрация элемента (примеси); D — коэффициент диффузии, $D = D(\xi, t)$; f — функция, учитывающая источник (сток) элемента за счет разложения (образования) химических соединений, $f = f(\xi, t)$.

Постановка задачи (2)—(5) позволяет учитывать зависимость растворимости и коэффициента диффузии от температуры и разрывы концентрации на межфазных границах, например на границе δ-Fe и γ-Fe. В частном случае, когда растворимость в пределах каждой фазы (твердой и жидкой) постоянна, за единицу может быть взята растворимость элемента в твердой фазе. Тогда

$$S(\xi, t) = \begin{cases} 1, \ \xi_N \le \xi \le \xi_{SL}(t); \\ 1/k, \ \xi_{SL}(t) \le \xi \le \xi_{SL}(t) + \delta_h. \end{cases}$$

Растворимость S разрывна на границе фаз, а искомая функция $U(\xi, t)$ непрерывна. Отметим, что задача (2)—(5) решена аналитически только в частных случаях при существенных дополнительных допущениях [2, 5, 9]. Она может быть решена численным методом. По решению $U(\xi, t)$ определяют распределение $C(\xi, t)$ из уравнения (1). Таким образом несложно найти распределение в любом сечении сварного соединения в любой момент времени, например распределение $C(y, t)$ в поперечном сечении после полного остывания.

Задача теплопереноса

Чтобы решить диффузионную задачу, необходимо предварительно знать распределение температуры для определения оси ξ, положения границы раздела фаз $\xi_{SL}(t)$, скорости перемещения этой границы $R(t)$ и коэффициента диффузии $D(\xi, t)$ и растворимости $S(\xi, t)$.

Известно много экспериментальных и расчетных методов определения температурного поля. Если закон ввода энергии в тело достаточно известен, то температурную задачу можно решить численными или аналитическими методами, если недостаточно известен, то температурное поле можно восстановить путем обратного моделирования [8].

Пример

Толстую стальную пластину проплавляют дугой в аргоногелиевой смеси. Режим сварки: эффективная мощность дуги q = 3030 Вт, скорость v = 2,6 мм/с, начальная температура T_0 = 293 К. Ширина шва W = 10 мм, глубина шва 5 мм [1]. Свойства стали: теплопроводность λ = 0,035 Вт/(мм · К), температуропроводность a = 8,14 мм^2/с, температура плавления T_L = 1800 К. Остальные физические свойства приведены в таблице, составленной на основе результатов работ [1, 10].

Поскольку поперечное сечение шва приближается к полукругу, то установившееся (квазистационарное) температурное поле в подвижной системе координат x, y, z, связанной с источником нагрева (сварочной дугой) и одна из осей совпадает с осью дуги, рассчитывали по схеме точечного источника на поверхности полубесконечного тела [11]:

$$T(x, y, z) - T_0 = \frac{q}{2\pi\lambda(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \times$$

$$\times \exp\left(-\frac{v\left[x + (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}\right]}{2a}\right).$$

Элемент	k	D_L, мм^2/с	$D_S(T_L)$, мм^2/с	D_0, мм^2/с			Q, Дж/моль		
				δ-Fe	γ-Fe	α-Fe	δ-Fe	γ-Fe	α-Fe
C	0,13	$5{,}52 \cdot 10^{-3}$	$5{,}52 \cdot 10^{-3}$	1,27	7,61	$5{,}62 \cdot 10^{-3}$	81 379	143 511	79 773
S	0,05	$5 \cdot 10^{-3}$	$2{,}69 \cdot 10^{-4}$	456	240	(456)	214 639	223 425	(214 639)

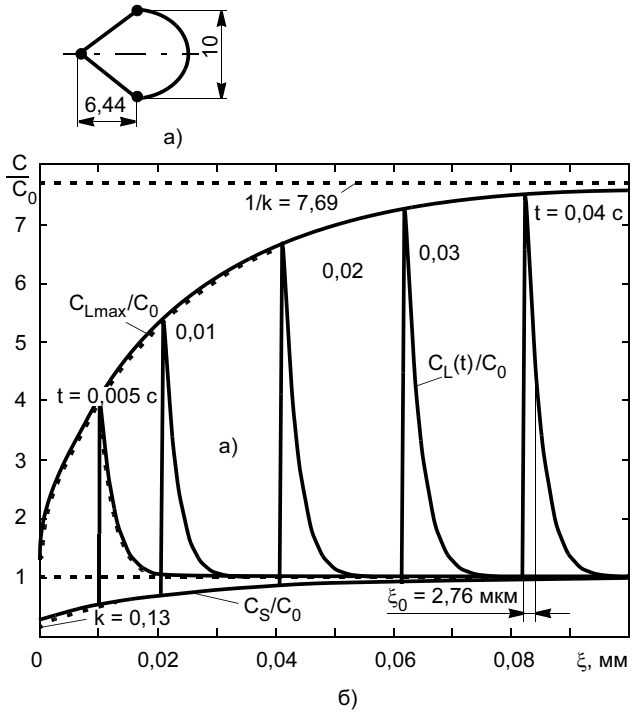

Рис. 3. Каплевидная сварочная ванна (*а*) и распределение относительной концентрации углерода C/C_0 в различные моменты времени *t* после начала затвердевания при $D_S = 0$ и $D_L = 0{,}00552$ мм^2/с (*б*) (координата $\xi = 0$ соответствует границе сплавления, сплошные линии — численное решение, штриховые — аналитическое)

Последовательно рассчитывали изотерму T_L, температурный градиент G и угол α, скорость плавления и затвердевания R, траекторию плавления и затвердевания металла ξ (см. рис. 2). Расчетная длина ванны $L = 12{,}38$ мм, длина ее хвостовой части $l = 6{,}44$ мм, ширина $W = 10$ мм.

Диффузионную задачу решали методом конечных разностей с шагами 10^{-4}, ..., $5 \cdot 10^{-4}$ мм и $2 \cdot 10^{-6}$, ..., $1 \cdot 10^{-7}$ с, используя явную схему. Принимали, что $f = 0$ и $k = \text{const}$ (R относительно мало). Координата границы шва $\xi_E = 0$. Момент времени t, когда $\xi_{SL}(t) = \xi_E$ (начало затвердевания), условно приняли равным нулю. Таким образом, отрицательные значения t соответствуют этапу плавления, а положительные — этапу затвердевания.

Примем сначала, что форма ванны каплевидная и фронт затвердевания плоский (рис. 3, *а*), что соответствует постоянной скорости затвердевания $R = 2{,}05$ мм/с. Начальная концентрация C_0 равномерно распределена. Этап плавления металла не учитывали. Коэффициенты диффузии постоянны: в твердом теле $D_S = 0$, в жидкости $D_L = 0{,}00552$ мм^2/с. Эта диффузионная модель принята в научной и учебной литературе и соответствует случаю *С3* (см. рис. 1).

При дополнительном допущении ($\delta_h = \infty$) задача имеет следующее решение [9]:

$$\frac{C_S(\xi)}{C_0} = \frac{1}{2}\left\{1 + \Phi\left(\sqrt{\frac{R\xi}{4D_L}}\right) + (2k-1) \times \right.$$

$$\left. \times \exp\left[-k(1-k)\frac{R\xi}{D_L}\right]\Phi^*\left[(2k-1)\sqrt{\frac{R\xi}{4D_L}}\right]\right\}; \qquad (6)$$

$$\frac{C_L(\xi', t)}{C_0} = 1 + \frac{1-k}{2k}\exp\left(-\frac{R\xi'}{D_L}\right)\Phi^*\left(\frac{\xi' - Rt}{\sqrt{4D_L t}}\right) -$$

$$- \frac{1}{2}\Phi^*\left(\frac{\xi' + Rt}{\sqrt{4D_L t}}\right) + \frac{2k-1}{2k}\exp\left[-(1-k)\frac{R(\xi' + kRt)}{D_L}\right] \times$$

$$\times \Phi^*\left(\frac{\xi' + (2k-1)Rt}{\sqrt{4D_L t}}\right); \qquad (7)$$

$$\Phi(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^u \exp(-x^2)dx; \quad \Phi^*(u) = 1 - \Phi(u).$$

Здесь ξ — неподвижная координата ($\xi_E = 0$), ξ' — подвижная ($\xi' = 0$ на фронте затвердевания).

На рис. 3, *б* приведено распределение относительной концентрации C/C_0 углерода в различные моменты времени t после начала затвердевания. Кривые $C_{L\max}/C_0$ и C_S/C_0 соответствуют концентрации углерода в жидкости и твердой фазе на движущейся границе раздела фаз. Их асимптотами являются k^{-1} и 1.

Из анализа данных на рис. 3, *б* следует, что через 0,04 с практически устанавливается квазистационарное состояние, когда в подвижной системе координат поле повышенной концентрации перед фронтом затвердевания практически не изменяется и описывается уравнением (7) при $t \to \infty$:

$$\frac{C_L}{C_0} = 1 + \frac{1-k}{k}\exp\left(-\frac{R}{D_L}\xi'\right).$$

Этот слой можно характеризовать толщиной

$$\xi_0 = C_0\frac{1-k}{k} / \left.\frac{dC_L}{d\xi'}\right|_{\xi'=0} = \frac{D_L}{R}.$$

Для рассматриваемого случая $\xi_0 = 2{,}76$ мкм (см. рис. 3, *б*). Подчеркнем, что концентрация перед фронтом резко падает и толщина слоя повышенной концентрации намного меньше толщины слоя δ_h, в котором не происходит гидродинамическое перемешивание жидкого металла (для стали $\delta_h \approx 100$ мкм [5]).

Разность между численным и аналитическим решениями заметна только в начале процесса движения фронта затвердевания (при $t < 0{,}001$ с, см. рис. 3, *б*), что свидетельствует о правильном выборе шагов.

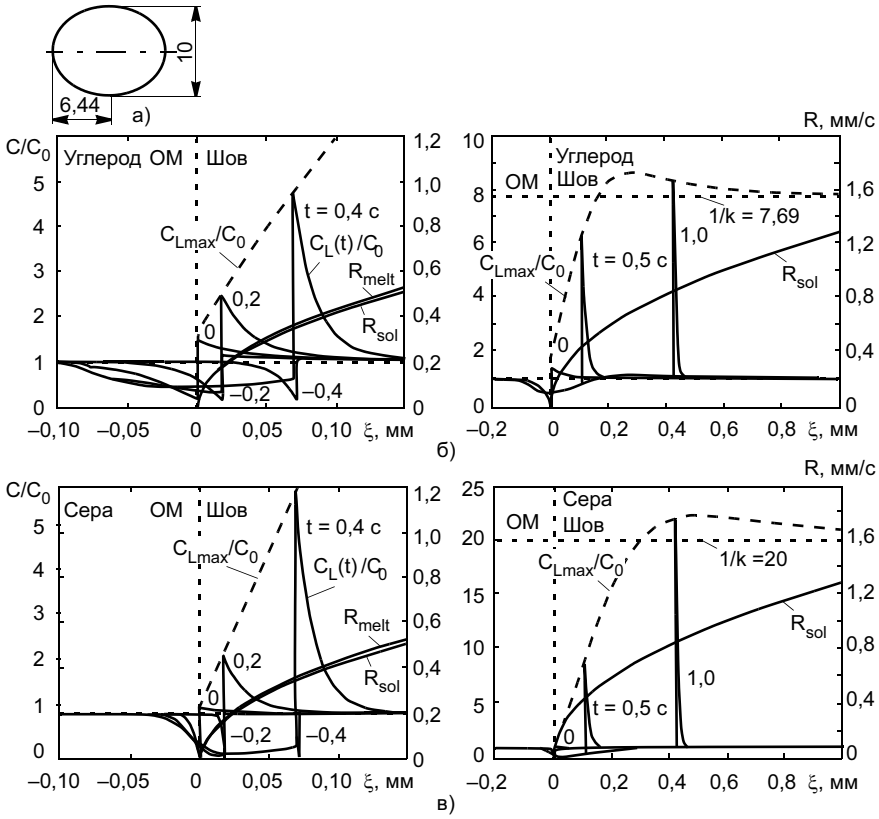

Рис. 4. Сварочная ванна (*а*), скорость плавления R_{melt} и затвердевания R_{sol} и распределение относительной концентрации C/C_0 углерода (*б*) и серы (*в*) в различные моменты времени *t* (*ОМ* — основной металл, момент $t = 0$ соответствует остановке межфазной границы)

В действительности при относительно малой скорости сварки форма ванны овальная и скорость затвердевания R — переменная величина. При учете овальной формы ванны, этапов плавления и затвердевания, диффузии в твердом теле и температурной зависимости коэффициента диффузии, а также текущей микроструктуры металла получим

$$D_S = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{R^* T}\right),$$

где R^* — газовая постоянная; D_0 — множитель; Q — энергия активации (см. таблицу).

Для рассматриваемого примера скорость плавления R_{melt} и скорость затвердевания R_{sol} близки (рис. 4, *б*). При плавлении углерод и сера успевают диффундировать из твердой фазы в жидкую, причем тем интенсивнее, чем выше D_S (толщина слоя пониженной концентрации перед фронтом плавления больше у углерода, чем у серы) (рис. 4, *б*, *в*). По мере уменьшения скорости плавления при приближении к границе шва толщина этой зоны увеличивается. Видно, что в момент остановки плавления (начала затвердевания $t = 0$) распределение концентрации существенно отличается от начального равномерного распределения. Отметим, что случай *С1* (см. рис. 1) здесь не реализуется, так как несмотря на то, что $R = 0$, распределение концентрации неравновесное из-за недостаточного времени диффузии.

Анализ результатов расчета показывает, что этап плавления существенно влияет на распределение концентрации после полного остывания. При малой скорости затвердевания R_{sol} толщина слоя повышенной концентрации относительно велика. С увеличением R_{sol} уменьшается толщина слоя и растет концентрация, причем в жидкости на расстоянии более $\xi = 0{,}2 \div 0{,}3$ мм она может превышать асимптоту C_0/k, а в твердой фазе — концентрацию C_0. Такая повышенная концентрация объясняется ускорением, $dR_{sol}/dt > 0$. После $t = 2$ с концентрационное поле вблизи границы шва практически не изменяется (из-за относительно малого коэффициента диффузии). После полного остывания минимальная концентрация у границы шва составляет 49 и 16 % начальной концентрации для углерода и серы соответственно (см. рис. 4, *б*, *в*).

Диффузия значительно медленнее теплопроводности, безразмерный критерий Льюиса $\mathrm{Le} = a/D > 10^3$. Зона химической неоднородности относительно мала, поэтому можно считать, что она находится в однородном температурном поле. Тогда диффузию при нагреве и охлаждении можно свести к диффузии при фиксированной температуре, пользуясь методом эквивалентного времени [1].

После полного остывания экспериментальным методом радиографии определяли содержа-

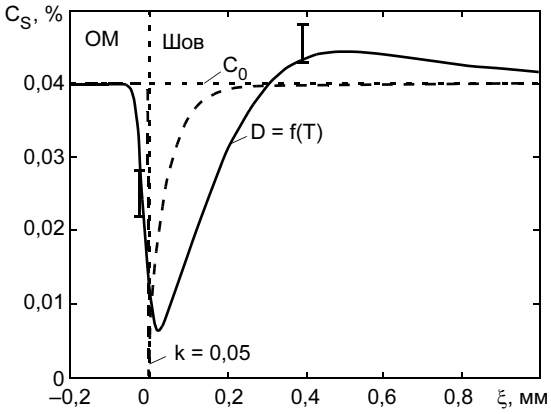

Рис. 5. Распределение содержания серы вблизи границы сплавления после полного остывания (сплошная линия — численное решение, штриховая — аналитическое, *I* — эксперимент)

ние серы вблизи границы шва (рис. 5). Начальное распределение серы было равномерным: C_{0S} = 0,04 % [1]. Около границы шва со стороны основного металла содержание серы значительно меньше начального, а со стороны шва — немного больше. Видно, что совпадение расчетных и экспериментальных значений удовлетворительное. Если не учитывать форму сварочной ванны (непостоянство скорости затвердевания), этап плавления и диффузию в твердой фазе, то полученные результаты будут не адекватны (на рис. 5 распределение показано штриховой кривой, рассчитанной по уравнению (6)).

ВЫВОДЫ

1. Разработанная расчетная методика позволяет определять химическую неоднородность вблизи границы шва с учетом формы и размеров сварочной ванны, этапов плавления и затвердевания металла, начального распределения примеси в основном металле и ванне, температурной зависимости ее растворимости и коэффициента диффузии.

2. Этап плавления металла может существенно влиять на формирование химической неоднородности вблизи границы шва.

3. Сформированная при высокой температуре неоднородность распределения углерода и серы вблизи границы шва частично сохраняется после полного остывания сварного соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров Г. Л.* Неоднородность металла сварных соединений. Л.: Судпромгиз, 1963. 206 с.
2. *Махненко В. И.* Расчет диффузии в двухфазной среде с движущейся границей раздела фаз // Автоматическая сварка. 1966. № 12. С. 1—5.
3. *Демченко В. Ф.* Некоторые математические модели кинетики фазовых превращений // Физика и химия обработки материалов. 1970. № 4. С. 124—131.
4. *Kurz W., Fisher D. J.* Fundamentals of solidification. Fourth edition. Trans Tech Publications Ltd, 1998. 305 p.
5. *Messler R. W.* Principles of welding. John Wiley & Sons, 1999. 662 p.
6. *Savage W. F.* Lectures of welding metallurgy. Rensselaer Polytechnic Institute, 1975.
7. *Rajamaki P.* A modeling tool for fusion weld solidification // 3rd JOIN International Conference on Total Welding Management in Industrial Applications. Lappeenranta, Finland: Acta Universitatis Lappeenrantaensis, 2007. P. 240—251.
8. *Inverse* modelling of fusion welding processes / V. A. Karkhin, V. V. Plochikhine, A. S. Ilyin, H. W. Bergmann // Mathematical Modelling of Weld Phenomena. London: Maney Publishing for The Institute of Materials, Minerals and Mining, 2002. P. 1017—1042.
9. *Smith V. G., Tiller W. A., Rutter J. W.* A mathematical analysis of solute redistribution during solidification // Canadian Journal of Physics. 1955. Vol. 33. P. 723—745.
10. *Effect* of carbon and sulfur in continuously cast strand on longitudinal surface cracks / K. Kim, T. Yeo, K. H. Oh, D. N. Lee // ISIJ International. Vol. 36. № 3. 1996. P. 284—289.
11. *Рыкалин Н. Н.* Расчет тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.

УДК 621.791:621.643.1/.2

Ф. А. ХРОМЧЕНКО, д-р техн. наук, А. В. ФЕДОСЕЕНКО, канд. техн. наук
ОАО "ВТИ"

Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва.

Ч. 1. Результаты испытаний образцов с дефектами

Допустимые размеры технологических дефектов (газовых пор и шлаковых включений) в металле швов сварных соединений паропроводов теплоустойчивых сталей (15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф) регламентированы действующими нормативно-техническими документами РД 2730.940.103—92 и РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с). Эти нормы считаются консервативными и гарантируют выполнение сварных соединений высокого качества в условиях заводского изготовления и монтажных работ при сооружении паропроводов. Такой подход является правомерным и действует в настоящее время.

Однако для длительно эксплуатирующихся паропроводов (сверх нормативного срока, например сверх 100 тыс. ч) в условиях ползучести сохранение таких норм не всегда оправдано. При диагностировании паропроводов в металле швов соединений иногда выявляются технологические дефекты, размер (глубина) которых незначительно (на 2—3 мм) превышает нормативные значения.

В этом случае требуется проведение ремонта, несмотря на достаточную остаточную жаропрочность сварных соединений (необходимую для дальнейшей эксплуатации) и отсутствие в металле

швов трещин, несплавлений, непровара или других трещиноподобных дефектов.

Ремонт дефектных сварных соединений с выполнением подварочных швов в условиях труднодоступности на паропроводах связан с определенными затруднениями в качественном выполнении технологических операций. В результате возможно появление эксплуатационных отказов отремонтированных сварных соединений, повреждения которых обусловлены наличием разупрочненных и/или хрупких прослоек металла в ремонтных заварках [1, 2].

Целесообразно оставлять для дальнейшей эксплуатации такие сварные соединения без ремонта, несмотря на наличие в металле швов технологических дефектов округлой формы увеличенного размера. Однако для этого необходимо обоснование новых норм по размерам дефектов для сварных соединений длительно эксплуатирующихся паропроводов.

В связи с этим в ОАО "ВТИ" проведены комплексные расчетно-экспериментальные исследования образцов и натурных сварных трубных моделей (сталь 12Х1МФ, металл швов 09Х1МФ с дефектами) на длительную прочность с определением допустимых размеров дефектов в соединениях паропроводов для условий ползучести при температуре 545 °С.

Стыковые сварные соединения труб ∅219×28 мм выполняли по штатной технологии ручной дуговой сваркой (с подогревом) многослойным способом электродами Э-09Х1МФ с проведением послесварочной термической обработки по режиму высокого отпуска согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с). Химический состав и механические свойства основного и наплавленного металлов соответствовали нормативным требованиям для стали 12Х1МФ и электродов Э-09Х1МФ. Образцы и шлифы поперечного сечения изготовляли механическим способом (проточкой на токарном станке, фрезерованием, шлифованием); искусственные дефекты наносили путем сверления центральной оси шва на заданную глубину.

Методика испытаний образцов, обработка и анализ результатов исследований заключались в следующем. На плоских образцах в металле шва выполняли по одному отверстию диаметром d_0, равным 2, 4 и 6 мм (рис. 1). За счет сквозного дефекта происходило ослабление поперечного сечения образца на 10, 20 и 30 % с коэффициентом ослабления φ_d, равным 0,9, 0,8 и 0,7 соответственно. Значение φ_d определяли по формуле

$$\varphi_d = 1 - F_d/F,$$

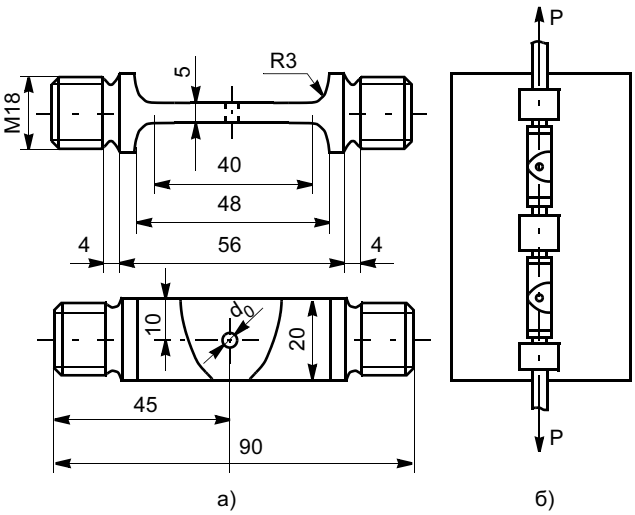

Рис. 1. Плоский образец с дефектом размером d_0 (*а*) для испытания на длительную прочность в условиях одноосного растяжения (*б*)

где F_d — площадь дефекта (произведение глубины и длины дефекта); F — площадь поперечного сечения образца в расчетной части, равная 20×5 мм.

Дополнительно учитывали влияние дефекта на концентрацию напряжений. Значения упругого коэффициента концентрации напряжений для приведенного диаметра отверстий (дефектов) находятся в диапазоне α_σ = 2,35÷2,75 согласно ПНАЭ Г-7-002—86. Для условий ползучести при температуре 545 °С коэффициент концентрации K_σ = 1,36÷1,44. Значения K_σ определяли по формуле

$$K_\sigma = \alpha_\sigma^{2/(m+1)}, \qquad (1)$$

где m — показатель ползучести стали.

Испытания на длительную прочность проводили до разрушения образцов в условиях одноосного растяжения при температуре 545—610 °С и растягивающих напряжениях σ = 60÷120 МПа. Длительность испытаний пересчитывали на температуру 545 °С с помощью параметра Ларсона-Миллера $P = T(\lg\tau + 20)10^{-3}$.

При анализе результатов испытаний образцов с разрушением металла шва по дефекту результаты с разрушением образцов по основному металлу и зоне сплавления отбраковывали. Влияние размера дефекта на жаропрочность сварных соединений оценивали для расчетной базы долговечности 10^5, $2 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^5$ ч при температуре 545 °С по минимальным значениям длительной прочности $\sigma_{\omega d}$ и коэффициента прочности $\varphi_{\omega d}$, который определяли по формуле

$$\varphi_{\omega d} = \sigma_{\omega d}/[\sigma_{\tau/t}],$$

где $[\sigma_{\tau/t}]$ — допустимая длительная прочность стали 12Х1МФ согласно РД 10-249—98.

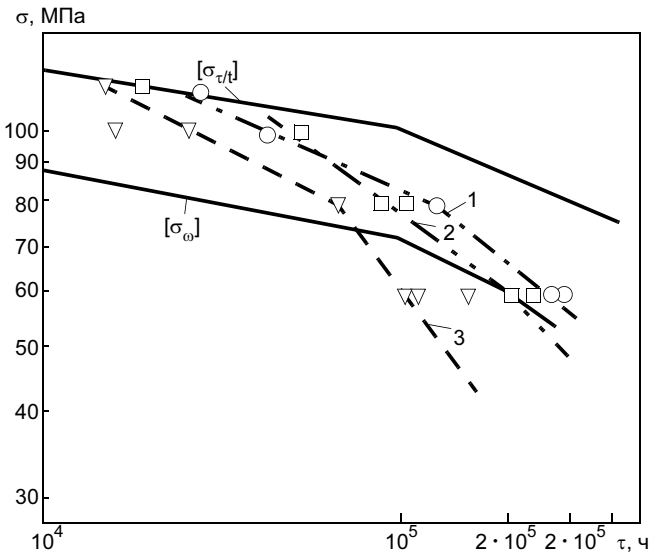

Рис. 2. Длительная прочность сварных соединений из стали 12Х1МФ при испытании образцов с дефектами размером d_0 в металле шва 09Х1МФ при 545 °С ($[\sigma_{\tau/t}]$, $[\sigma_\omega]$ — допустимая номинальная длительная прочность соответственно основного металла и металла сварных швов при 545 °С согласно РД 10-249—98): *1—3* — d_0 равен 2, 4 и 6 мм соответственно

В результате расчетно-экспериментальных исследований (рис. 2, табл. 1, 2) установили следующее.

Увеличение размера дефекта в диапазоне d_d = 2÷6 мм и, соответственно, уменьшение площади поперечного сечения металла шва φ_d = 0,9÷0,7 снижает длительную прочность сварных соединений.

Для сварных соединений с размером дефектов $d_0 \leqslant 4$ мм экспериментальные точки и кривые долговечности на расчетной базе 10^5—$3 \cdot 10^5$ ч при температуре 545 °С находятся выше допустимой согласно РД 10-249—98. Коэффициент прочности соединений с такими дефектами φ_d равен 0,7—0,81 и 0,63—0,68 соответственно для τ, равного 10^5—$2 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^5$ ч, что удовлетворяет нормативным требованиям ($[\varphi_\omega]$ равен 0,7 и 0,6 согласно РД 10-249—98). Из этого следует, что допустимое ослабление дефектом сечения сварного шва (для образцов) ограничивается максимальным значением $[\varphi_d] \leqslant 0{,}8$.

Сварные соединения с размером дефекта d_0 = 6 мм характеризуются низкой длительной прочностью. Значения коэффициента прочности φ_d, равного 0,44—0,6 и 0,37, соединений с таким дефектом для расчетной базы соответственно 10^5—$2 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^5$ ч не удовлетворяют нормативным требованиям ($[\varphi_\omega]$ равен 0,7 и 0,6 согласно РД 10-249—98).

Снижение поперечного сечения металла шва в диапазоне φ_d = 0,7÷0,9 (соответственно от 10 до 30 %) повышает при испытании образцов уровень фактических растягивающих напряжений ($\sigma_f = \sigma_и/\varphi_d$) примерно в 1,1—1,4 раза, а в зоне расположения дефекта — в 1,6—1,9 раза (из расчета $\sigma_{f\,max} = K_\sigma \sigma_и/\varphi_d$). Механизм процесса развития разрушения в этих условиях при ползучести может быть представлен следующим образом. На начальном этапе происходит релаксация максимальных напряжений до уровня $\sigma_{f\,max} \to \sigma_f$, обусловленная локальной пластической деформацией металла в зоне дефекта. При последующем испытании в условиях установившейся ползучести протекает процесс инициирования и развития трещины вплоть до разрушения сварного соединения по металлу шва.

Дефекты округлой формы вызывают концентрацию напряжений в упругой области металла до $\alpha_\sigma \leqslant 2{,}75$ и в условиях ползучести — $K_\sigma \leqslant 1{,}45$.

Таблица 1

d_0, мм	φ_d	α_σ	K_σ	$\sigma_{\omega d}$, МПа, при τ, ч			$\varphi_{\omega d}$ при τ, ч		
				10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
2	0,9	2,75	1,44	84	68	56	0,81	0,77	0,68
4	0,8	2,50	1,39	78	61,5	52	0,75	0,70	0,63
6	0,7	2,35	1,36	62	39	30,5	0,60	0,44	0,37

Таблица 2

d_0, мм	φ_d	α_σ	K_σ	σ_f, МПа, при $\sigma_и$, МПа			$\sigma_{f\max}$, МПа, при $\sigma_и$, МПа		
				100	80	60	100	80	60
2	0,9	2,75	1,44	111,1	88,9	66,7	160,0	128,0	96,0
4	0,8	2,50	1,39	125,0	100,0	75,0	173,8	139,0	104,3
6	0,7	2,35	1,36	142,9	114,3	85,7	194,3	155,4	116,6

К таким дефектам относятся газовые поры и шлаковые включения с остротой дефекта $a/\rho \approx 1$ (a — половина максимального размера дефекта в поперечном сечении шва, ρ — радиус кривизны в вершине дефекта). Дефекты округлой формы данной остроты можно определять по результатам радиографического контроля, совмещенного с ультразвуковой дефектоскопией.

Таким образом, проведенные исследования рассматриваются как предварительные эксперименты по оценке влияния размера дефектов в условиях испытания образцов при ползучести. В экспериментах не учитывалось влияние масштабного фактора на долговечность сварных соединений.

ВЫВОД

Нормативная долговечность сварных соединений из стали 12Х1МФ при температуре 545 °С для расчетной базы 10^5—$3 \cdot 10^5$ ч обеспечивается при условии ограничения в металле шва 09Х1МФ максимального размера (глубины) технологического дефекта величиной 4 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хромченко Ф. А.* Ресурс сварных соединений паропроводов. М.: Машиностроение, 2002. 352 с.
2. *Хромченко Ф. А.* Сварочные технологии при ремонтных работах: Справочник. М.: "Интермет Инжиниринг", 2005. 368 с.

УДК 621.791.75.039—229.61

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук
ИЭС им. Е. О. Патона

Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке

Одним из эффективных способов улучшения качества шва, повышения энерго- и ресурсосбережения при механизированной сварке и наплавке является импульсное воздействие на процесс переноса электродного металла. Такое воздействие может осуществляться в разных системах полуавтоматов: питания дуги, подачи электродной проволоки и защитного газа [1]. В последнее время разработано достаточно большое число алгоритмов и устройств для осуществления импульсного воздействия на процесс переноса электродного металла и управления им.

При импульсном воздействии на каплю расплавленного электродного металла, выборе соответствующего алгоритма и средств его реализации одной из основных задач является определение необходимых условий для получения ожидаемого эффекта. Эти условия целесообразно получить в численном виде на основе определенных аналитических зависимостей.

Цель данной работы — определение аналитических зависимостей между параметрами движения электродной проволоки при ее импульсной подаче как одного из способов управляемого импульсного воздействия на процесс переноса электродного металла.

В работе [2] получено трансцендентное уравнение, определяющее время формирования капли электродного металла заданных (оптимальных размеров):

$$t_{ф} = \frac{r_{к1}/Y}{\left\{1/2 + [\sin(2-\lambda) + n e^{-a t_{ф}} \sin(2b/f - \mu)]\right\}} - \tau, \quad (1)$$

где $r_{к1}$ — параметр, зависящий от радиуса капли жидкого электродного металла; Y — величина, характеризующая постоянную составляющую процесса плавления электродной проволоки (физические постоянные, сопротивление участка плавления, скорость подачи проволоки); λ, μ — сдвиги фаз колебательных процессов; $n = f/b$; f — частота следования импульсов подачи электродной проволоки; b — частота затухающих колебаний в сварочной цепи при плавлении электродной проволоки; a — величина, определяемая постоянной времени сварочной цепи; τ — время, определяемое соотношением постоянной времени сварочной цепи, а также скоростей плавления (максимальной и минимальной) и подачи электродной проволоки.

Параметры λ и μ определяются следующими соотношениями:

$$\lambda = \mathrm{arctg}\,\frac{2af}{a^2 + b^2 - f^2}; \qquad (2)$$

$$\mu = \mathrm{arctg}\,\frac{-2ab}{a^2 - b^2 + f^2}, \qquad (3)$$

где $a = 1/2T$ (T — постоянная времени сварочной цепи).

Приближенное решение уравнения (1) для общего случая приведено также в работе [2]. Однако применение такого решения является достаточно сложным и для ряда практических задач, связанных, например, с определением параметров импульсной подачи электродной проволоки, в основном применяют прикладные математические программы MathCad 2000 для ПК. В ряде случаев, например для механизированной сварки сплошной электродной проволокой Св-08Г2С в CO_2 с ее импульсной подачей, задача может быть существенно упрощена, так как имеются сведения о физических характеристиках и параметрах плавления таких проволок, а также известны значения электрического сопротивления и индуктивности в цепях источника питания дуги.

Прежде всего представим экспоненциальную функцию в виде линеаризованной зависимости

$$e^{-at_ф} = 1 - at_ф. \qquad (4)$$

Тогда с учетом линеаризации выражения (4) уравнение (1) можно представить в виде

$$t_ф = \frac{r_{к1}/Y}{1/2 + [\sin(ft_ф - \lambda) + n(1 - at_ф)\sin(bt_ф - \mu)]} - \tau. \qquad (5)$$

При импульсной подаче электродной проволоки введем дополнительные условия, при которых формируется капля электродного металла. Очевидно, что время формирования должно быть не более полупериода действия импульса, так как перенос капли в жидкую металлическую ванну, в частности ее непосредственный переход, как определено в работе [3], должен осуществиться при минимальном значении тока дугового процесса. Следовательно, первое условие носит технологический характер и его можно представить в виде

$$t_ф \leqslant T_и/2, \qquad (6)$$

где $T_и$ — период действия импульса подачи.

Так как период и частота импульсной подачи связаны зависимостью $T_и = 1/f$, то условие (6) примет следующий вид:

$$T_ф \leqslant 1/2f. \qquad (7)$$

Второе условие относится к условиям, которые уменьшают возможный объем вычислений путем ограничения обстоятельств, при которых решение может быть полезным. Для рассматриваемого процесса, как показывают анализ и вычисление конкретных значений $T_и$ и T, в абсолютном большинстве случаев при использовании современных конструкций источников питания дуги они связаны соотношением $T_и > T$. Исходя из этого, второе условие примет вид

$$a > f. \qquad (8)$$

Третье условие определяется также из численных соотношений и практически всегда имеет вид

$$a \to b. \qquad (9)$$

Используя эти три условия (7)—(9), произведя необходимые математические преобразования с учетом обратных тригонометрических зависимостей и учитывая, что отношение степеней убывает пропорционально степени отношений, уравнение (5) запишем в следующем виде:

$$1/2f = \frac{r_{к1}/Y}{1 - f/a + (f/a - 1/2)(\cos a/2f)} - \tau. \qquad (10)$$

Уравнение (10) трансцендентное и без упрощающих его преобразований или оригинальных подходов не может быть решено аналитическими методами. В данной работе приведен оригинальный метод решения, заключающийся в следующем. Если проанализировать зависимость $\cos a/2f$ в уравнении (10), то, учитывая известные по результатам исследований процесса сварки с импульсной подачей электродной проволоки значения a и f, можно заменить участок данной зависимости прямолинейной зависимостью (рис. 1)

$$\cos a/2f \approx 1 - (a/2\pi). \qquad (11)$$

Далее определим значение Y. Согласно работе [2],

$$Y = \frac{fC}{\sqrt{(a^2 + b^2 - f^2)^2 + 4a^2f^2}}; \qquad (12)$$

$$C = k_1 h \pi D/2T, \qquad (13)$$

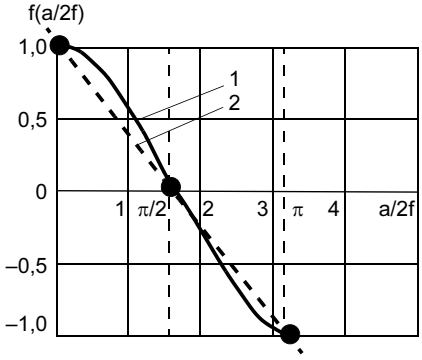

Рис. 1. Замена участка косинусоидальной зависимости (*1*) прямолинейной зависимостью (*2*)

где k_1 — коэффициент соответствия между током сварки и скоростью плавления электродного металла; f, h — частота и шаг импульсной подачи электродной проволоки соответственно; $D = E_c/(R_э + 0{,}5s)$ ($R_э$ — эквивалентное сопротивление сварочной цепи; E_c — напряженность электрического поля в столбе дуги; s — коэффициент, характеризующий наклон статической характеристики дуги к оси токов).

Для рассмотренных условий $a > f$ и $a \to f$

$$Y_{a > f} = fC/2a^2; \quad (14)$$

$$Y_{a \to f} = fC/a^2\sqrt{5}. \quad (15)$$

Подставив в уравнение (10) выражения (11), (12) и выполнив необходимые алгебраические преобразования, получим квадратичную зависимость для условия $a > f$:

$$f^2 2\tau(\pi - 2) + f(\pi - 2 + 2\tau a - 8\pi 2a^2 r_{к1}/C) + a = 0. \quad (16)$$

Решение уравнения (16) для частого случая, когда $a \to f$, имеет следующий вид:

$$f_{a \to f} = \frac{1}{5a\sqrt{5}r_{к1}/C - 2\tau}. \quad (17)$$

Решим уравнение (16) относительно f, учитывая, что $4k_2r_к/3 = r_{к1}$ (k_2 — оптимальный параметр, равный 1,2—1,5, $r_к$ — радиус жидкой капли электродного металла).

Тогда

$$f_{1,2} = \frac{-(\pi - 2 + 2\tau a - 32\pi 2a^2 r_{к1}/C) \pm}{4\tau \times} \to$$

$$\to \frac{\pm\sqrt{(\pi - 2 + 2\tau a - 32\pi 2a^2 k_2 r_к/3C)^2 - 8\tau a(\pi - 2)}}{\times(\pi - 2)}. \quad (18)$$

Анализируя уравнение (18), можно сделать следующие выводы:

— частоту f импульсной подачи электродной проволоки следует выбирать близкой или равной f_2, так как именно в этом случае гарантированно образуется капля электродного металла с заданными параметрами, в противном случае возможно получение капель большего размера, что противоречит условию, принятому при решении приведенной задачи;

— условием, при котором осуществляется процесс сварки с заданными параметрами импульсной подачи электродной проволоки, является соотношение

$$\pi - 2 + 2\tau a - 32\pi 2a^2 k_2 r_к/C < 0. \quad (19)$$

Таким образом, получена зависимость частоты импульсной подачи электродной проволоки для большого числа факторов, определяющих скорость образования капель электродного металла, и в том числе параметры источника сварочного тока, режимы дугового процесса, физические характеристики материала и процесса плавления.

Более совершенными с точки зрения очевидности влияния каждого из параметров на частоту образования капель электродного металла, а также использования в конструкторской и технологической практике будут уравнения, если в формулах (18) и (19) произвести замену

$$32\pi 2a^2 k_2 r_к/C = K. \quad (20)$$

Преобразуем выражение (20) с учетом того, что такие параметры, как радиус капли жидкого электродного металла $r_к$, радиус электродной проволоки $r_э$ и шаг ее подачи h, необходимо рассматривать во взаимосвязи. Очевидно, что величина шага подачи должна быть, по крайней мере, достаточной для получения капли металла заданного объема. Исходя из равенства объема поданного в шаге h металла и объема образованной капли, получим следующее уравнение:

$$h\pi r_э^2 = 4\pi r_к^3/3. \quad (21)$$

С учетом выражения (21) формула (20) примет вид

$$K = 32\pi 2a^2 k_2 r_к/C = \frac{48a^2 r_э^2 k_2 T}{k_1 r_к^2 D}. \quad (22)$$

С учетом выражения (20) и неравенства $K > \pi - 2 + 2\tau a$, а также принимая во внимание сохранение физического смысла процесса образования капли, уравнения (18) и (19) примут вид

$$f = \frac{(K - \pi - 2\tau a + 2) + \sqrt{(K - \pi - 2\tau a + 2)^2 - 8\tau a(\pi - 2)}}{4\tau(\pi - 2)}; \quad (23)$$

$$\left.\begin{aligned} &(K - \pi - 2\tau a + 2) < 0; \\ &(K - \pi - 2\tau a + 2)^2 > 8\tau a(\pi - 2). \end{aligned}\right\} \quad (24)$$

Система уравнений (24) определяет области, в пределах которых можно реализовать процесс с импульсной подачей электродной проволоки с условием получения капли с заданными параметрами (диаметром).

Для определения адекватности полученного результата использовали два метода. Первый заключается в расчете по приведенной математической модели частоты образования капель электродного металла при определенных условиях, а второй — в практическом подтверждении полученных результатов при измерении диаметра капли электродного металла, полученной за фиксированный промежуток времени при условиях, прибли-

жающихся к тем, которые выбирали для теоретического расчета.

Ниже приведен пример расчета максимально возможной частоты подачи электродной проволоки с образованием жидкой капли электродного металла заданного размера. Значения коэффициентов и параметров взяты из работ [3—6].

Исходные данные: электродная проволока Св-08Г2С диаметром $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ м; шаг подачи $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ м; параметр $D = E_c/(R_э + 0{,}5s) = 5{,}7 \cdot 10^{-4}$ А/м; $k_1 = 5{,}5 \times 10^{-4}$ м/(с · А); $k_2 = 1{,}2$; $r_к$ равен $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ и $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ м.

В настоящее время в научно-технической литературе отсутствуют сведения о влиянии постоянной времени сварочной цепи на процесс формирования капли электродного металла. Проведем такую оценку, приняв постоянные времени сварочного контура $T = L/(R_э + 0{,}5s)$, равными 0,005; 0,01 и 0,02 с; параметр $a = 1/2T$, равный 100, 50 и 25 $с^{-1}$, время $\tau = 2T(\alpha - 3)(\alpha - 1)/(\alpha - \beta)$, равное 0,1, 0,2 и 0,4 (α — соотношение максимальной скорости плавления электродной проволоки к ее установившемуся значению, равное 6; β — соотношение скорости подачи электродной проволоки к ее установившейся скорости плавления, равное 1,5).

Результаты вычислений для двух заданных диаметров капель (1,2 и 0,6 мм) приведены на рис. 2.

При практических исследованиях искусственно формировали сварочную цепь с параметрами, которые были использованы в расчетах. Включение и отключение сварочной цепи производили быстродействующим транзисторным коммутатором [7]. Начало отсчета времени образования капли определяли по моменту возбуждения дуги (сочетание тока и напряжения сварочного процесса). Окончание отсчета фиксировали электронным таймером по времени $t = 1/f$. Измеряли диаметр полученной на торце электрода капли. Капли характерной формы при разных значениях времени t приведены на рис. 3. Следует обратить внимание на несколько вытянутую форму капель, полученных при механическом импульсном воздействии. Установлено, что реальные размеры капель на 15—20 % отличаются от размеров, полученных при вычислении частот, обеспечивающих получение капель необходимых диаметров. Однако это достаточно приемлемый результат, подтверждающий работоспособность разработанной математической модели при принятых допущениях и положениях, упрощающих получение окончательных уравнений.

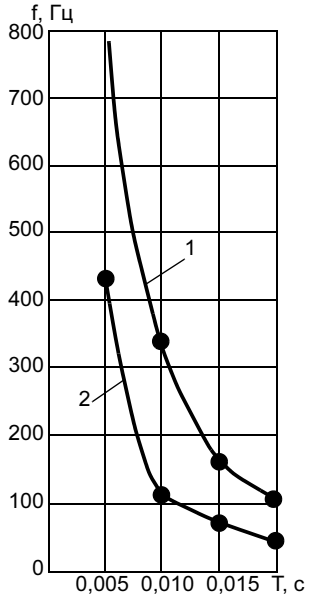

Рис. 2. Зависимость частоты образования капель электродного металла от постоянной времени сварочной цепи при $d_к$, равном 1,2 (*1*) и 2,0 (*2*) мм

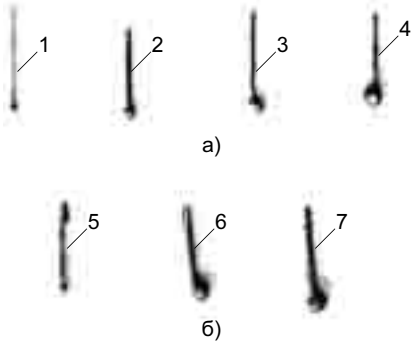

Рис. 3. Форма капель электродного металла, полученных при сварке с импульсной подачей электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 0,8 (*а*) и 1,2 (*б*) мм: *1—7* — *t* равно 0,005, 0,01, 0,015, 0,02, 0,02, 0,03 и 0,04 с соответственно

При практическом применении разработанной математической модели в первую очередь необходимо предварительно установить соотношение параметров $r_к = f(r_э, h)$.

При анализе уравнения (23) очевидным становится превалирующее влияние постоянной времени сварочной цепи T на время формирования капли электродного металла. Важна также роль импульсной составляющей скорости подачи электродной проволоки.

Для ряда конструкций механизмов импульсной подачи, например с электромагнитным приводом [8], частота импульсов подачи фиксирована. При этом основной задачей является выбор сочетания шага подачи для получения необходимого размера капли расплавленной электродной проволоки. Очевидно, что для расширения диапазона такого выбора необходимо регулирование постоянной времени сварочной цепи.

Следует отметить возможность применения подобной математической модели при других способах импульсного управления переносом электродного металла, например при применении импульсных источников сварочного тока. Разработанная методика определения математических зависимостей времени (частоты) образования капли может быть применима для случая импульсного воздействия источника питания дуги. При этом необходимо установить связь между параметрами, характеризующими скорость плавления электродного металла, форму и энергетические параметры импульса.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная математическая модель определения временных параметров процесса плавления электродной проволоки при ее импульсной подаче адекватно отражает влияние физических характеристик материала проволоки, свойств сварочной дуги и источника сварочного тока, формы импульса подачи на время образования капли заданного размера и может быть использована для практических расчетов в конструкторских и технологических разработках, связанных с управляемым переносом электродного металла.

2. Уравнения математической модели, подтвержденные экспериментально, показывают, что на скорость образовании капли электродного металла существенно влияет постоянная времени сварочной цепи, которая может служить элементом регулирования процесса каплеобразования, например, за счет установки в сварочной цепи управляемых дросселей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анализ* технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, В. Г. Пичак и др. // Сварочное производство. 2002. № 2. С. 24—31.
2. *Лебедев В. А.* Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2008. № 7. С. 10—14.
3. *Потапьевский А. Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М: Машиностроение, 1974. 240 с.
4. *Воропай Н. М.* Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 10. С. 3—9.
5. *Лебедев В. А., Мошкин В. Ф., Пичак В. Г.* Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 5. С. 39—44.
6. *Попков А. М.* Об устойчивости системы источник питания — дуга при сварке с систематическими короткими замыканиями дугового промежутка // Сварочное производство. 1980. № 3. С. 11—13.
7. *Устройство* программируемой коммутации сварочной цепи в оборудовании для дуговой сварки / С. И. Притула, В. А. Ткаченко, В. А. Лебедев, Ю. З. Буряк // Автоматическая сварка. 2003. № 12. С. 45—47.
8. *Воропай Н. М., Савельев О. Н., Семергеев С. С.* Электромагнитные механизмы импульсной подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1980. № 1. С. 46—49.

УДК 621.791.327.6

М. З. НАФИКОВ, канд. техн. наук, И. И. ЗАГИРОВ, инж.
Башкирский государственный аграрный университет (Уфа)

Расчет параметров формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки

Электроконтактная наплавка (наварка) (ЭКН) с применением присадочной проволоки является эффективным, ресурсосберегающим способом восстановления изношенных валов [1]. Способ позволяет формировать тонкие, ровные слои металлопокрытия самого высокого качества, не требующие дополнительной термической обработки.

Формирование металлопокрытия при ЭКН происходит без оплавления контактирующих поверхностей, общая сварочная ванна между основным и присадочным металлом не образуется. Прочность сварного соединения, как и при любом виде сварки металлов давлением, определяется интенсивностью деформационных процессов. Вал при наплавке деформируется незначительно, поэтому прочность сцепления покрытия с основой вала зависит прежде всего от деформации присадочной проволоки. Считается [1, 2], что исследования по совершенствованию данного перспективного способа восстановления должны быть направлены в первую очередь на изучение деформации присадочной проволоки.

В работах [1, 3—5] рассмотрены вопросы образования контактных площадок присадочной проволоки с поверхностями вала и ролика, исследовано изменение формы сечения проволоки. Авторы известных работ изучают параметры деформации проволоки только с геометрической точки зрения, без учета действующих на присадочный металл сил и возникающих в нем напряжений.

Цель данной работы — определить параметры деформации присадочной проволоки с учетом действующих на нее сил и проследить на этой основе процесс формирования сварного соединения покрытия с основой детали.

Проволока при наплавке испытывает трехмерную пластическую деформацию. В моменты осадки часть присадочного металла, находящегося в пластическом состоянии, выдавливается из-под наплавляющего ролика в сторону, обратную направлению затягивания проволоки в зону сварки. Это приводит к тому, что длина наплавленного валика $L_в$ оказывается существенно больше (на 20—50 % в зависи-

мости от технологических параметров режима ЭКН) длины проволоки $L_{пр}$, затраченной на формирование этого валика. Относительное движение горячего присадочного металла по наплавляемой поверхности в сочетании со значительным давлением инструмента приводит к разрушению, дроблению и выносу плотных оксидных пленок, препятствующих формированию качественного сварного соединения. Таким образом, о качестве (прочности) сварного соединения при ЭКН можно судить по относительной осевой деформации присадочной проволоки при ее наплавке на исследуемом режиме.

Экспериментально (рис. 1) выявлены следующие зависимости между прочностью сцепления покрытия с основным металлом вала и относительной осевой деформацией присадочной проволоки из углеродистых сталей и стали 30ХГСА соответственно:

$$\bar{\sigma} = 3{,}28\varepsilon_y - 0{,}549;\ \bar{\sigma} = 3{,}04\,\varepsilon_y^{0{,}70} - 0{,}922, \qquad (1)$$

где ε_y — относительная осевая деформация проволоки, равная $(L_в - L_{пр})/L_{пр}$; $\bar{\sigma}$ — безразмерная прочность сцепления покрытия с основой, равная σ/σ_{max} (σ — прочность сцепления на исследуемом режиме, σ_{max} — максимально возможная прочность, равная прочности на разрыв основного металла вала).

По эмпирическим зависимостям (1) можно определять средние значения прочности сварного соединения.

На рис. 2 приведена схема деформации присадочной проволоки при ее осадке. К валу *4* радиуса R_1 наплавляющим роликом *1* радиуса R_2 с усилием *F* прижимается проволока *2* диаметром *d*. При прохождении импульса тока проволока разогревается до температуры, близкой к температуре плавления, при которой свойства присадочного металла приближаются к свойствам вязкой жидкости. По мере

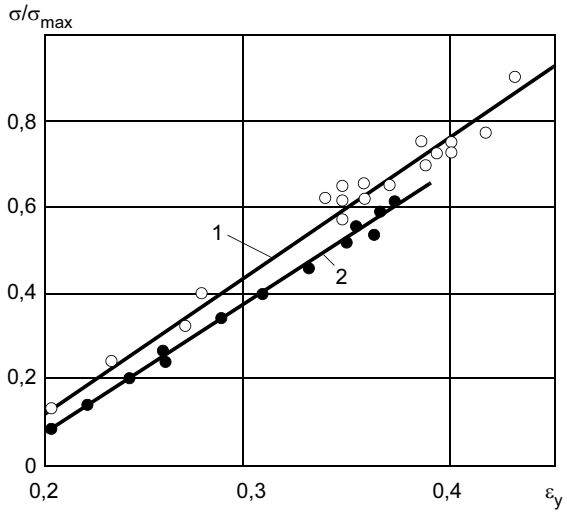

Рис. 1. Зависимость прочности сцепления металлопокрытия с основой от осевой деформации присадочной проволоки: *1* — углеродистая сталь; *2* — сталь 30ХГСА

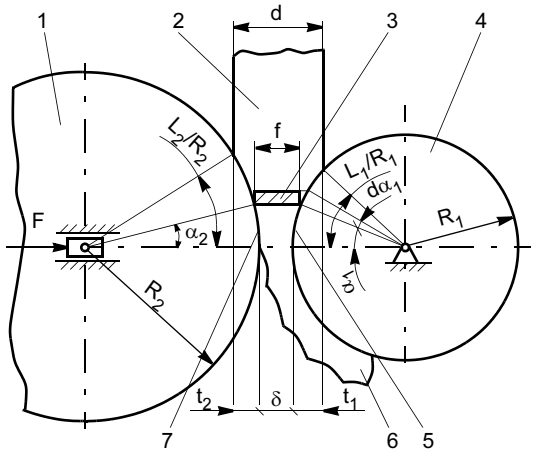

Рис. 2. Схема формирования металлопокрытия (*6*) при ЭКН

разогрева и деформации присадочной проволоки растут площадки *5* и *7* ее контакта с поверхностями вала и ролика, соответственно увеличивается отвод теплоты из зоны формирования сварного соединения. Наиболее интенсивно деформируются более разогретые объемы присадочного металла, поэтому считается, что к концу осадки проволоки температура в пределах контактной площадки выравнивается [1]. Проволока осаживается на величину t_1 со стороны вала и на величину t_2 со стороны ролика. Так как $R_2 \gg R_1$, то $t_1 > t_2$. В присадочном металле выделена элементарная призма *3* шириной *f*, положение которой определяется центральными углами α_1 и α_2.

В результате каждого термомеханического цикла на поверхность вала наваривается порция металла, которую принято называть единичной площадкой металлопокрытия [1] и представлять в форме прямоугольного параллелепипеда длиной $L_{ед}$, шириной *s* и высотой δ, причем[1]

$$L_{ед} = \upsilon_o t_ц; \qquad \delta = \frac{\pi d^2}{4s(1+\varepsilon_y)}, \qquad (2)$$

где υ_o — окружная скорость вращения вала; $t_ц$ — длительность цикла наплавки; *s* — шаг наплавки по винтовой линии.

По выражению (2) определяли без ее непосредственного измерения среднюю толщину наносимого металлопокрытия. Так как при ЭКН на поверхности вала формируется тонкое и ровное покрытие с незначительной "чешуйчатостью", то отклонения значений толщины сварного валика от среднего значения пренебрежимо малы.

После осадки проволоки присадочный металл образует с цилиндрическими поверхностями вала и инструмента контактные площадки (см. рис. 2, поз. *5* и *6*).

[1]Патент 2220829 (РФ).

Развертки таких площадок, приведенные на рис. 3, *а*, близки по форме к полуэллипсам [3, 5, 6]. Полуосями этих геометрических фигур являются половина ширины наплавленного валика b и длины контактных дуг L_1 и L_2 соответственно. Размер b замеряли после наплавки, а размеры L_1 и L_2 определяли следующим образом.

Используя схему на рис. 3, *б*, получили следующие геометрические соотношения:

$$t_1 + t_2 + \delta = d; \quad (3)$$

$$\cos\alpha_{1,2} = (R_{1,2} - t_{1,2})/R_{1,2}; \quad (4)$$

$$L_{1,2} = R_{1,2}\alpha_{1,2}^{\max}. \quad (5)$$

Рассмотрим равновесие сил, действующих на присадочный металл от вала и ролика, приняв при этом несколько допущений.

1. Вращение вала и ролика, осевое перемещение присадочной проволоки не учитывается.

2. Действующие в контактах силы трения и сцепления покрытия с основой не учитываются.

3. Давление по контактным площадкам со стороны вала и со стороны ролика является постоянным и равным сопротивлению присадочного материала пластической деформации при его одноосном напряженном состоянии ($p = \sigma_т$), т. е. учитывается

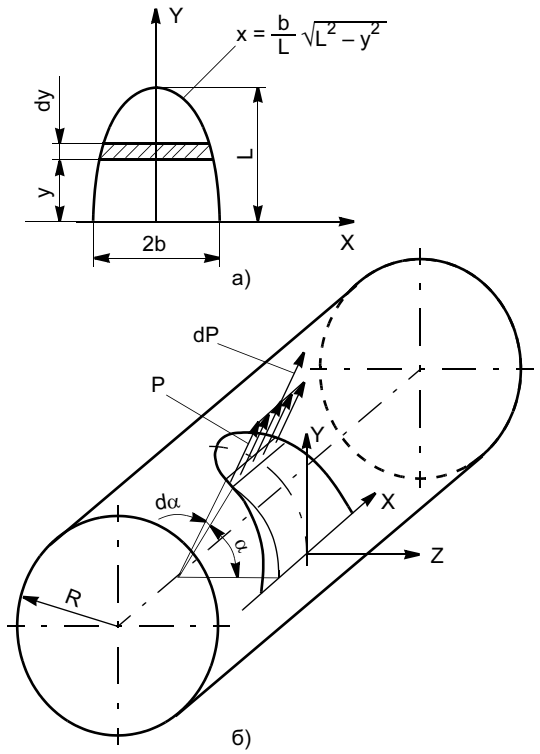

Рис. 3. Развертка площади контакта между валом и присадочным металлом (*а*) и распределение напряжений на выделенном элементе (*б*)

только гидростатическая составляющая нормальных напряжений.

В состоянии, близком к описываемому, находится присадочный металл в конце осадки проволоки.

На контактной площадке, приведенной на рис. 3, *б*, выделен элемент площадью

$$dA = Rd\alpha 2x = 2\frac{b}{L}\sqrt{L^2 - R^2\alpha^2}\,Rd\alpha.$$

На элемент, являющийся боковой гранью элементарной призмы на рис. 2, действует малое усилие, равное dP. Горизонтальная составляющая этого усилия

$$dP_z = \sigma_т 2\frac{bR^2}{L}\sqrt{(L/R)^2 - \alpha^2}\cos\alpha d\alpha.$$

Просуммировав по контактным площадкам элементарные силы dP_z, действующие на присадочный металл как со стороны вала, так и со стороны ролика, получим

$$\frac{R_1^2}{L_1}\int_0^{L_1/R_1}\sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha^2}\cos\alpha d\alpha =$$
$$= \frac{R_2^2}{L_2}\int_0^{L_2/R_2}\sqrt{(L_2/R_2)^2 - \alpha^2}\cos\alpha d\alpha. \quad (6)$$

Для определения длин контактных дуг L_1 и L_2 необходимо решить систему уравнений (3)—(6). Известны также и другие способы определения полуосей L_1 и L_2 [3].

Длина L_1 дуги контактной площадки с валом получена в предположении, что деталь не вращается. Фактически длина сварной площадки будет больше, чем L_1 и равна

$$L_{св} = L_1 + v_о t_и,$$

где $t_и$ — длительность импульса тока.

Присадочный металл испытывает также напряжения растяжения, которые можно определить следующим способом. Выделим произвольное поперечное сечение сварной площадки (см. рис. 3, *б*). Положение данного сечения определяется углами α_1 и α_2, которые связаны соотношением

$$R_1\sin\alpha_1 = R_2\sin\alpha_2.$$

На присадочный металл, расположенный выше данного сечения, со стороны вала и со стороны ролика действует растягивающая сила N_y. Ее можно определить, просуммировав осевые составляющие элементарных сил dP, действующих на присадочный металл от вала и инструмента по тем частям кон-

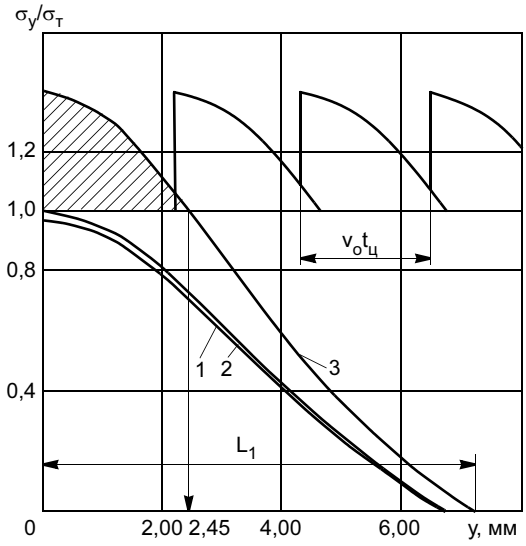

Рис. 4. Растягивающие напряжения в поперечных сечениях контактных площадок при различных режимах наплавки: *1—3* — ε_y равно 0,152, 0,172 и 0,458 соответственно

тактных площадок, что расположены выше данного сечения. Получим

$$N_y = 2\sigma_т \frac{b_1 R_1^2}{L_1} \int\limits_{\alpha_1}^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha_1^2} \sin\alpha_1 d\alpha_1 +$$

$$+ 2\sigma_т \frac{b_2 R_2^2}{L_2} \int\limits_{\alpha_2}^{L_2/R_2} \sqrt{(L_2/R_2)^2 - \alpha_2^2} \sin\alpha_2 d\alpha_2. \quad (7)$$

Площадь произвольного сечения сварной площадки (см. рис. 2)

$$A_\alpha = f2x = 2fb\sqrt{L_1^2 - \alpha^2 R_1^2}/L_1; \quad (8)$$

$$f = R_1(1 - \cos\alpha_1) + R_2(1 - \cos\alpha_2) + \delta. \quad (9)$$

Если считать, что нормальные напряжения σ_y равномерно распределены по поперечному сечению формируемой сварной площадки, то

$$\sigma_y = N_y/A_\alpha. \quad (10)$$

Пример. Вал из стали 45 (ГОСТ 1050—75) диаметром $2R_1$ = 50 мм наплавили на различных режимах пружинной проволокой 2-го класса (ГОСТ 9389—75) диаметром d = 1,8 мм с применением ролика диаметром $2R_2$ = 300 мм. Относительное осевое удлинение присадочной проволоки ε_y после каждой наплавки составило 0,152, 0,172 и 0,458. Для различных режимов наплавки были получены зависимости распределения отношений растягивающих напряжений σ_y в поперечных сечениях присадочной проволоки к пределу текучести $\sigma_т$ присадочного металла от координаты y сечения (рис. 4).

В соответствии с зависимостью (1) относительная осевая деформация присадочной проволоки ε_y = 0,152 недостаточна для образования сварного соединения основного и присадочного металла, она ниже пороговой. Кривая *1* на рис. 4 проходит ниже ординаты $\sigma_y/\sigma_т$ = 1. Иными словами, действующие в присадочном металле растягивающие напряжения не достигают предела текучести для данных конкретных условий ЭКН.

Значению ε_y = 0,172 соответствует, как следует из зависимости (1), минимальная, близкая к нулю прочность сварного соединения. Соединение образуется только в самом начале сварной площадки, в зоне наибольшей деформации присадочной проволоки. В указанном поперечном сечении контактной площадки, т. е. при координате y = 0, действуют напряжения σ_y, величина которых практически совпадает с пределом текучести металла проволоки (см. рис. 4, кривая *2*).

Значению относительной осевой деформации ε_y = 0,458 соответствует близкая к максимально возможной прочность сцепления металлопокрытия с основой. На кривой *3* рис. 4 имеется значительная по размерам зона контактной площадки y = 2,45 мм, в которой растягивающие напряжения σ_y превышают максимально воспринимаемые присадочным материалом без разрушения напряжения — предел текучести при данной температуре. Это объясняется тем, что в данной зоне уже образовалось сварное соединение, воспринимающее излишнюю растягивающую нагрузку. В данной зоне контактной площадки происходит под значительным давлением относительное движение разогретого до пластического состояния присадочного металла по наплавляемой поверхности, которое, как было сказано выше, способствует образованию качественного сварного соединения в твердой фазе.

Фактически же образование соединения начинается уже при напряжениях σ_y, составляющих 0,97—0,98$\sigma_т$, за счет пластической деформации микронеровностей металла основы.

Таким образом, условием формирования сварного соединения[2] при ЭКН является неравенство

$$\sigma_y \geqslant \sigma_т. \quad (11)$$

Можно сделать важный с технологической точки зрения вывод. Для обеспечения сплошного металлопокрытия без непроваров шаг наплавки по длине формируемого валика следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить не только оптимальное перекрытие смежных контактных площадок [1], но и тех их зон, в которых образуется сварное соединение покрытия с основой вала [7]. Пользуясь схемой,

[2] Патент 2278009 (РФ).

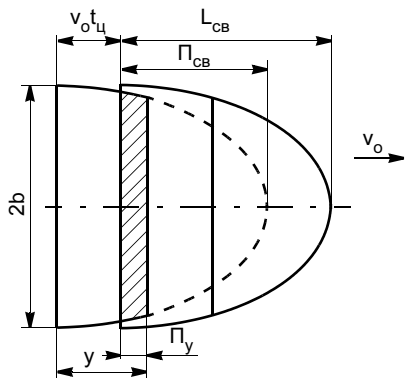

Рис. 5. К определению коэффициентов перекрытия

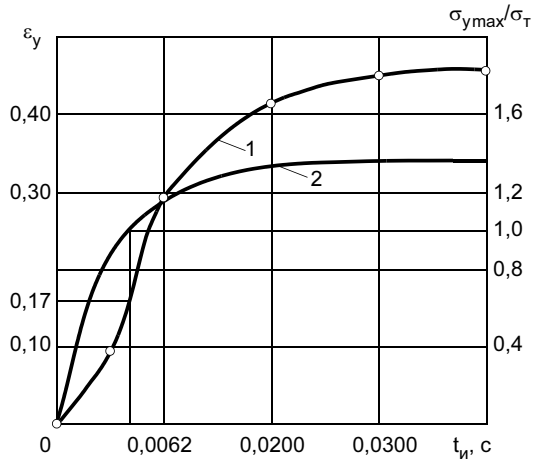

Рис. 6. Зависимость относительной осевой деформации присадочной проволоки и максимальных нормальных напряжений в зоне формирования сварного соединения от длительности импульса тока

приведенной на рис. 5, можно определить соответствующие коэффициенты перекрытия[3]:

$$K_{св} = \frac{П_{св}}{L_{св}} = \frac{L_{св} - v_o t_ц}{L_{св}} = 1 - \frac{v_o t_ц}{L_{св}};$$

$$K_y = \frac{П_y}{y} = \frac{y - v_o t_ц}{y} = 1 - \frac{v_o t_ц}{y}.$$

При исследованиях проводили эксперименты, позволившие проследить кинетику формирования сварного соединения. Наплавляли цилиндрические разборные образцы диаметром 50 мм. При этом технологические параметры режима наплавки поддерживали постоянными, такими же, как в предыдущем примере (см. рис. 4, кривая *3*). Исключение составила только длительность импульсов тока $t_и$, которую изменяли ступенчато. В этих экспериментах определяли относительную осевую деформацию присадочной проволоки ε_y и вычисляли по вышеприведенным зависимостям максимальные растягивающие напряжения σ_y в поперечных сечениях сварных площадок (при координате сечения $y = 0$). Получили зависимости $\varepsilon_y - t_и$ (1) и $\sigma_{ymax}/\sigma_т - t_и$ (2) (рис. 6). Полученная зависимость ε_y—$t_и$ удовлетворительно подтверждается экспериментально при отрыве штифтов разборных образцов от наплавленного слоя.

Выше было сформулировано условие образования сварного соединения при ЭКН (11). Из анализа зависимости, приведенной на рис. 6, следует, что образование сварного соединения начинается через 0,0062 с после начала цикла. Правильность расчетов подтверждается тем, что моменту начала образования соединения покрытия с основой соответствует пороговое значение осевой деформации проволоки $\varepsilon_y = 0{,}17$.

На рис. 7 и 8 приведено изменение длины и размеров зоны формирования сварного соединения в пределах контактных площадок. Видно, что рост такой зоны практически завершается через 0,020—0,025 с. Тем не менее оптимальной длительностью импульса тока считаем значение 0,04 с. Металлографические исследования показывают, что к этому моменту времени полностью завершаются релаксационные процессы, а в стыке основного и присадочного

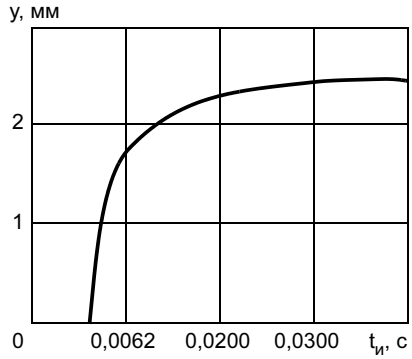

Рис. 7. Зависимость длины зоны формирования сварного соединения от длительности импульса тока

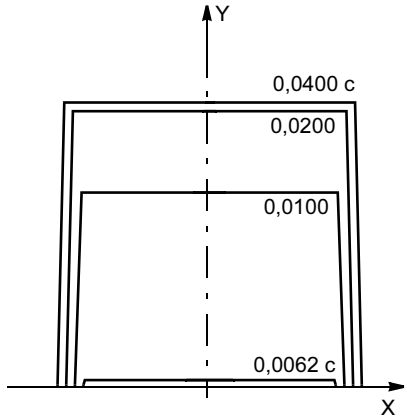

Рис. 8. Изменение размеров зоны сварного соединения при прохождении импульса тока

[3]Патент 2263565, 2278009 (РФ).

металлов образуются общие зерна. Соединение при этом получается более пластичным.

На основе проведенных исследований разработана математическая модель формирования соединения при ЭКН валов, позволяющая рассчитывать основные параметры пластической деформации проволоки и формирования сварного соединения в зависимости от технологических режимов наплавки, материалов и диаметров детали и проволоки.

Результаты теоретических исследований могут быть использованы при проектировании технологических процессов восстановления изношенных деталей типа "вал".

ВЫВОДЫ

1. Прочность сварного соединения при электроконтактной наплавке определяется деформацией присадочной проволоки при ее наплавке. В качестве измеряемого и контролируемого параметра деформации проволоки целесообразно выбирать осевую составляющую.

2. Обязательным условием качественного сварного соединения является относительное движение разогретого до пластического состояния присадочного металла по наплавляемой поверхности.

3. Для формирования сплошного металлопокрытия без непроваров необходимо обеспечить перекрытие по длине сварного валика зон контактных площадок, в которых образуется сварное соединение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клименко Ю. В.* Электроконтактная наплавка. М.: Металлургия, 1978. 128 с.
2. *Каракозов Э. С.* Соединение металлов в твердой фазе. М.: Металлургия, 1976. 262 с.
3. *Расчет* геометрических размеров контакта между присадочной проволокой и электродом при электроконтактной наплавке / Л. Н. Соколов, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков и др. // Сварочное производство. 1987. № 10. С. 43, 44.
4. *Дубровский В. А., Булычев В. В., Зыбин И. Н.* Изменение формы поперечного сечения присадочной проволоки при электроконтактной наплавке // Сварочное производство. 2001. № 6. С. 24—27.
5. *Дубровский В. А., Булычев В. В., Пономарев А. И.* Предотвращение выплесков при электроконтактной наварке проволокой из стали 40Х13 // Сварочное производство. 2003. № 6. С. 12—15.
6. *Нафиков М. З.* Параметры электроконтактной наплавки // Технология металлов. 2005. № 7. С. 29—31.
7. *Нафиков М. З.* Формирование сплошного металлопокрытия при электроконтактной наплавке валов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 9. С. 24—29.

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791.927.5

Р. А. МЕЙСТЕР, канд. техн. наук., А. Р. МЕЙСТЕР, аспирант, А. А. БЕЗРУКИХ, инж.
Политехнический институт СФУ (Красноярск)

Многодуговая наплавка покрытыми электродами

Однодуговой способ наплавки покрытыми электродами имеет широкое применение, но для получения наплавленного металла без примесей основного необходимо наносить пять-шесть слоев.

За последние десятилетия в научно-технической литературе отсутствуют сведения о многоэлектродной наплавке дугой постоянного тока и трехфазной дугой. В связи с разработкой в России и за рубежом электродов диаметром 1,6—3,0 мм появилась возможность уменьшить массу электрододержателя и подводящих проводов для многоэлектродной наплавки, что являлось существенным недостатком приведенных способов [1, 2].

В данной работе определяли оптимальные режимы многоэлектродной наплавки дугой постоянного тока и трехфазной дугой, обеспечивающие формирование наплавленных валиков без зашлаковок.

В начальной фазе исследований выполняли многоэлектродную наплавку, питание осуществлялось от однофазного выпрямителя с конденсаторным умножителем напряжения и пологопадающей ВАХ. Напряжение холостого хода 80—95 В, индуктивность сварочной цепи 0,5—0,8 мГн. Устойчивость горения дуги оценивали согласно ГОСТ 25616—83, замеряли потери на угар и разбрызгивание. Долю участия основного металла в наплавленном (в отн. ед.) определяли после фотографирования протравленных образцов в программе Photoshop. Электроды связывали медной проволокой диаметром 0,2 мм при расстоянии между местами крепления 35—40 мм.

При наплавке тремя электродами ОЗС-12, МР-3 диаметром 2 мм, скомпанованных треугольником, доля участия основного металла в наплавленном, равная 5—6 %, получена на следующих режимах: $I_д$ = 40÷50 А; $U_д$ = 25 В; обратная полярность. Потери на угар и разбрызгивание составили 3—4 %, коэффициент наплавки — 6,8 г/(А · ч), производительность — 0,42 кг/ч. Ширина валика 9,3 мм, высота — 4 мм, переход от основного металла к наплавленному плавный (рис. 1).

При применении аналогичных режимов швы формируются при сварке током прямой полярности. При погружении электрода в расплавленный шлак дуга угасает, поэтому необходимо поддерживать длину дуги постоянной, без касания электродами расплавленного шлака.

Наплавка током менее 40 А ухудшает смачиваемость основного металла наплавленным и формирование валиков.

При наплавке тремя электродами НЖ-13 диаметром 3 мм на низкоуглеродистую сталь обеспечивается доля участия основного металла в наплавленном 3—5 %. Режимы наплавки: $I_д$ = 100 А; $U_д$ = 28 В; обратная полярность (рис. 2).

Питание трехфазной дуги обеспечивалось от трансформатора ТШС-1000-3. Для обеспечения крутопадающей ВАХ в фазы электродов включали отдельные дроссели с кольцевым магнитопрово-

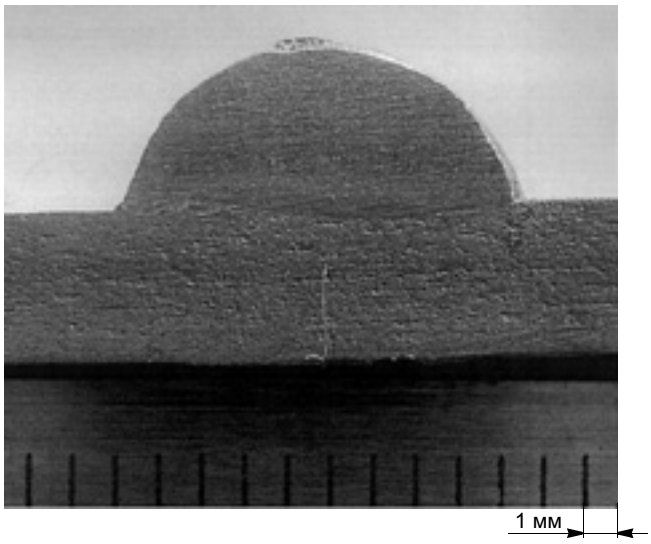

Рис. 1. Поперечное сечение шва ($I_д$ = 45 А, $U_д$ = 25 В, обратная полярность)

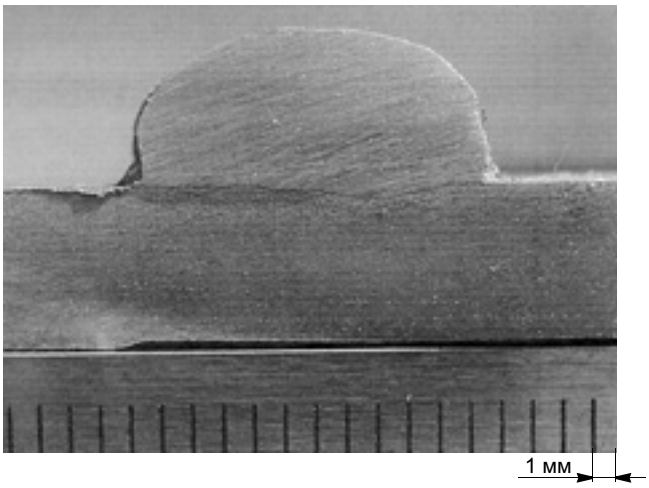

Рис. 2. Макрошлиф шва, наплавленного электродами НЖ-13 током обратной полярности

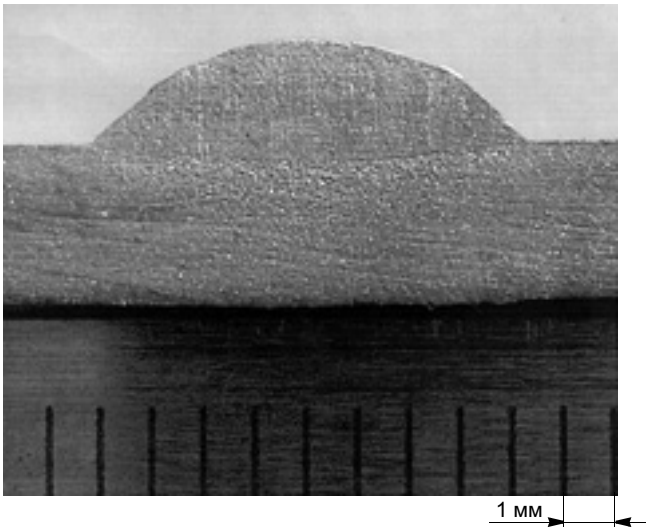

Рис. 3. Макрошлиф шва, наплавленного трехфазной дугой

дом и ступенчатым регулированием индуктивного сопротивления, токи короткого замыкания в каждой фазе устанавливали одинаковыми.

Электроды фиксировали в простейшем электрододержателе, в котором токоподвод обеспечивался тремя параллельными медными пластинами, изолированными прокладками из текстолита. Электроды связывали нитками, обмазывали силикатным клеем и просушивали при 200 °С.

Показатели устойчивости горения трехфазной дуги нельзя полностью оценивать по показателям для однодуговой сварки (ГОСТ 25616—83). Показатель эластичности дуги неприемлем, так как трехфазная дуга горит при любом расстоянии от изделия. К наиболее важным показателям устойчивого горения трехфазной дуги относятся зажигание дуги, равномерность плавления трех электродов, потери на угар и разбрызгивание, формирование шва и отсутствие застывшей общей капли на концах электродов после угасания дуги.

Зажигание трехфазной дуги обеспечивали одновременным касанием детали концами трех электродов и шунтированием токов через деталь.

При наплавке тремя электродами МР-3 диаметром 2 мм на зачищенную до металлического блеска пластину из низкоуглеродистой стали ($U_{хх}$ = 78 В, ток в электродах 60 А, напряжение дуги 30—32 В) потери на угар и разбрызгивание составили 9—11 %, коэффициент наплавки — 6,45 г/(А · ч).

Коэффициент наплавки определяли по формуле

$$\gamma = G_н 3600/3It,$$

где $G_н$ — масса наплавленного металла, г; I — ток в электродах, А; t — время горения, с.

Доля участия основного металла в наплавленном составила 6—9 % (рис. 3), производительность — 1,15 кг/ч.

С увеличением токов в электродах до 75 А доля участия основного металла в наплавленном возрастает до 45 % и обеспечивается формирование валиков шириной 14—15 мм и высотой выпуклости 2 мм при хорошей смачиваемости основного металла.

Для трехфазной дуги характерна зависимость напряжения дуги от расстояния между электродными стержнями.

У электродов диаметром стержня 2 мм толщина покрытия на сторону составляет 0,5—0,7 мм. Если считать длину дуги равной расстоянию между центрами электродов, то длина дуги составляет 3—4 мм. Для диаметра стержня 3 мм и толщины покрытия на сторону 1 мм длина дуги равна 5 мм.

Электродные стержни в месте их плавления имеют форму эллипса (рис. 4), и среднюю длину $l_д$ можно считать равной между центрами электродных стержней.

По данным работы [3], средняя длина дуги при однодуговой сварке составляет 1,50—1,84 мм. С увеличением длины дуги возрастают напряжение и проплавляющая способность дуги. Поэтому при наплавке тремя электродами МР-3 диаметром 3 мм, током 130 А при напряжении дуги 36—38 В обеспечивается формирование валика шириной 22 мм и высотой выпуклости 3,5 мм. Но доля участия основного металла в наплавленном увеличивается

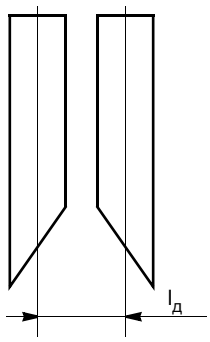

Рис. 4. Форма электродов в процессе плавления

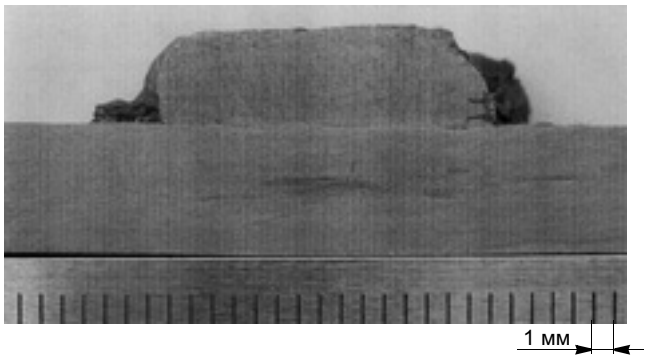

Рис. 5. Макрошлиф шва, наплавленного трехфазной дугой при $I_д$ = 60 А, $U_д$ = 35 В

до 33 % при производительности 1,8 кг/ч. Снижение токов в электродах до 60 А значительно уменьшает глубину проплавления, но ухудшается смачиваемость основного металла наплавленным (рис. 5).

Зажигание дуги улучшается при подключении нулевого провода к детали и отключении его после зажигания дуги.

ВЫВОДЫ

1. При многоэлектродной наплавке дугой постоянного тока доля участия основного металла в наплавленном не превышает 10 %.

2. При наплавке трехфазной дугой обеспечиваются формирование наплавленных валиков с минимальным проплавлением детали и большая производительность процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грохольский Н. Ф.* Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой. М.: Машгиз, 1962. 275 с.

2. *Михайлов Т. П.* Сварка трехфазной дугой. М.: Машгиз, 1956. 299 с.

3. *Мазель А. Г.* Технологические свойства сварочной дуги. М.: Машиностроение, 1969. 178 с.

УДК 621.791.763.1

А. И. ДЕМЧЕНКО, канд. техн. наук, А. С. РАФАЛЬСКИЙ, аспирант
Политехнический институт Сибирского федерального университета

Применение контактной точечной и рельефной сварки при изготовлении термоэлементов автоматических выключателей

В настоящее время элементы низковольтной аппаратуры выполняют из разнородных цветных, реже черных, металлов и сплавов. При соединении материалов основным требованием является стабильное невысокое электрическое сопротивление получаемого контакта. Кроме того, к элементам низковольтной аппаратуры предъявляют следующие требования: высокая прочность соединения, оцениваемая по усилию на срез; малые деформации деталей и узлов после соединения; сохранение работоспособности элемента в целом при возможных изменениях физико-механических свойств материалов в результате соединения.

Наиболее применяемой технологией изготовления элементов низковольтной аппаратуры, в частности в ОАО "Дивногорский завод низковольтной аппаратуры" (ДзНВА), является пайка с применением серебросодержащих и медно-фосфорных припоев. К основным недостаткам данного способа относятся высокая стоимость серебросодержащих припоев, недостаточная производительность, повышение электросопротивления в месте пайки по отношению к общему, что приводит к ухудшению электрических свойств всего элемента.

На рис. 1 показан общий вид одного из типоразмеров термоэлемента, широко применяемого в автоматических выключателях для обеспечения тепловой защиты. При коротком замыкании ток, текущий по пластине, многократно увеличивается, вследствие чего она нагревается и изгибается, обеспечивая разрыв цепи.

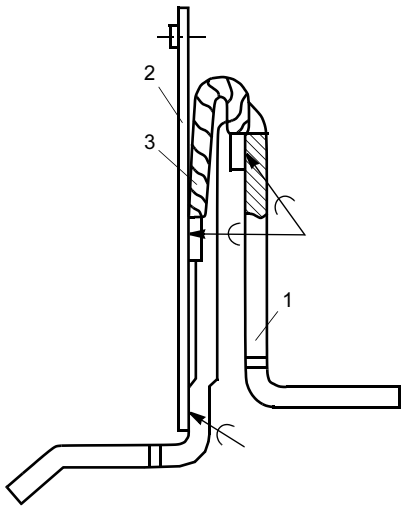

Рис. 1. Конструкция термоэлемента: *1* — скоба; *2* — ТБ пластина; *3* — гибкое соединение

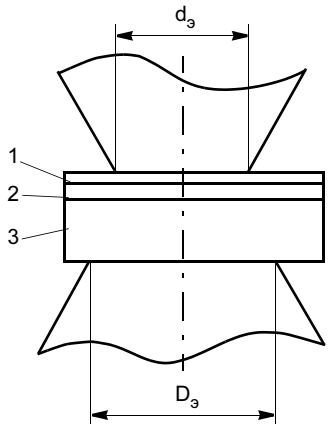

Рис. 2. Схема соединения ТБ пластины со стальной скобой: *1*, *2* — активный и пассивный слои соответственно; *3* — сталь Ст3

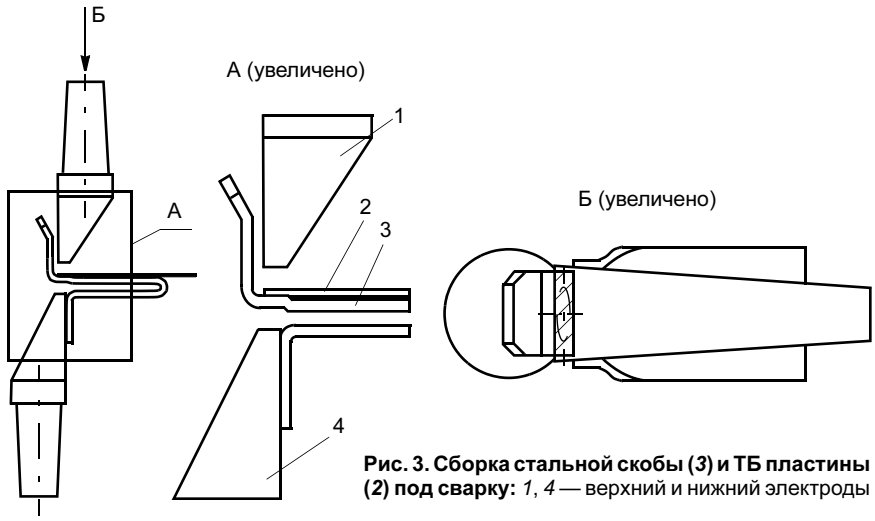

Рис. 3. Сборка стальной скобы (*3*) и ТБ пластины (*2*) под сварку: *1*, *4* — верхний и нижний электроды

Необходимость снижения себестоимости продукции приводит к использованию деталей различных материалов и толщин. Так, в зависимости от типоразмера выключателя скобу выполняют из низкоуглеродистой стали Ст3, латуни Л63 и меди М1 толщиной от 1,5 до 2,5 мм. Гибкое соединение формируется из медного провода ПЩ диаметром 2,5 мм, где количество стренг варьируется от одной до трех. Пластину вырубают из термобиметаллических (ТБ) полос ТБ 138/80 и ТБ 1353 (ГОСТ 10533—86) или их импортных аналогов KANTHAL 145 и KANTHAL 135 R 05 толщиной 1,2 мм (табл. 1).

В данной работе приведены результаты исследовательских работ по применению контактной сварки для соединения ТБ пластины со скобой. Соединения получали на машинах точечной сварки МТ-1210 и МТПУ-300.

Процесс контактной точечной сварки пластины ТБ 138/80 со стальной скобой можно условно представить как соединение трех пластин, так как ток протекает через три различных материала: активный слой (24НХ), пассивный слой (36Н) и низкоуглеродистая сталь (рис. 2). Скобу приваривают к ТБ пластине со стороны пассивного слоя. Электропроводность и теплопроводность пассивного слоя ТБ лучше, чем стали, а толщина намного меньше. При прочих равных условиях это должно приводить к смещению сварной точки в более толстую деталь и отсутствию проплавления более тонкой детали [1]. Однако активный слой, расположенный со стороны электрода, выполняет роль теплового экрана, препятствующего отводу теплоты в электрод со стороны пластины и смещающего центр теплового равновесия в сторону ТБ. Свойства активного слоя зависят от материала, используемого в ТБ. Но в любом случае электропроводность и теплопроводность активного слоя менее отличны от электропроводности и теплопроводности стали, чем пассивного слоя.

Другой особенностью рассматриваемого соединения являются малые размеры площади контакта (12×4 мм^2) деталей, в связи с чем величина нахлестки меньше допускаемой ГОСТ 15878—79. Свариваемые детали располагали между электродами таким образом, чтобы центр контакта между деталями совпадал с центрами электродов (рис. 3). Для предотвращения выдавливания жидкого металла в зазор между деталями смещенную контактную поверхность электрода выполняли в форме эллипса.

При проведении экспериментальных работ применяли электроды из меди и бронзы (БрНБТ, БрХ07) с плоской и сферической рабочими поверхностями. Контактная поверхность электрода со стороны скобы увеличена по сравнению с площадью контактной поверхности противоположного электрода: $D_э > d_э$ (см. рис. 2). Изменение материала и геометрии рабочей поверхности электродов не приводило к значительному изменению размеров сварной точки.

Таблица 1

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Материал пластины	Материал скобы	Толщина скобы δ, мм
ВА57-35 34 ВА57-35 64 ВА57-35 84	100 125	ТБ 138/80	Сталь Ст3	2,0 2,5
	160 200 250	ТБ 1353	Л63 Л63 М1	2,5 2,5 2,0
Примечание. Во всех случаях толщина пластины δ = 1,2 мм, количество стренг гибкого соединения — 3.				

Таблица 2

Тип соединения	$I_{св}$, кА	$F_{св}$, Н	$t_{св}$, с	$d_р$, мм	$h_р$, мм	Модуляция импульса тока, с
ТБ + Ст3	4,0—5,5	1800—2000	0,2	—	—	0
ТБ + Л63	5,5—6,5			3,2—3,5	0,7—0,9	0,08—0,10
ТБ + М1	6,5—7,5			3,2—3,5	0,7—0,9	0,08—0,10

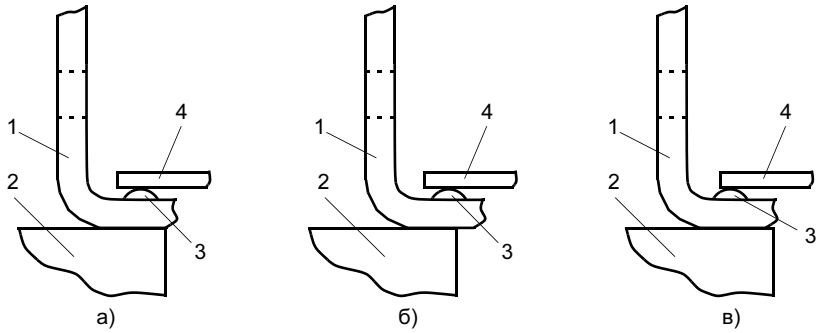

Рис. 4. Расположение рельефов (*3*) относительно электрода (*2*) и ТБ пластины (*4*): *1* — скоба

При сварке на жестких режимах наблюдался наружный выплеск активного слоя ТБ. Применение мягких режимов приводило, как и при пайке, к недопустимому перегреву пластины и, как следствие, возможной потере работоспособности. Оптимальные результаты получены на режимах, приведенных в табл. 2.

Эксперименты по соединению пластины ТБ 1353 с латунной скобой контактной точечной сваркой положительного результата не дали вследствие большой разницы электротеплофизических свойств латуни и ТБ, которая приводит к преждевременному расплавлению и выплеску слоев ТБ из зоны сварки.

Использование общепринятых рекомендаций по соединению разнородных материалов при контактной сварке, в частности, применение электродов различного диаметра, с различными теплофизическими свойствами и др. [3], также не дало положительных результатов. Применение вспомогательных прокладок между соединяемыми деталями [3] и сварки с обжатием периферии сварной точки [4] недопустимо из-за повышения электросопротивления в зоне контакта и из-за сложной формы изделия соответственно.

Также был опробован способ[1] сварки, заключающийся в предварительной вырубке в пластине сквозного отверстия размером меньше контактной поверхности электрода [4]. При сварке пластина располагалась относительно электрода таким образом, чтобы отверстие было соосно контактной поверхности электрода, т. е. перекрывалось им. Главным недостатком такого способа является интенсивное загрязнение контактной поверхности электрода, из-за чего электрод приходилось зачищать после сварки двух-трех точек. Также не удалось добиться стабильности процесса сварки.

С целью более интенсивного нагрева латунной скобы применили контактную рельефную сварку. Рельефы выполняли на скобе симметрично относительно осевой линии скобы. Исходя из геометрических особенностей соединения, выполняли два рельефа уменьшенных размеров[2] (см. табл. 2). Для разных типоразмеров латунных скоб, применяемых в ОАО "ДзНВА", выполняли одинаковые рельефы.

При проектировании места выштамповки рельефов учитывали геометрию свариваемых деталей и электродов. Желательно, чтобы рельефы располагались по центру общей площади контакта пластины со скобой. Однако для обеспечения более равномерного нагрева рельефов более важно обеспечить перекрытие рельефов электродом со стороны скобы (рис. 4, *а*). Для этого необходимо использовать электрод с выступом (рис. 5) или немного сместить рельефы в сторону ближайшего изгиба на скобе. При смещении рельефов недопустимо, чтобы они выступали за край ТБ пластины, как показано на рис. 4, *б*, *в*. Верхний электрод может быть произвольной формы, обеспечивающей перекрытие обоих рельефов.

При сварке медной скобы и ТБ пластины основной проблемой также является преждевременное расплавление и выплеск ТБ из зоны сварки.

Как и в предыдущем случае, соединение выполняли контактной рельефной сваркой, причем со стороны скобы применяли электрод с вольфрамовой напайкой. При этом уменьшался отвод теплоты из зоны сварки и создавалось дополнительное выделение теплоты в контакте элек-

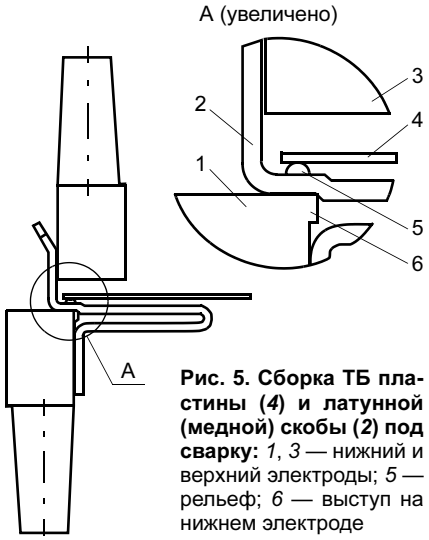

Рис. 5. Сборка ТБ пластины (*4*) и латунной (медной) скобы (*2*) под сварку: *1*, *3* — нижний и верхний электроды; *5* — рельеф; *6* — выступ на нижнем электроде

[1] А. с. 740439 (СССР).

[2] А. с. 164744 (СССР).

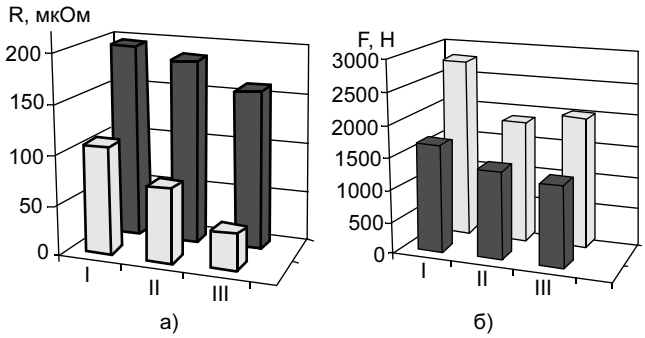

Рис. 6. Сравнительная диаграмма электрического сопротивления соединения (*а*) и разрушающего усилия при испытаниях на срез (*б*) (светлые столбцы — сварка, темные — пайка): *I* — ТБ + сталь Ст3; *II* — ТБ + латунь Л63; *III* — ТБ + медь М1

трод — деталь, что обеспечивало стабильное проплавление медной детали.

При отработке режимов сварки на образцах-свидетелях использовали выплеск как критерий наличия жидкой фазы металла[2]. Усилие сжатия электродов и время сварки устанавливали согласно рекомендациям работы [7], затем увеличивали сварочный ток до гарантированного появления выплеска, а затем уменьшали до исчезновения.

При проведении лабораторных испытаний термоэлементов фиксировали электрическое сопротивление зоны сварки и прочность соединения при работе на срез. Результаты приведены на рис. 6. При прочностных испытаниях происходил вырыв точки по ОШЗ. Также оценивали размеры ЗТВ на пластине по сравнению с образцами, полученными пайкой. Заводские испытания заключались в циклических испытаниях выключателя в целом на отключение при коротком замыкании.

По результатам испытаний технология контактной точечной сварки ТБ пластины со стальной скобой внедрена в производство. Принято решение о внедрении рельефной сварки латунной и медной скоб с пластиной; для этого в настоящее время модернизируется заготовительное производство. Полное внедрение контактной сварки при изготовлении термоэлементов позволит получить значительный экономический эффект.

ВЫВОДЫ

1. Применение разработанной технологии контактной сварки термоэлементов автоматических выключателей обеспечивает требуемое качество соединения.

2. Для соединения стальной скобы с термобиметаллической пластиной целесообразно применять контактную точечную сварку, для соединения латунной и медной скоб с пластиной — контактную рельефную сварку. При сварке медной скобы с ее стороны необходимо применять электрод со вставкой или напайкой из вольфрама или молибдена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология* и оборудование контактной сварки: Учебник / Б. Д. Орлов. А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др.; под ред. Б. Д. Орлова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
2. *Чакалев А. А.* Новое в технологии контактной сварки. М.: Машиностроение, 1981. 44 с.
3. *Козловский С. Н.* Основы теории и технологии программированных режимов контактной точечной сварки. Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет, 2006. 260 с.
4. *Шелковин Н. Г., Миличенко С. Л.* Металлургические и технологические особенности сварки термобиметаллов с медными сплавами // Сварка цветных металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1980.
5. *Гиллевич В. А.* Технология и оборудование рельефной сварки. Л.: Машиностроение, 1976. 152 с.

УДК 621.791.4:539.378.3

А. В. ЛЮШИНСКИЙ, д-р техн. наук (ОАО "РПКБ", Раменское Московской обл.),
В. И. МАЛИНОВ, канд. техн. наук, Н. И. КАЧАЛИН, инж., Г. В. БАРАНОВ, инж. (ФГУП РФЯЦ – ВНИИЭФ, Саров)

Особенности диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ 95

Вольфрамовые сплавы типа ВНЖ из-за их высокой относительной плотности (17,0—18,7 г/см^3) применяют в дефектоскопии и энергетике в качестве защиты от гамма-излучения, а также для изготовления динамических и статических противовесов, мощных электродов и др.

Сплав ВНЖ 95 содержит вольфрам в количестве 95 %, а также никель и железо, соотношение содержания которых постоянно Ni/Fe = 7/3. В связи с высокой температурой плавления вольфрама сплав получают не традиционным методом литья, а методом порошковой металлургии при

температуре 1450—1550 °С в среде водорода. В этом случае консолидация материала до компактного состояния происходит за счет процессов диффузии, рекристаллизации и объемно-вязкого течения в условиях прессования и спекания вольфрама и жидкой фазы Ni — Fe.

Изготовление изделий, состоящих из нескольких деталей, с применением различных видов сварки плавлением (аргонодуговой, электронно-лучевой и др.) не обеспечивает требуемого качества, так как повторное плавление фазы Ni — Fe при сварке приводит к ее охрупчиванию и, следовательно, ухудшению механических свойств соединений. Кроме того, при температуре свыше 1200 °С за счет рекристаллизации интенсивно растет зерно вольфрама.

Наиболее оптимальным методом получения неразъемных соединений является диффузионная сварка, при которой соединение осуществляется в твердой фазе ниже температуры плавления фазы Ni — Fe — менее 1200 °С. Согласно работам [1, 2], а также результатам предварительных исследований, при такой температуре получить качественное сварное соединение образцов из сплавов на основе вольфрама без применения активирующих промежуточных слоев практически невозможно.

Получение равнопрочного соединения чистого вольфрама диффузионной сваркой возможно при T = 2200 °С, сварочном давлении p = 20 МПа и времени выдержки t = 15 мин, но в данном случае такая температура недопустима.

Цель данной работы — определить вид активирующего промежуточного слоя для сварки сплава ВНЖ 95 и исследовать кинетику формирования диффузионного соединения через слой оптимального состава.

Исследования выполняли на образцах из сплава ВНЖ 95 диаметром 18 мм и высотой 25 мм, торцы которых обрабатывали точением до параметра шероховатости Rz = 1,25 мкм. В ряде экспериментов перед сваркой на торцы образцов наносили гальваническое никелевое покрытие толщиной 9—15 мкм. В качестве промежуточных активирующих слоев использовали промышленную никелевую фольгу НП-2 толщиной 0,01 и 0,2 мм, а также никелевую пористую ленту ЛНП-2 толщиной 65, 130 и 195 мкм пористостью 55 %, получаемую прокаткой ультрадисперсного порошка никеля. В свою очередь ультрадисперсный порошок никеля с размером частиц основной фракции менее 0,1 мкм и развитостью поверхности около 17 м^2/г получали термическим разложением формиата никеля [3].

Диффузионную сварку образцов проводили на установке СДВУ-50 в вакууме не ниже 1,8 Па с радиационным нагревом и приложением сварочного давления в диапазоне 1—100 МПа. Время выдержки на выбранных режимах варьировали от 30 мин до 2 ч.

При сварке образцов через компактную ленту НП-2 толщиной 0,01 мм (T = const = 1150 °С), приложении сварочного давления от 1 до 30 МПа и варьировании времени сварки от 30 мин до 2 ч прочность интенсивно возрастает с повышением давления. Увеличение времени выдержки более 60 мин приводит к незначительному росту прочности (рис. 1).

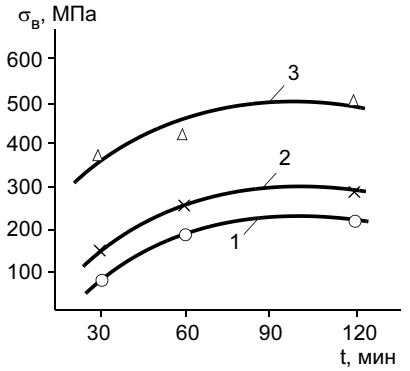

Рис. 1. Зависимость $\sigma_в(t)$ при T = 1150 °С: *1—3* — *p* равно 1, 15 и 30 МПа соответственно

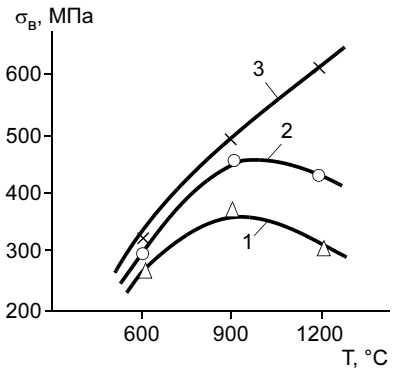

Рис. 2. Зависимость $\sigma_в(T)$ при p = 5 МПа и t = 30 мин: *1—3* — толщина промежуточного слоя 65, 130 и 195 мкм соответственно

Изменение толщины ленты НП-2 до 0,2 мм не приводит к существенному увеличению прочности.

При диффузионной сварке через пористую ленту ЛНП-2 абсолютная прочность сварного шва выше, чем при сварке через компактную ленту НП-2. Это связано с большой диффузионной активностью ультрадисперсных порошковых частиц, из которых состоит лента ЛНП-2. Установлено [4], что с уменьшением размера частиц металлического порошка скорость диффузии увеличивается. При этом, чем меньше частица, тем массоперенос по границам зерен и межфазным границам на несколько порядков активнее, чем в объеме кристалла.

С увеличением толщины ленты и повышением температуры прочность сварного соединения увеличивается (рис. 2).

При сварке через порошковую ленту из ультрадисперсных частиц отмечена характерная особенность, не свойственная соединениям, сваренным через компактный промежуточный слой. При $T_{св}$ = 1200 °С и толщине ленты 65 мкм прочность сварного соединения меньше, чем при

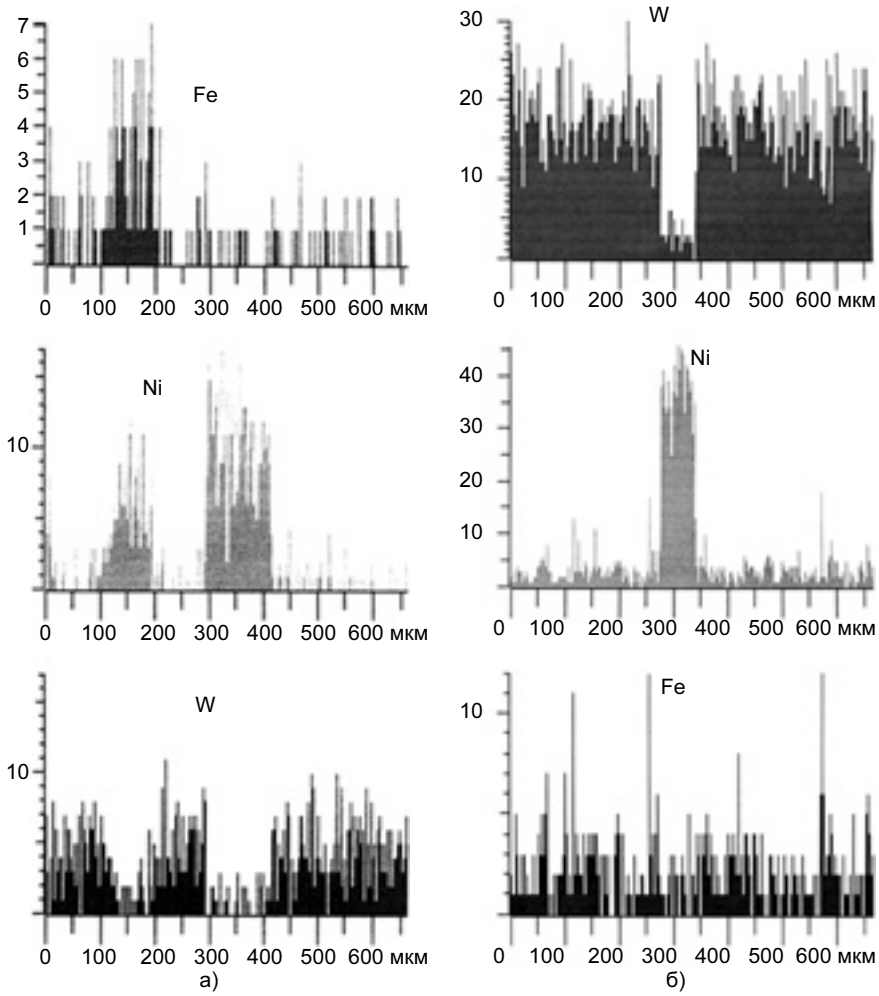

Рис. 3. Диаграммы распределения Ni, W и Fe в диффузионном соединении: *а* — $T_{св}$ = 900 °С; *б* — 1200 °С

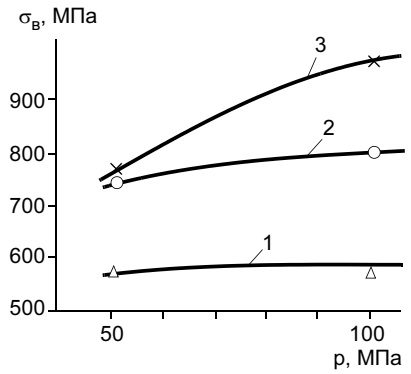

Рис. 4. Зависимость $\sigma_в(p)$ при T = 900 °С и t = 30 мин: *1—3* — см. рис. 2

$T_{св}$ = 900 °С и такой же толщине ленты. При $T_{св}$ = 1200 °С и толщине ленты 130 мкм прочность соединения также ниже, чем при $T_{св}$ = 900 °С, но общий уровень прочности выше, чем при сварке через ленту толщиной 65 мкм. С увеличением толщины ленты до 195 мкм это явление не проявляется при $T_{св}$ = 1200 °С, но, возможно, проявится при более высокой температуре, т. е. можно ожидать, что при $T_{св} \gg$ 1200 °С и толщине 195 мкм прочность сварного соединения будет ниже, чем при $T_{св}$ = 1200 °С.

При исследовании поверхности излома образцов после механических испытаний на разрыв установили, что промежуточный слой из ленты толщиной 65 мкм после сварки при $T_{св}$ = 1200 °С практически отсутствует, в то время как после сварки при $T_{св}$ = 900 °С на свариваемых поверхностях наблюдались остатки спеченной пористой ленты. Можно предположить, что при одной и той же толщине пористой ленты с повышением $T_{св}$ происходит интенсификация процесса диффузии промежуточного слоя в сплав ВНЖ 95 ("диффузионное рассасывание"). Это предположение подтверждается при сравнении диаграмм распределения Ni, W и Fe в диффузионной зоне образцов, сваренных при $T_{св}$, равной 900 (рис. 3, *а*) и 1200 °С (рис. 3, *б*).

С увеличением сварочного давления до 100 МПа прочность сварного соединения на разрыв находится на уровне прочности сплава ВНЖ 95 (рис. 4).

ВЫВОД

Качественное сварное соединение вольфрамового сплава ВНЖ 95 обеспечивает диффузионная сварка с применением промежуточного слоя в виде пористой ленты из ультрадисперсного порошка никеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Влияние* технологических факторов на физико-механические свойства заготовок из вольфрамового сплава ВНЖ 95 / В. Ю. Белов, В. И. Малинов, Н. И. Качалин и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 7. С. 44—49.

2. *Казаков Н. Ф.* Диффузионная сварка материалов. М.: Машиностроение, 1976. 312 с.

3. *Люшинский А. В.* Диффузионная сварка разнородных материалов. М.: ИЦ "Академия", 2006. 208 с.

4. *Петров Ю. И.* Физика малых частиц. М.: Наука, 1982. 196 с.

УДК 621.791.16

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

Технологические возможности ультразвуковой сварки капролона

Увеличение производства пластмасс по объему и номенклатуре, расширение областей применения этих материалов в народном хозяйстве стимулируют развитие исследований, разработку технологических процессов и оборудования для изготовления различных изделий из пластмасс [1, 2].

По объему мирового производства полиамиды, в том числе и капролон В, находятся на четвертом месте после полиолефинов, полистирола, поливинилхлорида. В настоящее время разработан ряд полиамидных композиций с широкой гаммой свойств, позволяющих успешно применять их в нефтеперерабатывающей, химической, автомобильной, электротехнической и других областях промышленности [1, 3].

Капролон — продукт низкотемпературной полимеризации капролактама в присутствии щелочных катализаторов и активаторов — относится к конструкционным материалам, особенностью которых является способность к большим деформациям в широком диапазоне температур, высокая прочность и стойкость против изнашивания [4, 5].

Механические свойства капролона В зависят от температуры. С повышением температуры предел текучести и разрушающее напряжение снижаются, относительное удлинение при разрыве увеличивается, изменяется ударная вязкость. Показатели механических свойств капролона зависят от скорости деформации, но хрупкого разрушения для большинства из них не наблюдается даже при больших скоростях нагружения [3, 4].

Капролон характеризуется низким значением коэффициента трения и уступает в этом отношении только фторопласту и полиацеталям. По износостойкости и несущей способности капролон значительно превосходит фторопласты, полиацетали и поликарбонаты. Причем, чем выше давление, тем меньше коэффициент трения капролона. Несомненным преимуществом капролона является также его устойчивость к воздействию щелочей, спиртов, углеводородов, бензина, масел, слабых кислот, кетонов эфиров [4, 5]. Учитывая весь комплекс ценных свойств капролона В, его используют для изготовления деталей антифрикционного и электроизоляционного назначения. Выпускается в виде блоков или заготовок. Детали из полиамида изготовляют как цельнолитыми, так и из отдельных частей. Детали, состоящие из отдельных частей, соединяют механическим способом (болтами, заклепками и др.), склеиванием и сваркой [3].

Сварка представляет особый интерес, так как позволяет снизить трудоемкость, повысить качество изделий и культуру производства. Кроме того, сварка является в некоторых случаях единственным способом, позволяющим получить соединение, удовлетворяющее условиям эксплуатации изделия [6].

Ниже приведены физико-механические, теплофизические, диэлектрические и химические свойства капролона [4, 5]:

Плотность, г/см^3	1,15—1,16
Предел текучести, МПа:	
сжатие	10—12
статический изгиб	12—15
растяжение	9
Удельная ударная вязкость, кДж/м^2:	
образцы без надреза	100—160
образцы с надрезом	6—8
Твердость по Бринеллю, МПа	18—20
Относительное удлинение при разрыве, %	20—40
Модуль упругости, МПа:	
растяжение	2060—2310
сдвиг	378—530

До настоящего времени капролон соединяли сваркой с помощью газового теплоносителя, нагретого инструмента, а также токами высокой частоты. Однако применение каждого из этих способов возможно с учетом специфических особенностей конструкции свариваемой детали (толщины, геометрической формы, эксплуатационных требований, предъявляемых к готовому изделию) [3].

Капролон В является кристаллическим полимером с узким интервалом перехода из кристаллического состояния в вязкотекучее, поэтому его можно сваривать лишь теми способами, которые обеспечивают локальный нагрев свариваемых деталей. Кроме того, при сварке капролона при его нагревании на воздухе происходит окислительная деструкция. Окисление капролона сопровождается резким ухудшением его физико-механических свойств. Поэтому для соединения деталей из капролона необходимо выбирать такой способ сварки, который бы удовлетворял всем требованиям. Учитывая вышеизложенное, представляет интерес рассмотреть

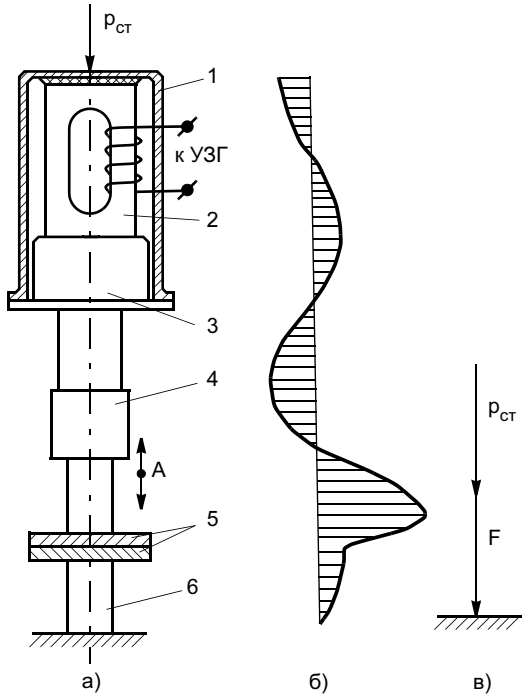

Рис. 1. Ультразвуковая сварка с нормальным вводом колебаний (*A* — амплитуда смещения волновода): *а* — схема установки (*1* — корпус преобразователя; *2* — преобразователь с обмоткой; *3* — трансформатор упругих колебаний; *4* — волновод; *5* — свариваемые детали; *6* — опора); *б* — эпюра амплитуды смещения колебательной системы; *в* — расположение векторов статического давления $p_{ст}$ и динамического усилия *F*

возможность получения сварного соединения с помощью ультразвуковой сварки [6, 7].

Способ ультразвуковой сварки пластмасс основан на нагреве контактируемых поверхностей до температуры плавления полимера в результате превращения энергии колебаний ультразвуковой частоты порядка 20 кГц в тепловую энергию [6].

Детали, подлежащие сварке, сдавливают с определенным усилием и подвергают механическим колебаниям ультразвуковой частоты (рис. 1).

Ультразвуковые колебания для сварки вырабатывает магнитострикционный преобразователь, изготовленный из пермендюра (К492Ф или К50Ф2). Пакет собирают из штампованных пластин пермендюра толщиной 0,2 мм. Собственная частота продольных колебаний 18—24 кГц. Эффект магнитострикции самого пакета невелик и составляет 3—5 мкм.

Для увеличения амплитуды колебаний к торцу преобразователя припаивают трансформатор упругих колебаний, который является промежуточной частью между преобразователем и волноводом-инструментом. При помощи резьбового соединения к трансформатору упругих колебаний присоединяют различные волноводы-инструменты, выполняющие роль сварочного инструмента. Этот волновод трансформирует колебания малых амплитуд в большие, достигающие порядка 30—60 мкм. Волноводы выполняют из титановых и алюминиевых сплавов, а также из сталей 45 и 30ХГСА.

Исследования показывают, что возможность получения сварного соединения и его прочность существенно зависят от амплитуды упругих колебаний, значение которой находится в пределах 35—50 мкм и зависит от структуры свариваемых пластмасс и других факторов. При сварке изделие зажимают между концом волновода и опорой, которая может быть подвижной и неподвижной. Применяют две схемы сварки термопластов: с пассивным и активным (настроенным) отражателем. В качестве пассивного отражателя используется материал, гасящий ультразвуковые колебания (резина, древесина, текстолит и др.).

Многие авторы [6, 8] считают более совершенным способом сварку с настроенным отражателем, роль которого выполняет стальной стержень, закрепленный на резиновой подложке. Такой отражатель уменьшает потери энергии, возникающие при переходе в станину. Высота отражателя определяется экспериментально и равняется приблизительно 1/4 длины волны, распространяющейся в стали.

Все работы по сварке проводили на настроенном отражателе, так как капролон относится к трудносвариваемым пластмассам.

К настоящему времени при сварке жестких пластмасс хорошо освоена сварка нахлесточных, тавровых и стыковых соединений. При тавровых и стыковых соединениях нагрев по длине свариваемого стержня незначителен. Ультразвуковую энергию в этом случае можно вводить на значительном расстоянии от места соединения изделий, что позволяет сваривать детали большой толщины, тавровые и пустотелые изделия [9]. Широкому применению капролона в промышленности препятствует отсутствие технологического способа соединения деталей из этого полимера.

В ультразвуковой сварочной лаборатории МГТУ им. Н. Э. Баумана проводили исследования с целью определения возможности соединения капролона В с помощью ультразвука. Эксперименты проводили на тавровых (рис. 2, *а*) и стыковых (рис. 2, *б*) образцах.

При пропускании ультразвуковых колебаний через образцы наблюдалось оплавление верхнего торца образца, находящегося непосредственно под волноводом, без образования соединения. Наибольшее теплообразование наблюдается в зоне, непосредственно прилегающей к волноводу, на что указывает интенсивное оплавление подволноводного торца. Соединение в этом случае не образовывалось.

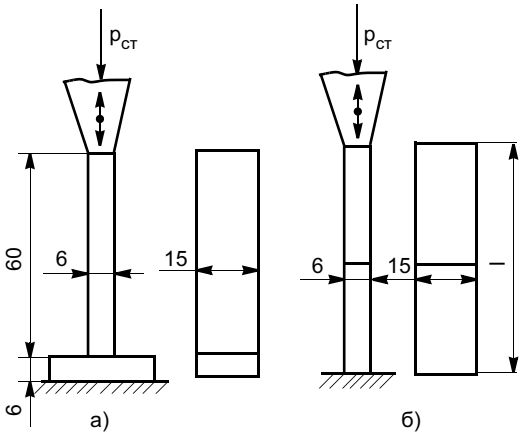

Рис. 2. Геометрические размеры и тип образцов: *а* — тавровое соединение; *б* — стыковое

Для объяснения данных затруднений рассмотрим механизм теплообразования при ультразвуковой сварке капролона В.

Согласно современным взглядам, механизм теплообразования при ультразвуковой сварке обусловлен либо совместным действием внутреннего и внешнего трения [8], либо только гистерезисными потерями при циклическом деформировании [6]. Распространяя эту гипотезу на капролон В, в работах [6, 8] отмечается, что уменьшение реальной площади контакта при сварке капролона В приводит к развитию значительных динамических напряжений, что в свою очередь увеличивает скорость достижения критической температуры [6]. В работе [8] предполагается, что зоны размягчения являются областями, где динамические напряжения максимальны. В этих зонах и происходит сварка. Достаточно полно выдвинутые гипотезы подтверждаются в работах по механике полимеров для низких частот и малых амплитуд [4, 5].

Анализ выражения для определения энергии, рассеиваемой в элементе объема при частоте $f = \omega/2\pi$ [8], также приводит к выводу о преимущественном теплообразовании в зоне уменьшения реальной площади контакта:

$$dP = fdW = \varepsilon\omega/2E_д\sigma_m^2\,dV, \qquad (1)$$

где P — мощность; f — частота; W — энергия; ε — деформация; ω — круговая частота; $E_д$ — динамический модуль упругости; σ_m — амплитуда динамического напряжения.

Подобные условия на границе раздела можно создать изменением геометрической формы и размеров образца, т. е. изменением его акустического сопротивления.

В последующих экспериментах сваривали образцы с V-образной разделкой кромок (рис. 3).

Для качественной оценки напряжений, возникающих в контакте деталь — деталь под воздействием ультразвука, проводили эксперименты, основанные на поляризационно-оптическом методе. Исследуемым материалом служила эпоксидная смола ЭД-6М. Установили, что при V-образной разделке свариваемых кромок возникает пучность напряжений на границе раздела свариваемых образцов. В связи с этим для выявления связи между уровнем динамических напряжений и теплообразованием в этой зоне проводили термографирование процесса.

На рис. 4 приведены термограммы, снятые при сварке образцов из капролона В, иллюстрирующие влияние V-образной разделки (по всей и по части

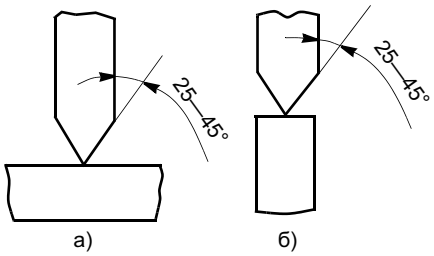

Рис. 3. Профиль V-образной разделки таврового (*а*) и стыкового (*б*) соединений

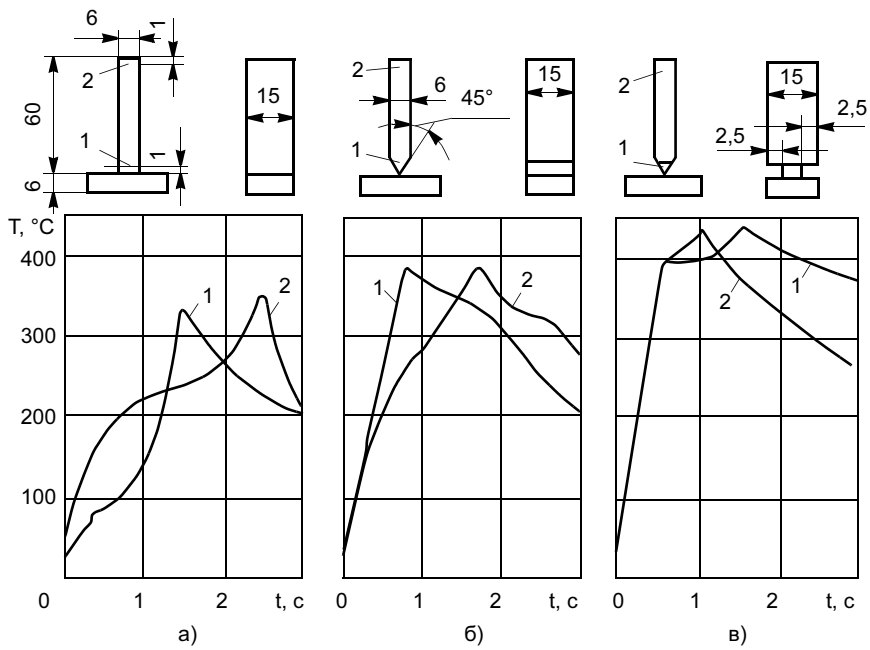

Рис. 4. Термические циклы сварки капролона В: *а* — без разделки кромок; *б* — с V-образной разделкой по всей поверхности; *в* — с V-образной разделкой по части поверхности (режим сварки: A = 35 мкм; $p_{ст}$ = 6 МПа; время воздействия ультразвука 3 с); *1*, *2* — места расположения термопар

поверхности) на скорость достижения максимальных температур. Видно, что максимальная температура в зоне разделки достигалась за 1,5 с на образцах без разделки кромок (см. рис. 4, *а*), за 0,75 с с разделкой кромок по всей поверхности (см. рис. 4, *б*) и за 0,5 с, если поверхность была разделана неполностью (см. рис. 4, *в*) (снижение температуры при увеличении времени воздействия ультразвука связано с выдавливанием термопар при осадке).

Создание зоны максимальных амплитуд динамического напряжения позволило существенно перераспределить области с наибольшим теплообразованием в сторону смещения высокотемпературной зоны к границе раздела, в результате чего было получено сварное соединение.

Таким образом, наличие разделки кромок на капролоне приводит к сокращению времени сварки в 3 раза по сравнению с образцами без разделки кромок. Установили также, что при сварке тавровых образцов из капролона В без разделки кромок зона максимального развития температур находится в области, прилегающей к волноводу. Соединение в этом случае не образуется. Применение кромок приводит к смещению максимума температур к границе раздела и гарантирует получение сварного соединения.

Наличие разделки кромок существенно влияет и на кинетику образования сварных соединений. По мнению автора, образование сварного соединения капролона В может осуществляться в основном по двум схемам: с "преимущественным внедрением" одной детали в другую, если величина внедрения больше или равна 1/4 толщины нижней детали, или с "преимущественным оплавлением" острия разделки кромки верхней детали.

Кинетика образования соединения с "преимущественным внедрением" включает три стадии. Первая — в течение первых 0,5—1,5 с никаких видимых превращений в полимере не происходит. Вторая — по истечении данного времени начинается незначительное расплавление острия разделки и поверхности нижней полки образца под острием. Острие при этом приобретает округлую форму и незначительно внедряется в полку. Окончание этой стадии обычно соответствует схватыванию стенки с полкой. Во время третьей стадии происходит процесс внедрения стенки в полку с получением неразъемного сварного соединения. Температура внедряемой стенки при этом приблизительно на 50 °С ниже, чем полки. Величина внедрения в зависимости от режима сварки колеблется от 1,5 до 4,0 мм. Макроисследования сварных образцов показали наличие тонкой (0,5—0,7 мм) прослойки, разделяющей верхний и нижний образцы. По-видимому, прочность связей прослойки с обоими образцами, а также прочность самой прослойки, является одним из самых значительных факторов, определяющих прочность соединения.

Кинетика образования соединения с "преимущественным оплавлением" также включает три стадии. На первой стадии в течение первых 0,5—1 с видимых превращений в полимере не происходит. На второй стадии начинается расплавление вершины треугольника разделки кромки верхнего образца. По истечении 1 с происходит разогрев более удаленных от острия участков разделки кромки, что сопровождается образованием грата, равномерно выдавливаемого по обе стороны верхнего образца. На следующей стадии при правильно выбранных параметрах сварки наблюдается полное расплавление острия верхнего образца с проникновением в нижний образец с образованием прочного сварного соединения. Температура острия при этом максимальна. Такое различное протекание процесса образования сварного соединения по двум указанным схемам обусловлено, по-видимому, влиянием на процесс сварочных параметров, в частности статического давления. Следует отметить, что при сварке со статическим давлением порядка 15—17 МПа процесс образования сварного соединения идет по схеме с "преимущественным оплавлением", а при давлении 7—8 МПа — с "преимущественным внедрением", причем в первом случае наблюдается весьма интенсивное образование грата.

В работах [1, 8] отмечается, что при определенных значениях статического давления может происходить ударное воздействие волновода на верхний торец образца и "внедрение" последнего в свариваемую полку. Очевидно, что при ультразвуковой сварке ударное воздействие происходит только в случае отрыва волновода от верхнего торца образца [8].

Рассмотрим условия деформирования разделки кромки образца при ударе. Приближенная оценка напряжений в контакте деталь — деталь показала, что уровень возникающих напряжений выше предела текучести основного материала — капролона В.

Таким образом, в V-образном выступе уже при статическом нагружении происходит пластическая деформация. Это предположение подтверждается и внешним осмотром образцов после воздействия статическим давлением. Следовательно, при пропускании звуковых импульсов деформация образца происходит преимущественно за счет упругих свойств части детали, имеющей постоянное сечение (длина образца минус длина разделанной части).

Тогда условие отрыва волновода от торца образца

$$\varepsilon_{ст} < A, \qquad (2)$$

где $\varepsilon_{ст}$ — деформация детали от воздействия статического давления; A — амплитуда смещения волновода.

Пренебрегая вязкими свойствами материала, поскольку время действия динамической силы мало, можно считать, что материал участка постоянного сечения подчиняется закону Гука. Тогда условие отрыва волновода от торца образца

$$pl/E < A, \quad (3)$$

где p — сварочное статическое давление; l — длина части образца постоянного сечения; E — модуль упругости.

Давление, при котором происходит отрыв волновода от торца,

$$p_{кр} < AE/l. \quad (4)$$

Следовательно, при всех значениях $p < p_{кр}$ должно осуществляться ударное воздействие волновода на торец образца, что приводит к "внедрению" последнего. При $p > p_{кр}$ удар не происходит, теплообразование целиком связано с потерями на внутреннее трение, что приводит к "оплавлению" разделки вследствие концентрации в ней динамических напряжений [8, 9].

Для подтверждения ударного воздействия на образец при внедрении и отсутствии последнего при оплавлении фотографировали границы раздела волновод — деталь по методике работы [8]. Границу раздела подсвечивали с обратной по отношению к фотокамере стороны образца. При пропускании коротких (менее 0,1 с) звуковых импульсов через окуляр камеры просматривалась освещенная полоса, ширина которой определялась разностью между амплитудой смещения и деформацией от статического давления. Ограничение времени воздействия ультразвука связано с тем, что при продолжительном (более 0,2 с) импульсе линия раздела выходит из фокуса микроскопа, что исключает возможность фотографирования. Съемку производили на аэрофотопленку повышенной контрастности чувствительностью 1200 ед. Для большей наглядности амплитуду колебаний волновода выбирали равной 40 мкм. На рис. 5 приведена зависимость зазора между волноводом и образцом от статической нагрузки.

Необходимо отметить, что $p_{кр}$ с достаточной точностью определяется выражением (4). Увеличение давления свыше 3 МПа переводит процесс на

Схема сварки	Прочность соединений, МПа, при A, мкм		
	35	40	45
"Внедрением"	5	9	13
"Оплавлением"	6	13	19

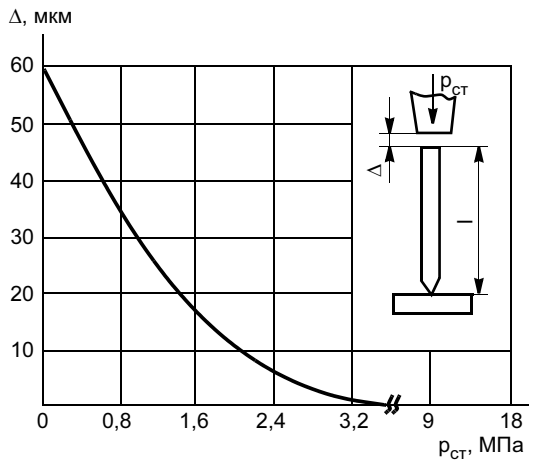

Рис. 5. Зависимость зазора между волноводом и торцем образца от статического давления

схему "оплавления". Анализ термических циклов, а также прочностных показателей (см. таблицу) соединений, сваренных по схемам "внедрением" и "оплавлением", показал, что при "внедрении" разогрев выступа разделки неравномерен. Уровень температур при этом ниже, чем при "оплавлении". Последнее, по-видимому, обусловлено периодическими отрывами волновода от образца и, как следствие, меньшим вводом ультразвуковой энергии в полимер. При "оплавлении" соединения обладают повышенными прочностными характеристиками (см. таблицу).

Соединения, сваренные по схеме "оплавлением", должны найти применение при изготовлении изделий, которые в процессе эксплуатации подвергаются значительным нагрузкам: бачков, шаровых емкостей и др. Соединения, сваренные по схеме "внедрением", могут быть использованы при изготовлении декоративно-прикладных изделий, так как они характеризуются минимальным гратообразованием. Следует также отметить, что образование соединений по схеме "внедрением" и "оплавлением" характерно для большинства жестких термопластов.

Помимо капролона В подобные исследования проводили на полистироле, полиметилметакрилате, поливинилхлориде. Появилась возможность соединять разнородные пластмассы. Сварка материалов с близкими теплофизическими свойствами при этом не представляла затруднений. Более того, применение схемы "внедрением" позволило получить соединения несовместимых по своим теплофизическим свойствам полимерных материалов за счет чисто механического сцепления. При этом "внедряться" обязательно должен образец с большим модулем упругости. Таким образом были получены соединения капролона В с полистиролом, полиметилметакрилатом и др.

При исследованиях свариваемости капролона подбирали оптимальные параметры ультразвуковой сварки. Прочность сварных соединений полимерных материалов определяется для данного материала и толщины режимом сварки — частотой колебаний, амплитудой рабочего торца волновода, статическим сварочным давлением и временем пропускания ультразвукового импульса.

При ультразвуковой сварке капролона помимо указанных параметров режима существенное влияние на свариваемость и прочность соединения оказывает также угол разделки кромок. Это обусловлено тем, что от остроты выступа зависит его пластическая деформация под действием статического давления. Острота выступа определяет также концентрацию динамических напряжений в нем, а, следовательно, и возможность разогрева выступа до температуры вязкотекучего состояния.

Рис. 6 иллюстрирует влияние угла разделки кромок на время разогрева материала образца с V-образным выступом до вязкотекучего состояния, которое оценивали по наступлению необратимой деформации, а также на прочность сварного соединения и эффективную площадь. Под последней понимается часть площади выступа, которая участвовала в образовании сварного соединения за счет "оплавления" или "внедрения" выступа в нижнюю деталь. Эти данные относятся к случаю сварки тавровых соединений следующих размеров: полка — 20×15×6 мм, стенка — 60×15×6 мм. Значения прочности, отложенные по оси ординат на рис. 6, соответствуют разрывному усилию, отнесенному к площади поперечного сечения стенки таврового соединения.

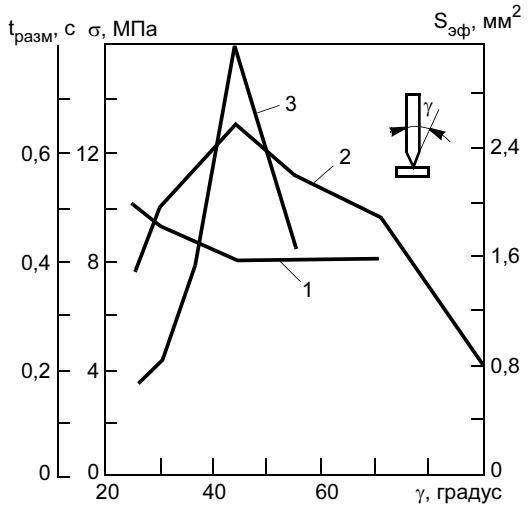

Рис. 6. Зависимость времени до начала размягчения V-образного выступа $t_{разм}$ (*1*), прочности (*2*) и эффективной площади $S_{эф}$ (*3*) тавровых соединений капролона В от угла разделки кромок γ

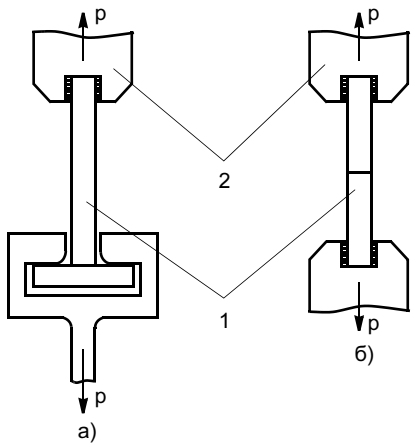

Рис. 7. Схемы испытаний таврового (*а*) и стыкового (*б*) образцов: *1* — образцы; *2* — зажимы

Из анализа данных рис. 6 следует, что при угле разделки V-образного выступа 45° обеспечивается наибольшая прочность сварного соединения, поскольку в его образовании участвует наибольшее количество материала.

Задача, следовательно, заключается в том, чтобы определить оптимальное сочетание перечисленных факторов, обеспечивающее наибольшую прочность шва.

Все эксперименты проводили на установке УПМ-21 с использованием магнитострикционного преобразователя мощностью 1,5 кВт и резонансной частотой 22 кГц. Сварку выполняли с помощью экспоненциальных волноводов, рассчитанных на данную частоту и обеспечивающих необходимую амплитуду смещения. Контроль времени осуществляли электронным реле, амплитуду смещений сварочного инструмента фиксировали оптическим методом с помощью микроскопа МИР-2.

Схема испытаний образцов на разрыв приведена на рис. 7. Скорость разрыва составляла 12 мм/мин. В результате испытаний сварных образцов установили оптимальные значения параметров режима: частота колебаний f = 22 кГц; амплитуда колебаний рабочего торца волновода A = 35÷40 мкм, продолжительность ультразвукового импульса $t_{св}$ = 2,5÷3 с, сварочное статическое давление $p_{ст}$ = 6 МПа, угол разделки кромок 45°.

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность ультразвуковой сварки капролона. Соединение может быть получено за счет смещения высокотемпературной области к границе раздела, что реализуется V-образной разделкой кромок с углами скоса 25—45°.

2. Применение V-образной разделки свариваемых кромок приводит к преимущественному тепло-

образованию на границе раздела, обусловленному повышением уровня динамических напряжений, и обеспечивает получение соединения.

3. Процесс образования сварных соединений при сварке изделий из капролона В с V-образной разделкой кромок в зависимости от соотношения между амплитудой колебаний волновода и деформацией детали от статического давления может происходить по двум схемам: с "преимущественным внедрением" одной из деталей в другую или с "преимущественным оплавлением" острия разделки кромок.

4. Соединения, сваренные по схеме с "оплавлением", обладают более высокими прочностными характеристиками, чем полученные с "внедрением" разделки, вследствие равномерного распределения температур и более высокого, чем при схеме "с внедрением" их уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волков С. С.* Сварка и склеивание полимерных материалов: Учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 2001. 376 с.
2. *Донской А. В., Келлер О. К., Кратыш Г. С.* Ультразвуковые электротехнологические усановки. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоиздат, 1982. 208 с.
3. *Комаров Г. В.* Способы соединений деталей из пластических масс. М.: Химия, 1979. 288 с.
4. *Гуль В. Е., Акутин М. С.* Основы переработки пластмасс. М.: Химия,1985. 399 с.
5. *Гуль В. Е., Кулезнев В. Н.* Структура и механические свойства полимеров. 3-е изд. М.: Высшая школа, 1979. 352 с.
6. *Волков С. С., Черняк Б. Я.* Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Химия, 1986. 254 с.
7. *Сварка* полимерных материалов: Справочник / К. И. Зайцев, Л. Н. Мацюк, А. В. Богдашевский и др.; под общ. ред. К. И. Зайцева, Л. Н. Мацюк. М.: Машиностроение, 1988. 312 с.
8. *Мозговой И. В.* Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров: Учеб. пособие. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного университета, 1991. 280 с.
9. *Волков С. С., Черняк Б. Я.* Сварка пластических масс: Учеб. пособие. М.: Химия, 1987. 168 с.

УДК 621.791.927.7

С. Г. МЧЕДЛОВ, канд. техн. наук
Саратовский ГТУ

Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор).

Ч. 3. Электродуговое и высокочастотное индукционное напыление

Электродуговое напыление

Более 50 % общего объема газотермического напыления покрытий в мировой практике приходится на электродуговое напыление. Основное преимущество данного метода — его высокая производительность (до 50 кг/ч). Для напыления применяют проволоку из алюминия, цинка, олова, а также стальную, медную и др. и их сочетания. Поскольку для напыления применяют только металл, этот метод в технической литературе называют электродуговой металлизацией, применяемый распылитель — электродуговым металлизатором (ЭМ).

ЭМ представляет устройство, в котором через направляющие каналы непрерывно производится подача проволок-электродов. Между скрещенными под углом ω концами проволок-электродов возбуждается электрическая дуга, которая расплавляет их концы. В центрально-осевой части ЭМ имеется сопло, через которое под избыточным давлением подается распыляющий сжатый газ (воздух или др.) в зону расплавленного металла. Струя сжатого газа отрывает с концов проволок-электродов частицы (капли) расплавленного металла, диспергирует (измельчает) их и транспортирует на напыляемую поверхность детали (рис.1).

ЭМ может работать как при постоянном, так и переменном токе. При переменном токе электрическая дуга горит нестабильно и сопровождается большим шумом. При постоянном токе характер работы ЭМ является устойчивым, а диспергируемые жидкие капли расплавленного металла имеют мелкозернистую структуру, при этом производительность процесса напыления высокая. Для большей стабилизации горения электрической дуги применяют подвод высокочастотного напряжения. Эксплуатационные затраты электрометаллизатора небольшие [1—4 и др.].

Метод электродугового напыления покрытий классифицируют по количеству электродных проволок (двух- и трехэлектродные способы), механизации процесса (ручное удержание электрометал-

лизатора, механизирована только подача электродных проволок); механизированный метод — механизированное перемещение ЭМ относительно напыляемой поверхности детали или наоборот деталь перемещают относительно напыляющей струи путем вращения или другого вида движения.

Наиболее широкое применение в практике имеет двухэлектродный способ напыления покрытия.

В состав оборудования для электродугового напыления покрытий входят следующие основные устройства и сопутствующие системы:

- распылитель (ЭМ) ручного, стационарного или смешанного типов;
- источник тока (источник питания электрической дуги);
- система подачи сжатого распыляющего газа (воздуха, азота и др.);
- пульт управления режимом напыления: регулирование тока, напряжения, расхода газа, скорости подачи проволок-электродов, механического перемещения ЭМ.

Серийно отечественная аппаратура для электродуговой металлизации выпускается с 1949 г. и включает ручные ЭМ (ЭМ-3, ЭМ-3а, ЭМ-9, М-10, ЭМ-14 и др.), стационарные ЭМ (ЭМ-6, ЭМ-12, ЭМ-15 и др.), комплектные уста-

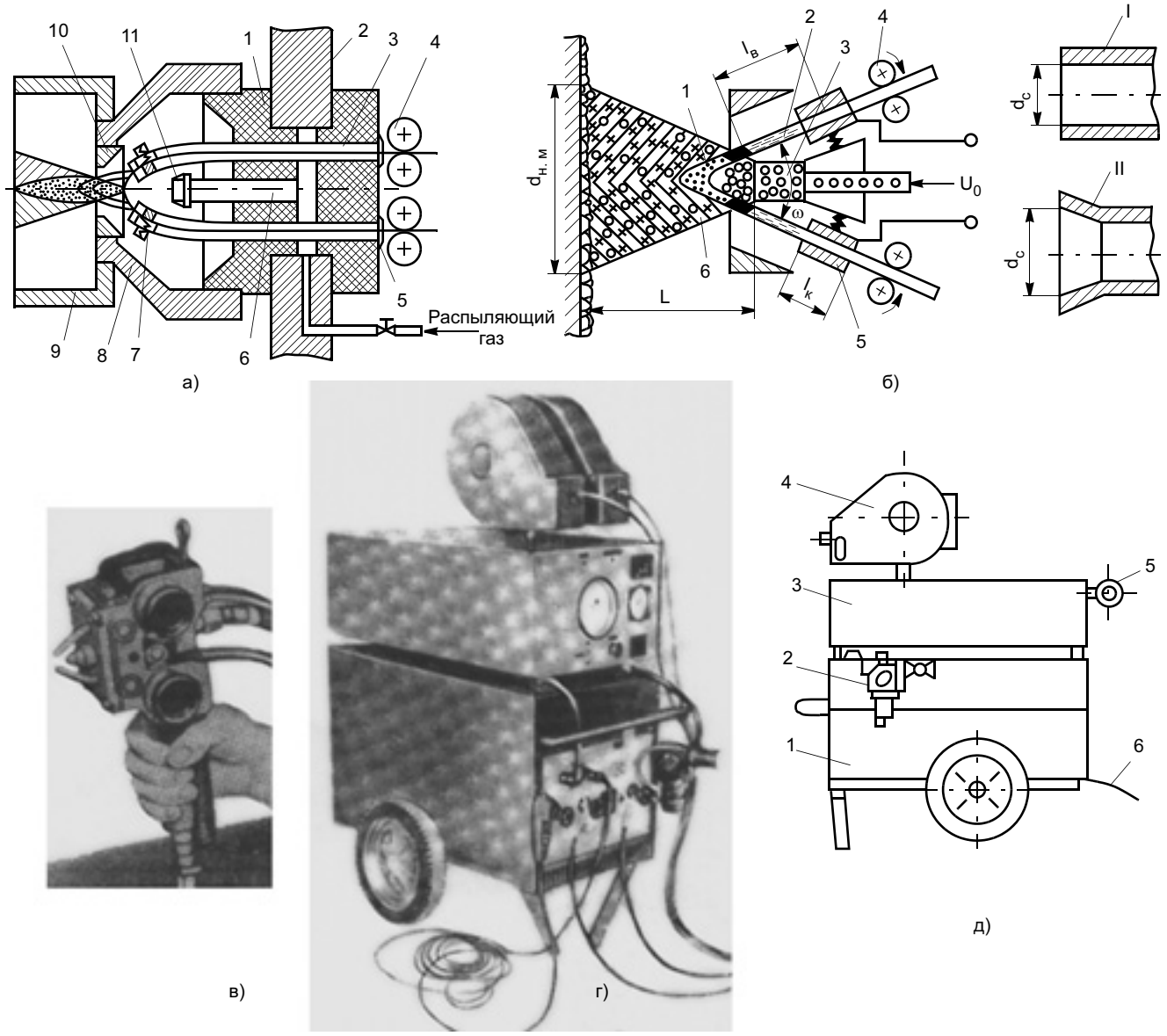

Рис. 1. Электродуговое газотермическое напыление покрытий (электродуговая металлизация): *а* — схема конструкции распылительной головки ЭМ (*1* — разъемный корпус; *2* — корпус аппарата; *3* — направляющие каналы; *4* — механизм подачи проволоки; *5* —токоподводящие шины; *6* — канал для сжатого газа; *7* — контактные прижимы; *8* — газовый колпак; *9* — защитный кожух; *10* — сменная вставка; *11* — сопло); *б* — схема процесса электродуговой металлизации ($l_к$ — длина контакта, $l_в$ — длина вылета проволоки) (*I*, *II* — цилиндрическое и цилиндроконическое сопла; *1* — электрическая дуга; *2* — проволока; *3* — сопло; *4* — механизм подачи проволоки); *в* — внешний вид ЭМ; *г* — комплект для электродуговой металлизации КДМ-2; *д* — компоновка установки для электродуговой металлизации (*1* — источник тока; *2* — распылитель; *3* — пульт управления; *4* — кассеты с проволокой; *5* — распыляющий газ; *6* — силовой кабель)

новки и установки КДМ-1, КДМ-2, КДМ-3 и др.

Технические характеристики некоторых ЭМ приведены в таблице.

Основные параметры процесса электродуговой металлизации [1—4 и др.]:

- форма выходного сопла распыляющего газа — цилиндрическое сопло диаметром $d_с$ = 3÷6 мм; цилиндрическое сопло в сочетании с расширяющейся концевой частью (раструбом) диаметром $d_к$ = 6,5÷8,5 мм;
- длина сопла $l_с$ = 30÷50 мм;
- угол скрещиваний электродов $\omega \approx 30°$;
- вылет проволоки $l_в$;
- мощность дуги $N_д$ = 5÷20 кВт;
- ток $I_д$ = 80÷600 А;
- напряжение $U_{ср}$ = 18÷35 В;
- температура распыляемых частиц 2123 К;
- давление распыляющего газа 0,35—0,60 МПа;
- расход распыляющего газа 50—150 м^3/ч;
- диаметр проволок $d_{пр}$ = = 1,0÷3,5 мм;
- скорость подачи проволок 0,05—0,35 м/с;
- размер диспергированных частиц 3—300 мкм;
- дистанция напыления L;
- плотность потока напыляемых частиц вблизи поверхности формирования покрытия ~10^3—10^5 частиц/(см^2 · с);
- коэффициент использования материала проволок;
- пористость покрытия, %;
- производительность $G_{пр}$ = = 2÷50 кг/ч.

Работа с ЭМ сопровождается рядом вредных и опасных для здоровья оператора и обслуживающего персонала факторов, к основным из которых относятся открытый огонь (дуговой разряд), металлическая пыль, высокий уровень шума, слабо- и сильноточные электрические цепи, мощное световое излучение, в том числе ультрафиолетовое, наличие сжатого газа.

Параметр	ЭМ-12	ЭМ-14	ЭМ-17	КДМ-3-2
Мощность дуги, кВт	16	14	16	16
Ток дуги, А	500	320	400	400
Напряжение дуги, В	17—35	17—40	17—40	17—40
Расход воздуха, м^3/ч	150	80	90—150	60—90
Давление воздуха, МПа	0,5—0,6	0,5—0,6	0,3—0,6	0,5—0,6
Диаметр проволоки, мм	1,5—3,0	1,5—2,0	1,5—2,5	1,2—2,5
Скорость подачи проволоки, м/с	0,065—0,23	0,017—0,2	0,023—0,23	0,02—0,2
Производительность, кг/ч:				
по алюминию	20	10	12,5	12,5
по стали	14	8	18,8	18,8
Масса распылителя, кг	22,6	2,2	—	2,5

Безопасность при выполнении электрометаллизационных работ обеспечивает следующее оборудование и средства защиты [1, 2 и др.]:

- общеобменная приточно-вытяжная вентиляция на постучастке электродуговой металлизации;
- специальные камеры, в которых производится напыление покрытий с мощной автономной вытяжной вентиляцией, обеспечивающей отсос металлической пыли (вызывающей разрушительные взрывы);
- специальные пылеулавливатели для очистки от металлической пыли всех трубопроводов во избежание взрывов;
- индивидуальные средства защиты операторов и вспомогательного персонала от воздействия вредных и опасных факторов (света, шума, поражения электротоком и др.).

Методом электродуговой металлизации наносят коррозионно-стойкие покрытия, в основном из алюминия и цинка, на различных строительных сооружениях. В качестве износостойких покрытий напыляют различные стали, бронзы и др. Перспективными являются композиционные покрытия: сталь — медь; медь — олово и др. Высокая производительность данного метода обеспечивает его широкое применение в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин. Энергетический кпд распыления и напыления при этом максимальный. Высокая энтальпия напыляемых частиц обеспечивает достаточную прочность сцепления покрытия при низкой пористости.

В перспективе этот способ допускает применение порошковой проволоки и весьма эффективен при ведении процесса в камере с общей защитой и распылении металла инертными газами, например аргоном, особенно в камере с низким вакуумом. Регенерация распыляющего газа при замкнутом цикле обеспечивает удовлетворительную экономичность.

Однако данный способ газотермического напыления покрытий имеет ряд недостатков (которые при их устранении могут быть резервом для повышения эффективности технологии упрочнения и восстановления деталей машин):

- интенсивное химическое взаимодействие диспергированных распыленных частиц с активной газовой фазой, напыленный металл насыщается кислородом и азотом, содержит значительное количество оксидов;
- использование для напыления только металлической проволоки ограничивает возможности метода.

Высокочастотное индукционное газотермическое напыление

Высокочастотное индукционное газотермическое напыление покрытий впервые начали приме-

нять в СССР [5]. В технологии напыления используется индукционный нагрев проволоки круглого сечения токами высокой частоты (ТВЧ), при этом поверхность металла расплавляется на небольшую глубину и составляет десятые доли миллиметра. Глубина проплавления [1, 3 и др.]

$$Z = 5030\sqrt{\rho/\mu f}, \qquad (1)$$

где ρ, μ, f — соответственно удельное электрическое сопротивление металла, магнитная проницаемость металла и частота тока.

Глубина проплавления проволоки тем меньше, чем больше частота тока, электрическая проводимость металла и его магнитная проницаемость. Инструментом для напыления является распылительная головка, которая работает по принципу концентратора вихревых токов и представляет собой высокочастотный трансформатор. Первичная наружная обмотка — индуктор — охватывает вставку, являющуюся вторичной одновитковой обмоткой этого трансформатора. Магнитный поток индуктора концентрируется в центральной части вставки, отверстие в котором называют гребнем концентратора. В это отверстие подается распыляемая проволока (рис. 2). Поток расплавленных частиц получают непрерывной подачей проволоки. Напыление производится механизированным способом. Эффективность работы распылителя в значительной степени обусловлена конструктивными параметрами.

Форма и размеры индуктора и концентратора, их взаимное расположение, диаметр сопла и его длина, а также форма аналогичны электродуговым металлизаторам. Сопло непосредственно не связано с концентратором, а подача к нему транспортирующего газа производится по периферийным каналам. Индуктор и концентратор интенсивно охлаждаются проточной водой.

Отечественная промышленность выпускает высокочастотные индукционные металлизаторы МВЧ-1, МВЧ-2 и другое сложное оборудование [6].

К основным параметрам высокочастотного индукционного напыления покрытия относятся [1—4 и др.]:

- мощность высокочастотного генератора, кВт;
- частота тока (в соответствии с диаметром распыляемой проволоки) 70—200 кГц;
- тепловой кпд распылителя 0,24—0,40;
- дистанция напыления 50—150 мм;
- вид транспортирующего газа (воздух, аргон, азот и др.);
- давление транспортирующего газа 0,4—0,6 МПа;
- расход транспортирующего газа 0,5—1,0 м^3/мин;
- диаметр распыляемой проволоки 3—6 мм;
- длина отрезков для распыления 3—5 м;
- скорость подачи проволоки 0,4—1,3 м/мин;
- размер напыляемых частиц (в зависимости от физико-механических свойств материала и избыточного давления транспортирующего газа) 0,02—0,12 мм.

При высокочастотной металлизации происходит незначительное выгорание легирующих элементов, покрытие однородное и прочное; производительность высокая [2, 6, 8 и др.].

Выполнение работ на участке высокочастотного индукционного напыления сопряжено с некоторыми вредными для здоровья оператора и обслуживающего персонала факторами, в том числе поражением электрическим током, металлической пылью и другими воздействиями. Для полного исключения воздействия указанных факторов необходимо, прежде всего, оборудовать участок общеобменной приточно-

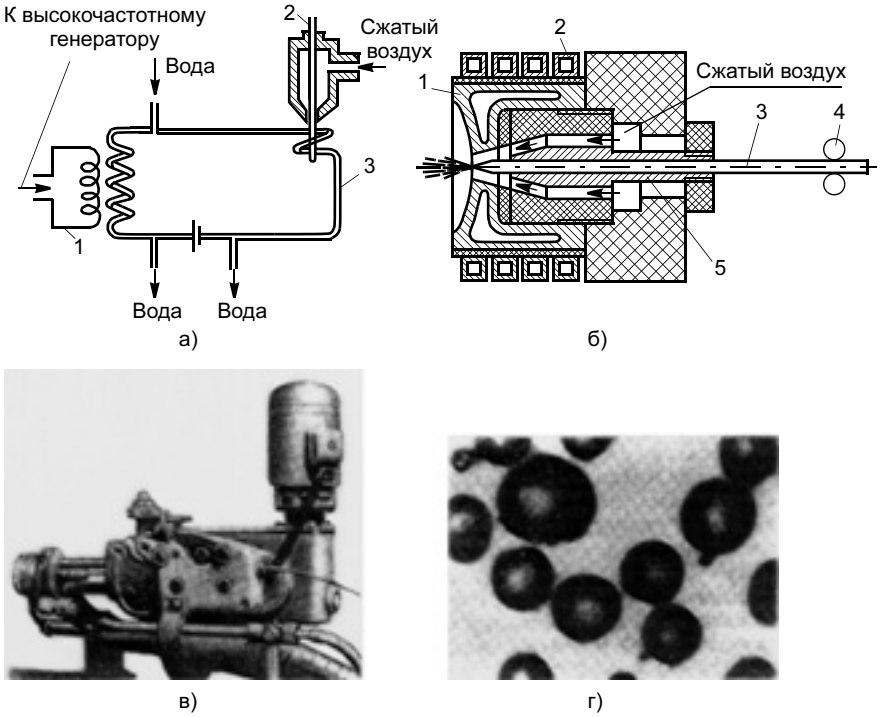

Рис. 2. Высокочастотное индукционное напыление газотермического покрытия: *а* — принципиальная схема установки для высокочастотного индукционного напыления (*1* — первичная обмотка; *2* — напыляемый материал (проволока); *3* — индуктор); *б* — схема конструкции горелки для высокочастотного индукционного напыления (*1* — вставка, концентрирующая высокочастотное электромагнитное поле; *2* — индуктор; *3* — напыляемая проволока; *4* — подающие ролики; *5* — направляющая вставка); *в* — внешний вид горелки для высокочастотного индукционного напыления; *г* — частицы, полученные при высокочастотном индукционном распылении проволоки [5, 7, 8 и др.]

вытяжной вентиляцией, а также местной вентиляцией в зоне распылительной головки. Оператор и обслуживающий персонал должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты (респиратором, очками со специальными светофильтрами и др.). Участок должен быть оборудован противопожарным инвентарем. Мероприятия по технике безопасности должны быть согласованы с конкретной технологией напыления покрытия.

В настоящее время высокочастотная индукционная металлизация имеет ограниченное применение в промышленности из-за сложности базового оборудования, а также условий его эксплуатации. Данный способ нанесения покрытий пригоден для напыления ограниченной номенклатуры материалов, преимущественно сталей. В последнее время этот метод недостаточно совершенствовался, что может быть резервом для проведения научно-технических исследований.

К основным преимуществам метода следует отнести:

- малое выгорание легирующих элементов;
- получение однородного покрытия;
- высокую прочность покрытия;
- высокую производительность.

Развитие новой техники, в частности, высокочастотных генераторов, вакуумных и других устройств, позволит устранить недостатки и одновременно повысить эффективность технологии упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий методом высокочастотной индукционной металлизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бобров Г. В., Ильин А. А.* Нанесение неорганических покрытий (теория, технология, оборудование). М.: Интермет Инжиниринг, 2004. 624 с.
2. *Вадивасов Д. Г.* Восстановление деталей металлизацией. Саратов: Саратовское книжное изд-во, 1956. 280 с.
3. *Вадивасов Д. Г.* Исследование влияния условий процесса электрометаллизации на свойства металлических покрытий. Саратов: Саратовское книжное изд-во, 1958. 159 с.
4. *Власов А. П., Савенков К. П.* Высокочастотная металлизация. М.: Машгиз, 1960. 150 с.
5. *Металлизация* распылением / Н. В. Катц, Е. В. Антошин, Д. Г. Вадивасов и др. М.: Машиностроение, 1966. 197 с.
6. *Молодых Н. В., Зенкин А. С.* Восстановление деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
7. *Сидоров А. И.* Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1987. 192 с.
8. *Хасуй А.* Техника напыления: Пер. с яп. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:338.45

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

Управление процессами в сварочном производстве (на примере инновационных процессов)

Научно обоснованное формирование модели управления организационными системами в инновационных процессах — актуальная задача современного этапа управления в социально-экономических системах. За последние годы накоплен опыт в создании условий инновационного развития [1]. На федеральном и региональном уровнях государственные органы осуществляют поддержку инновационных предприятий. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом России, определяют приоритеты инновационного пути развития экономики страны, основанной на знаниях [2].

Постановка задач инновационного развития экономики неразрывно связана с созданием организационных, экономических и правовых условий, способствующих вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности и развития на их базе производства конкурентоспособной наукоемкой продукции (услуг). Концепция инновационной политики Российской Федерации содержит определения, положенные в основу построения модели управления инновационными процессами в сварочном производстве:

— государственная инновационная политика — определение органами государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации целей инновационной стратегии и механизмов поддержки приоритетных инновационных программ и проектов;

— инновационный потенциал (государства, региона, отрасли, организации) — совокупность ресурсов различных видов. К ресурсам отнесены материальные, финансовые, интеллектуальные, научно-технические и иные, необходимые для осуществления инновационных процессов.

В названии статьи приведены термины "модель", "управление", "инновационные процессы", "сварочное производство". В работе определены эти названия.

Термин "сварочное производство" является ключевым и используется в различных контекстах. Сварочное производство — совокупность организаций, использующих специальные процессы и осуществляющих действия по созданию, освоению в производстве и (или) практическому применению новой или усовершенствованной продукции, нового или усовершенствованного технологического процесса. В определении используется понятие организации. Организация сварочного производства — совокупность специальных процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого. В определении "сварочное производство" и "организация сварочного производства" процессы названы специальными. Согласно требованиям международной системы менеджмента качества, изложенной в ГОСТ Р ИСО 9000—2001, сварка относится к специальным процессам производства. Отличительная особенность специальных процессов состоит в результате воздействия на объект производства, поэтому им уделяют особое внимание в рыночных отношениях, жестко регламентируя требования ко всем составляющим производственного цикла: подготовке персонала, применяемому оборудованию и оснастке, основному и вспомогательному материалам, производственной среде, ведению контроля на всех стадиях производства. Организации, применяющие специальные процессы, обладают свойствами, определяющими особенности организационного управления. Управление — воздействие на управляемую систему с целью обеспечения требуемого поведения. Следовательно "организация сварочного производства" является организационной системой, ее развитие —

специальным процессом организации, а организационное управление — управление специальным процессом организации в организационной системе. Основной аппарат исследования в настоящей работе состоит в построении и анализе модели управления специальным процессом организации в организационной системе. Модель — образ некоторой системы, схема определенного фрагмента природной или социальной реальности [3].

В работе инновационные процессы в сварочном производстве рассмотрены с трех позиций: средство стратегического преимущества организаций, для которых собственно инновации не являются основным видом деятельности; вид деятельности, результатом которого являются конкретные научные, научно-технические, профессионально-педагогические и иные результаты; расширение доли рынка усовершенствованных технологий.

В работе выражена гипотеза о влиянии инновационных процессов на процессуальные компоненты, свойственные любой деятельности: потребности—мотив—цель—задача—технология—действие—результат в целом. Это воздействие направлено на расширение доли рынка усовершенствованных технологий [3]. Другое понимание инновационного процесса состоит в определении средства стратегического преимущества [1] и вида деятельности [2], где в большей степени затрагиваются производственные процессы.

В построении модели управления инновационными процессами предложен "процессно-целевой подход", что позволяет:

— определить и решить управленческие задачи при осуществлении инвестиционно-инновационной политики;

— определить внешние и внутренние направления инновационных программ;

— разработать целевые показатели, характеризующие степень и уровень выполнения поставленных задач;

— классифицировать инновационные программы по типам взаимодействия хозяйствующих субъектов, необходимых для определения способов привлечения финансовых ресурсов и осуществления контроля над их использованием.

Управление многочисленными взаимосвязанными производственными процессами, использующими ресурсы и преобразующими обязанности по разработке и внедрению инновационной технологии посредством инновационных программ, может рассматриваться как устойчивый процесс [4]. "Процессно-целевой" подход заключается в систематическом выполнении этапов инновационного развития, их идентификации и позитивном взаимодействии, обеспечении непрерывности управления, осуществляемого на стыке отдельных процессов в рамках социально-экономической системы отрасли разработчиков и производителей сварочной продукции.

Управление инвестиционно-инновационной политикой — часть общей системы административного управления, включающей методы, процедуры, программы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания интенсифицирующих инновационные процессы социальных условий [1]. Таким образом, достигаются цели расширенного воспроизводства субъекта инновационного процесса, обеспечивающие расширение доли усовершенствованных технологий на рынке, преемственность в развитии инновационного процесса, поддерживается бесконфликтное существование общества как интегрированной социально-экономической системы.

Инновационные процессы выражают внутреннюю, предметную логику нововведения. Вместе с тем нововведение следует рассматривать со стороны его взаимодействия с окружающей средой. С этой точки зрения нововведение характеризуется динамическими параметрами, выражающими его взаимодействие с окружающей средой и обратное влияние на нововведение.

В соответствии с данными статистических исследований инновационных процессов в промышленности затраты на технологические инновации в 2004 г. были распределены по видам инновационной деятельности (табл. 1).

Сварочное производство относится к подотрасли, действующей внутри различных отраслей промышленности. Отношение затрат по видам экономи-

Таблица 1

Вид затрат на технологические инновации организаций промышленности по видам инновационной деятельности	Удельный вес, %
Приобретение машин, оборудования и прочих основных фондов	55,6
Исследования и разработки	16,4
Производственные проектно-конструкторские работы	7,1
Приобретение новых технологий	2,7
Приобретение программных средств	1,6
Обучение и подготовка персонала	0,5
Маркетинговые исследования	0,5
Прочие затраты	15,6
Итого	100

Примечание. Общие затраты на технологические инновации по видам инновационной деятельности в 2004 г. составили 122 850,5 млн руб.

ческой деятельности к общему объему отгруженной продукции организаций промышленности, осуществляющих технологические инновации в 2004 г., приведены в табл. 2.

Для определения уровня технологических инноваций в Российской Федерации в работе рассмотрен удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, в общем числе организаций промышленности (табл. 3).

Невысокий уровень инновационной активности организаций промышленности в России обусловлен факторами, препятствующими интенсификации инновационных процессов. Конечно, процедура определения этих факторов носит комплексный и многоплановый характер, поэтому ограничимся частью, непосредственно связанной с интенсификацией экономики. Существует тенденция усиления ограничений на инновационные процессы. Важнейшим ограничением в экономической науке является высокая степень вовлечения в экономический оборот первичных ресурсов — как трудовых, так и материальных. Прежде всего, это относится к трудовым ресурсам. Положение осложняется тем, что государственная поддержка подготовки специалистов в области технологии сварочных процессов ниже, чем специалистов, осуществляющих контроль в области сертификации и стандартизации технологических процессов.

Таблица 2

Вид экономической деятельности	Удельный вес затрат, %
Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	3,8
Производство машин и оборудования	5,2
Производство транспортных средств и оборудования	3,7
Производство судов, летательных аппаратов, космических аппаратов и прочих транспортных средств	3,5

Таблица 3

Страна	Удельный вес, %
Россия	10,5
Австралия	59,9
Австрия	52,7
Бельгия	58,7
Германия	65,8
Дания	52,3
Исландия	54,2
Испания	37,3
Италия	40,0
Канада	67,4
Корея	43,2
Люксембург	49,2
Нидерланды	54,6
Новая Зеландия	44,0
Норвегия	39,3
Португалия	44,7
Финляндия	48,6
Франция	45,5
Швеция	47,2
Япония	33,0

Таблица 4

Вид организационных инноваций	Удельный вес, %
Реализация новой или значительно измененной корпоративной стратегии	8,4
Внедрение современных методов управления на основе информационных технологий	12,7
Внедрение новых или значительно измененных организационных структур	11,9
Нововведения в использовании сменного режима рабочего времени	6,5
Применение современных систем контроля и качества сертификации продукции	18,8
Разработка новых или значительно измененных методов и приемов организации труда	7,8
Внедрение современных систем логистики и поставок сырья, материалов, комплектующих	5,5
Создание специализированных подразделений по проведению исследований и разработок, практической реализации научно-технических достижений	2,2
Организация маркетинговой службы	14,5
Прочие организационно-управленческие изменения	0,3

Существенно ухудшается ситуация с материальными ресурсами в сварочном производстве. Возникает потребность в разработке ресурсосберегающих технологий. С обострением проблемы окружающей среды значительно возрастают капитальные вложения на природоохранную деятельность.

Все это ведет к увеличению фондоемкости и снижению фондоотдачи. Инновационные процессы организаций промышленности по приобретению оборудования без существенного улучшения технологии процесса и подготовки специалистов только усиливают эту тенденцию. Таковы основные объективные условия или предпосылки интенсификации инновационных процессов в сварочном производстве. При определении уровня интенсификации инновационных процессов необходимо учитывать совокупную эффективность использования живого и овеществленного труда в соответствии с принятыми ограничениями. Эффективность обеспечивается в условиях ресурсосберегающего типа расширенного воспроизводства. Ресурсосберегающий тип

расширенного воспроизводства создается путем качественных преобразований не только техники и технологии, но и методами, применяемыми в управлении инновационными процессами в сварочном производстве.

Структура организаций промышленности по видам организационных инноваций приведена в табл. 4.

Для реализации инвестиционно-инновационной политики в работе предложена модель решения управленческих задач, основанная на процессно-целевом подходе (см. рисунок).

Настоящая модель системы управления соответствует требованиям динамического циклического процесса "планирование—внедрение—функционирование—оценка—анализ". Решение управленческих задач при реализации инвестиционно-инновационной политики — непрерывный процесс, состоящий из следующих этапов:

— планирование — определение инвестиционно-инновационной политики;

— разработка инновационных программ и показателей;

— определение функций управления, формирование процедур, выбор показателей;

— внедрение — создание функциональной единицы для управления инновационными программами;

— функционирование — реализация инновационных программ;

— оценка — мониторинг выполнения функций и процедур, доведение до сведения заинтересованных сторон результатов инновационных программ в доле рынка усовершенствованной технологии;

— анализ — принятие управленческого решения; постоянное улучшение инвестиционно-инновационной политики.

В работе рассмотрены основные этапы модели управления.

Инвестиционно-инновационная политика — заявление организации о своих намерениях и принципах, связанных с ее общей инновационной результативностью, являющееся основанием для установления целевых и плановых инновационных показателей.

Целевым инновационным показателем называется общий целевой показатель состояния инновационного уровня, которого организация стремится достичь и который выражается количественно, если это возможно. Плановый инновационный показатель — детализированное требование в отношении эффективности, выраженное количественно, если это возможно, предъявляемое организации и вытекающее из ее целевых показателей, устанавливаемое и выполняемое для достижения целевых показателей.

При установлении целевых показателей организация должна учитывать требования законодательства, научно-технологические и производственные аспекты, инвестиционные возможности, потребности субъектов инновационного процесса и точку зрения заинтересованных сторон.

Задачи инвестиционно-инновационной политики состоят в определении основных направлений научно-технологической, производственной, социально-экономической и экологической деятельности, направленной на устойчивое воспроизводство интенсивного типа и развитие рынка усовершенствованных технологий, обеспечение удовлетворения жизненных потребностей сотрудников, повышение уровня и совершенствование качества жизни.

Определение приоритетов инвестиционно-инновационной политики состоит в следующем:

— определить воздействие организации на развитие инновационных процессов и заинтересованные стороны в соответствии с законодательством и международными стандартами;

— определить влияние, которое оказывают тенденции в области развития инновационных процессов, риски и возможности на перспективы

Модель управления инновационными процессами в сварочном производстве

организации (воздействие на перспективы организации).

Инвестиционно-инновационная политика отражает обязательства руководства соблюдать законодательные нормы и постоянно улучшать систему управления инновационными процессами. Она должна быть ясной, чтобы ее могли понять внешние и внутренние заинтересованные стороны. Необходимо подвергать анализу инвестиционно-инновационную политику и пересматривать приоритетные направления, чтобы соответствовать изменившимся условиям и информации.

Формирование инвестиционно-инновационной политики состоит из следующих действий:

— определение цели инвестиционно-инновационной политики;

— определение инновационных аспектов, вытекающих из прошлых, настоящих и планируемых производственных процессов;

— организация работы в соответствии с законодательными актами и регламентными нормами;

— установление приоритетов и соответствующих целевых и плановых показателей инновационных процессов;

— разработка организационной схемы и программы для реализации политики и достижения целевых и плановых инновационных показателей;

— осуществление планирования, контроля, наблюдения, корректирования, аудита и анализа с целью обеспечения соответствия инвестиционно-инновационной политики целям управления инновационными процессами.

Результат принятой инвестиционно-инновационной политики направлен на расширение доли рынка усовершенствованных технологий. Принятие управленческого решения определяет выбор оптимальных вариантов инвестиционно-инновационного развития, обеспечивающих расширение доли рынка усовершенствованных технологий, эффективность использования ресурсов и максимальное значение уровня социальной защищенности.

Таким образом, процессно-целевой подход к управлению инновационной деятельностью в сварочном производстве решает задачу выбора оптимальных вариантов в принятии решения на основе изменения инвестиционно-инновационной политики, корректировки целевых и плановых показателей; определения и уточнения ограничений в инвестиционно-инновационной деятельности предприятия; изменения и дополнения в функциональные задачи структур управления; принятия технических регламентов и стандартов в области экономики, социологии, экологии.

ВЫВОД

Определение функции управления организационными структурами и создание функциональных единиц для управления инновационными программами в сварочном производстве необходимо осуществлять с учетом следующих особенностей:

— инновационная деятельность — средство стратегического преимущества организаций, для которых собственно инновации не являются основным видом деятельности;

— инновационная деятельность — вид деятельности, результатом которой являются конкретные научные, научно-технические, профессионально-педагогические и иные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Старовойтов М. К., Фомин П. А.* Практический инструментарий организации управления промышленным предприятием. М.: Высшая школа, 2002. 387 с.
2. *Основы* политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу (http://www.kremlin.ru/text/docs/2002/03/30293.shtml).
3. *Шеремет В. В., Павлюченко В. М.* Управление инвестициями: В 2 т. М.: Высшая школа, 1998. Т. 1. 416 с.
4. *Управление* инновациями / Под ред. Ю. В. Шленова. М.: Высшая школа, 2003. Т. 1. 252 с.; Т. 2. 295 с.; Т. 3. 240 с.

Уважаемые читатели!

Оформить подписку на свой профессиональный журнал
"СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"
Вы можете с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

Подписные индексы:
70807 — *в каталоге Агентства "Роспечать";*
27860 — *в Объединенном каталоге;*
60256 — *в каталоге "Почта России".*

УДК 621.791:658.386

В. К. НОСОВ, В. Н. УВАРОВ, С. А. МАМОНОВ
"МАТИ" — РГТУ К. Э. Циолковского

Повышение профессиональной подготовки выпускников вузов и содействие их трудоустройству

Государственный образовательный стандарт и соответствующий ему учебный план специальности подготовки инженера наряду с фундаментальной и теоретической специальной подготовкой предполагает получение обучающимся необходимых практических профессиональных навыков в ходе выполнения практических занятий, лабораторных работ, курсового и дипломного проектирования, а также в период прохождения технологических и преддипломной практик.

Однако, как свидетельствует опыт, в сложившихся условиях рынка труда именно отсутствие требуемых работодателем практических навыков и опыта работы по специальности вызывают у молодого специалиста трудности с трудоустройством, вообще, и в осознанном выборе будущего места работы, в частности. Молодой специалист, закончив вузовское обучение и получив диплом инженера, не всегда объективно оценивает свои наклонности и возможности, не готов в жесткие сроки освоить в полном объеме деятельность, соответствующую должностным обязанностям мастера, технолога, конструктора, исследователя. Иногда это приводит к случайному выбору предприятия, должности и, как следствие, вызывает моральную и материальную неудовлетворенность, желание сменить место работы.

После апробации (с 1997 г.) Ступинским филиалом "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского и ОАО "Ступинская металлургическая компания" с целью повышения практической профессиональной подготовки и объективизации отбора студентов для будущей работы внедрена система стажировки студентов старших курсов по предполагаемому после окончания института месту работы. Заинтересованность филиала и ОАО "СМК" в подготовке кадров закрепляется ежегодно двухсторонним договором, в соответствии с которым в начале каждого учебного года руководители подразделений ОАО "СМК" проводят собеседование со студентами 4- и 5-го курсов, желающими пройти стажировку. Предварительно отдел кадров ОАО "СМК" совместно с ответственным за стажировку от филиала института готовят "Прогноз потребности ОАО "СМК" в специалистах с высшим образованием". По сложившейся практике этот прогноз составляется на три года и в случае необходимости корректируется на последующий календарный год.

Филиал МАТИ со своей стороны формирует базу данных на студентов старших курсов, которая содержит личный листок студента и результаты тестирования по системе MMPI.

Личный листок студента с фотографией составляется на 4-м курсе, когда студенты уже получили базовые знания и начинают формироваться как специалисты, и включает следующие данные: фамилию, имя, отчество; дату рождения; домашний адрес; дату поступления в институт; средний балл успеваемости по естественно-научным, гуманитарным и техническим (общепрофессиональным и специальным) дисциплинам, в том числе за каждый курс обучения; сведения "кое-что о себе" — собственное мнение студента о своих наклонностях, увлечениях, чертах характера, отношении к учебе, планах на будущее и т. д.; сведения "мнение преподавателей" — краткая характеристика студента куратором группы.

Тестовая система MMPI позволяет получить более объективные данные о чертах характера, склонностях студента и склонностях к тому или иному виду деятельности: административное руководство, производство, научные исследования, деятельность формального характера и т. д. В последние два года представители предприятия в наибольшей степени обращают внимание на такие черты характера, как работоспособность, коммуникабельность, терпимость и уравновешенность. Как показала практика стажировок, сходимость результатов по виду профессиональной деятельности будущих специалистов составляет от 87 до 93 %.

Имея личный листок студента, результаты тестирования и прогноз потребности специалистов, руководители подразделений по итогам собеседования предлагают студентам места стажировки на вакантные или вновь открываемые должности с оплатой по фактически отработанному времени. На время стажировки студент получает от заводского руководителя задание, согласованное с ответственным за стажировку от филиала МАТИ. График прохождения стажировки устанавливается по взаимной договоренности между предприятием, филиалом МАТИ и студентом в свободное от учебы время.

В процессе стажировки студент получает практические навыки в конкретной области деятельности, определяет для себя будущее место работы. Предприятие со своей стороны знакомится со специалистом на более ранней стадии, определяет его возможности, корректирует подготовку.

По итогам стажировки за установленный контрольный срок (6—10 мес.), совпадающий либо с началом занятий на пятом курсе, либо с началом преддипломной практики, студенту, успешно прошедшему стажировку, предлагается должность в соответствии со штатным расписанием.

Повышенные требования предприятия к стажеру, содержание и результаты стажировки налагают высокую ответственность за качество подготовки и вызывают необходимость пересмотреть содержание довузовской подготовки абитуриентов и вузовской подготовки специалистов.

Довузовскую подготовку совершенствовали в части более тщательного (с использованием тестовой системы MMPI) конкурентного отбора учащихся в спецклассы комплекса "школа—вуз" и включения в еженедельные шестичасовые занятия таких дисциплин, как "Информатика", "Черчение" и "История профессии".

Совершенствование инженерного образования предполагает прежде всего внедрение компьютерных технологий на базе комплексных систем проектирования и подготовки производства (CAD/CAM/CAE системы) и усиление экономической подготовки.

Овладение основами CAD/CAM/CAE систем осуществляется путем включения в учебный план помимо дисциплин, установленных ГОС, таких курсов, как "Компьютерная графика", "Организация инженерного труда", "Организация баз данных", "Системы автоматизированного проектирования технологических процессов", "Автоматизированные системы управления технологическими процессами" и оснащения класса информационных технологий лицензионным программным обеспечением, в том числе:

- чертежно-графической программой Auto CAD с использованием в дисциплинах "Инженерная графика", "Компьютерная графика", в курсовом и дипломном проектировании;
- системой автоматизированного расчета и проектирования машин, механизмов и конструкций APM Win Machine с использованием в дисциплинах общепрофессиональной подготовки: "Теория машин и механизмов", "Сопротивление материалов", "Детали машин и основы конструирования", а также в специальных дисциплинах в расчетах узлов и агрегатов технологического оборудования;
- программой технологического моделирования, анализа и оптимального проектирования QForm с использованием в специальных дисциплинах, курсовом и дипломном проектировании. В целях повышения уровня организаторских и экономических знаний дополнительно к ГОС в учебный план включены такие дисциплины, как "Культура делового общения", "Делопроизводство", "Управление качеством", "Экономика предприятия", "Автоматизированные системы управления производством".

Такой комплексный подход к совершенствованию инженерной подготовки со сквозным использованием информационных технологий, углубленной экономической и организаторской подготовки в сочетании с наличием практических профессиональных навыков выражается в конечном счете в повышении конкурентоспособности молодых специалистов на рынке труда, престижа инженерной специальности и получении предприятием после окончания института сформировавшегося и проверенного специалиста.

УДК 621.791:061.2/.4

ЭКСПОЦЕНТР

4-я Международная специализированная выставка "Трубопроводный транспорт — 2008"

15—17 апреля 2008 г. в Москве на ЦВК "Экспоцентр" прошла 4-я Международная специализированная выставка "Трубопроводный транспорт — 2008", организованная ОАО "АК Транснефть" и ООО "Евроэкспо".

В выставке участвовали российские и зарубежные представители более 100 компаний и организаций из 11 стран мира.

Ниже приведено представленное на выставке различное сварочное оборудование.

ОАО "Ильницкий завод механического сварочного оборудования" демонстрировало различные универсальные сварочные вращатели, колонны для сварочных автоматов и другое оборудование.

Универсальный сварочный вращатель М11010А для установки и вращения изделий со скоростью сварки при автоматической, механизированной и ручной дуговой сварке, а также при наплавочных работах. Вращатель состоит из механизмов, обеспечивающих вращение планшайбы (рабочего органа) и ее наклон вручную. Механизмы вращателя, соединенные между собой, образуют единый блок, установленный на основание. На этом же основании помещен блок управления. Вращатель оснащен устройством для автоматической сварки кольцевого шва. Грузоподъемность вращателя: при вертикальном положении планшайбы — до 63 кг; при горизонтальном — 75 кг. Частота вращения планшайбы в процессе сварки 0,125—6,3 мин$^{-1}$. Наибольшие угол поворота планшайбы ± 360°, угол ее наклона 135°. Номинальный сварочный ток (ПВ = 100 %) 500 А. Мощность электродвигателя привода вращения 0,25 кВт, питающее напряжение 220 В. Габаритные размеры вращателя 695 × 490 × 280 мм, масса 60 кг.

Универсальный сварочный вращатель М11070А для установки и вращения изделий со скоростью сварки при автоматической дуговой сварке круговых швов под флюсом в защитных газах, а также при наплавочных работах. Вращатель состоит из станины, поворотного стола, приводов вращения и наклона планшайбы. Станина вращателя представляет сборно-разборную конструкцию, к которой на полуосях прикреплен поворотный стол с размещенными на нем приводом вращения, токосъемниками и шпиндельным узлом с планшайбой. Вращение планшайбы осуществляется от электродвигателя через червячно-цилиндрический редуктор, смонтированный на столе. Сбоку на станине смонтирован привод наклона стола, состоящий из асинхронного электродвигателя и червячно-цилиндрического редуктора. Вращатель оснащен устройством для автоматической остановки после окончания сварки кругового шва с перекрытием. Свариваемое изделие крепится на планшайбе с Т-образными пазами крепежными приспособлениями. Электроаппаратура управления размещена в нише станины вращателя. Грузоподъемность вращателя до 3,15 т. Наибольший крутящий момент: на оси вращения планшайбы 6,3 кН · м, относительно оси наклона планшайбы — 10 кН · м. Частота вращения планшайбы в процессе сварки 0,018—1,8 мин$^{-1}$. Питающее напряжение вращателя 380 В, цепей управления — 42 В, номинальный сварочный ток (ПВ = 100 %) 1250 А. Мощность электродвигателей: привода вращения — 3 кВт; привода наклона — 4 кВт. Габаритные размеры сварочного вращателя 1490 × 1790 × 1140 мм, масса 1,6 т.

Установку 222С-Б для автоматической и механизированной сварки кольцевых и прямолинейных швов. Для вращения свариваемого изделия со скоростью сварки и наклона его в наиболее удобное для сварки положение на установке использован вращатель М11010А. В установку вмонтировано фильтровентиляционное устройство очистки воздуха рабочей зоны от сварочного аэрозоля. Специальное устройство обеспечивает автоматизацию сварки кольцевого шва. В момент зажигания дуги начинается вращение изделия со скоростью сварки и подача сжатого воздуха в фильтровентиляционный агрегат. По завершении сварки вращатель останавливается и пода-

ча воздуха прекращается. На основании установки размещены колонны с ломающейся стрелой и закрепленной на ее конце горелкой, блоки управления двигателем вращателя и процесса сварки. Стрела перемещается по колонне на каретке вертикально от ручного привода. Настройка режимов осуществляется с блоков управления, включение — с блока управления или от ножной педали. Рабочие скорости определяются с помощью номограммы зависимости скорости вращения планшайбы от диаметра шва и скорости сварки. Масса свариваемых изделий до 63 кг, диаметр — до 360 мм. Перемещение сварочной горелки по вертикали 550 мм. Угол вращения горелки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях ±180°. Частота вращения планшайбы 0,125—6,3 мин$^{-1}$. Расход сжатого воздуха при работе фильтровентиляционного агрегата 110 м^3/ч, давление — 0,4—0,6 МПа. Питающее напряжение установки 380 В. Ее габаритные размеры 1365×1055×1542 мм, масса 220 кг.

Установку РМ УСВФ-2 (рис. 1) для организации рабочего места автоматической сварки воздушных фурм доменных печей на металлургических предприятиях. Установка обеспечивает вращение свариваемых изделий со скоростью сварки и их наклон в наиболее удобное положение посредством универсальных сварочных вращателей М11050А или М11070А.

Размеры свариваемых деталей: диаметр 160—400 мм, длина до 650 мм. Масса свариваемой детали при закреплении в планшайбе вращателя не более 500 кг. Номинальный ток сварки 1200 А. Диаметр электродной проволоки 3, 4 и 5 мм, скорость ее подачи 46—460 м/ч, регулировка скорости подачи сварочной проволоки плавная. Номинальный ток сварки 500 А. Вместимость флюсобункера 3 дм^3. Наибольший угол наклона планшайбы 135°, частота ее вращения — 0,018—1,8 мин$^{-1}$. Наибольшая грузоподъемность 3,15 т. Масса установки с полной комплектацией в сборе 4,2 т.

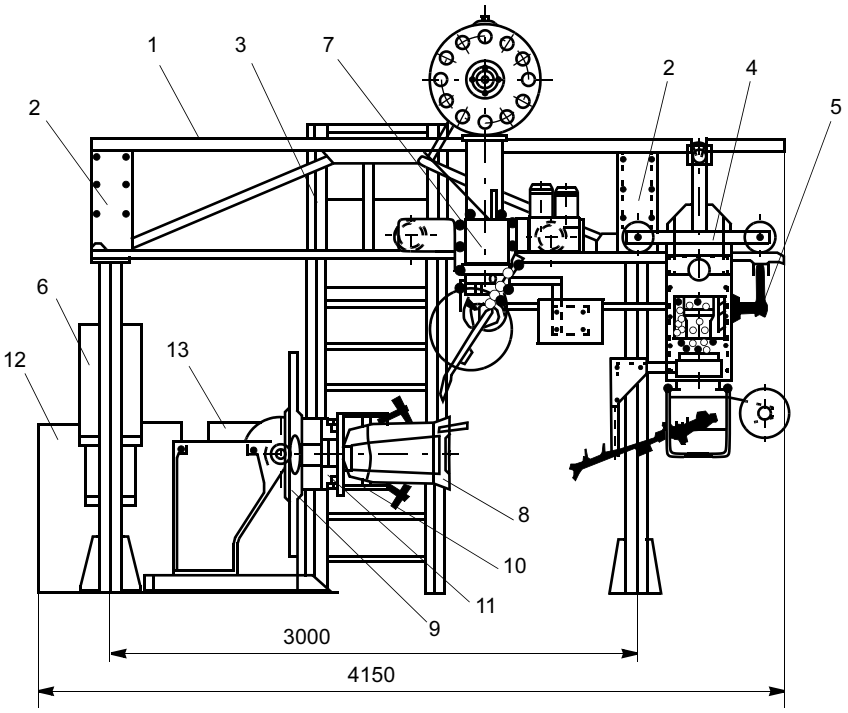

Рис. 1. Схема установки РМ УСВФ-2: *1* — портал; *2* — стойки; *3* — площадка с лестницей; *4* — сварочный автомат РМ-1; *5* — направляющая сварочного автомата; *6* — электрощит; *7* — сварочный автомат АД-231; *8* — свариваемая деталь-фурма; *9* — сварочный вращатель М11050А; *10* — технологическая оснастка; *11* — токарный патрон; *12*, *13* — сварочные выпрямители ВДУ-506С

Установку КАС РМ-165 для организации рабочего места автоматической наплавки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей деталей, возможно также применение для автоматической сварки кольцевых и продольных швов. Скорость вертикального перемещения рабочего органа 10 м/ч при величине хода 300 мм. Скорость горизонтального перемещения рабочего органа до 40 м/ч при величине хода 400 мм. Масса наплавляемой детали до 125 кг. Частота вращения планшайбы 0,1—5 мин$^{-1}$. Скорость подачи электродной проволоки до 16 м/мин. Номинальный сварочный ток (при ПВ = 60 %) 500 А. Питающее напряжение установки 380 В. Масса установки без сварочного выпрямителя 350 кг.

ООО "Унипрофит-Союз" (Москва) предложило потребителям сварочные материалы для строительства трубопроводов, разработанные за рубежом.

Сварочный электрод ОК53.70 с низким содержанием водорода. Электрод разработан для односторонней сварки трубопроводов и различных конструкций. Обеспечивает большую глубину проплавления и формирование плоского шва с легкоудаляемым шлаком. Хорошо сбалансированная шлаковая система обеспечивает стабильное горение дуги и позволяет вести сварку во всех пространственных положениях, за исключением вертикального способом сверху-вниз. Электроды ОК53.70 предназначены для сварки труб из сталей с пределом прочности до 588 МПа (APIX70) для металла корня шва и до 529 МПа (APIX60) для заполняющих и облицовочных слоев шва включительно.

Высококачественную рутиловую порошковую проволоку ОК

Tubrod 15.19 для сварки в защитном газе, а также автоматической орбитальной сварки однопроходных и многопроходных швов стыков трубопроводов из высокопрочных сталей (539—589 МПа). Применение проволоки обеспечивает большую производительность, высокие значения ударной вязкости при низких температурах.

Тиристорный сварочный выпрямитель L HF 400 (рис. 2) для эксплуатации в тяжелых условиях. Корпус выпрямителя имеет антикоррозионное алюмоцинковое покрытие. Динамические характеристики, широкий диапазон сварочного тока, режим "горячий старт" и функция предотвращения "прилипания" электрода, большой запас мощности, подбор переключателей обеспечивают высокую надежность оборудования при тяжелых условиях эксплуатации. Сварка производится электродами с рутиловым или основным покрытием диаметром 1,6—6 мм. Питающее напряжение выпрямителя 400 В, сетевой предохранитель рассчитан на ток 25 А. Сечение питающего кабеля 4×4 мм^2. Максимальный сварочный ток при ПВ, равной 35, 60 и 100 %, составляет 400, 315 и 250 А соответственно. Потребляемая мощность при холостом ходе 340 Вт, кпд — 0,9. Габаритные размеры выпрямителя 1310×765×705 мм, масса — 195 кг.

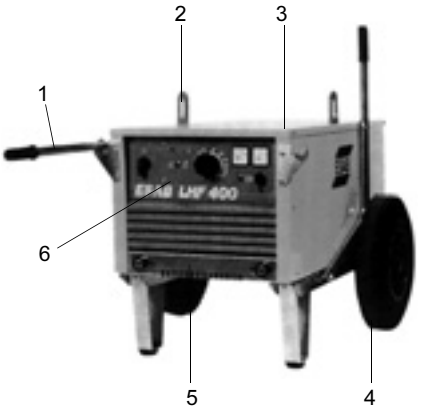

Рис. 2. Тиристорный сварочный выпрямитель L HF 400: *1* — углубленная панель для защиты органов управления; *2* — прочные проушины; *3* — корпус с алюмоцинковым покрытием; *4* — пневматические шины диаметром 400 мм; *5* — рама из оцинкованной стали; *6* — откидывающиеся ручки

Рис. 3. Устройство АКР 334

Сварочную омедненную проволоку Св-08Г2С, Св-08ГСНТ, Св-08ГА, Св-08ГН, Св-08ГНМ, Св-08ХМ, Св-08ГСМТ и Св-10НМЛ диаметром 2, 3 и 4 мм для сварки в защитных газах, а также сварки под флюсом, изготовленную по итальянской технологии. Для размотки проволоки используется размоточное устройство, состоящее из вращающейся платформы, съемного диска, прижимного ролика и направляющих роликов.

ЗАО "ЭЛМИД-Техно" (Москва) демонстрировало на выставке различную сварочную технику. Приведем краткое описание некоторых экспонатов.

Устройство АКР 334 (рис. 3) для автоматического перемещения во всех пространственных положениях газового или плазменного резака, держателей шлангового полуавтомата или другой горелки для резки, сварки или наплавки, а также для перемещения контрольного датчика над стыком при контроле сварки. Стыки могут быть прямыми, кольцевыми или криволинейными с радиусом кривизны не менее 150 мм. Направляющий рельс для перемещения резака выполнен из стальной полосы сечением 68×6 мм или из прокатного уголка сечением 50×50 мм. Скорость перемещения устройства плавно регулируется в пределах 0—40 м/ч, его тяговое усилие не менее 980 Н. Корректировка рабочего инструмента: поперек стыка ±50 мм, по вертикали ±50 мм, по углу наклона инструмента ±90°. Питающее напряжение переменного тока 36 В. Габаритные размеры устройства 190×270×300 мм.

Подающие механизмы для подачи стальной электродной проволоки в зону сварки в составе сварочных полуавтоматов.

Подающий механизм МП-1 для подачи сварочной проволоки диаметром 0,8, 1,0, 1,2 и 1,4 мм. Диапазон питающего напряжения электродвигателя механизма 4—28 В, потребляемая мощность 85 Вт.

Подающий механизм МП-2-01 для подачи сварочной проволоки диаметром 0,6, 0,8, 1,0, и 1,2 мм. Диапазон питающего напряжения электродвигателя механизма 3,5—12 В, потребляемая мощность до 50 Вт.

Сварочный аппарат АС-150 (рис. 4) для ручной дуговой сварки (ММА) прямого и сложного профиля стальных металлоконструкций электродами всех видов, кроме электродов на основе алюминия. Преимущества сварочного аппарата: плавная регулировка сварочного тока; наличие режима "горячий старт" и функции "антиприлипание"; стабилизация выходных параметров при колебаниях сетевого напряжения; возможность работы в условиях повышенной запыленности. Питающее напряжение аппарата 220 В ± 15 %. Номинальный сварочный ток при ПВ = 60 % — 150 А, при ПВ = 100 % — 100 А. Пределы регулирования сварочного тока 30—150 А, потребляемая мощность 5,5 кВт, диаметр электрода 2—3 мм, диапазон рабочих температур от –10 до 40 °С. Габаритные размеры сварочного аппарата 160×220×300 мм, масса — 6,5 кг.

Рис. 4. Сварочный аппарат АС-150

В рамках выставки прошли конференции-презентации и научные семинары.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке[1]

BULETINUL INSTITUTULUI IN SUDURĂ ŞI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE – BID ISIM (№ 4, 2007, Румыния)

Cioclov D. D. Прочность и усталость наноматериалов. Ч. 3. Р. 3—18.

Starke P. et al. Измерение гистерезиса, температуры и прочности для определения усталостных характеристик металлов. Р. 19—30.

Grimberg R. et al. Токовихревой метод для определения характеристик труб под давлением тяжеловодного ядерного уранового реактора. Р. 31—37.

Savu S., Savu D. Новые датчики для сварочных технологий. Р. 39—45.

BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA W GLIWICACH (Roc. 52, N 1, 2008, Польша)

Weglowski M. St. Кинетика переноса жидкого металла в сварочной дуге при MIG-сварке. Р. 29—35.

Strubryt M., Łukasik T. Усталостная прочность сварных конструкций — методика подхода. Р. 35—45.

Niagaj J., Savyćkyj M., Savyćkyj O. Влияние активации на технологические и экологические свойства дуги, горящей в аргоне, при сварке низко- и высоколегированных сталей. Р. 46—50.

Keehan E. Свойства наплавленного металла сталей повышенной прочности. Р. 50—63.

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 76, N 6, 2007, Япония)

Itsuhiko S. Сварочные материалы из высокопрочной 2,25Cr—1Mo—0,25V-стали. Р. 3—5.

[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).

Tetsuya F., Tadao N. Стальные строительные конструкции и требования к характеристикам сварных соединений. P. 7—10.

Koutarou I. Проектирование мостов и требования к применяемым материалам. P. 11—15.

Hiroshi Shi., Kazuhiro H. Проектирование корпусов в судостроении и требования к материалам и сварным швам. P. 16—23.

Hiroo K. Современные требования к рельсовой стали. P. 24—27.

Nobuhisa S., Takahiro K., Satoshi I. Требования к деформационным характеристикам трубных сталей в современном трубопроводостроении. P. 28—31.

Sachio Shi. et al. Разработка технологий ремонта монокристаллических лопастей летательных аппаратов. P. 32—37.

Kiyoto N. Способ соединения с применением радиочастотных микроэлектронных механических систем. P. 38—42.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (N 1, 2008, Польша)

Szefner Z. Усовершенствование неразрушающих испытаний с учетом контроля качества сварных конструкций. P. 4—8.

Szymlek K., Cwiek J. Зависимость между параметрами проникновения водорода и поглощением и микроструктурой стали S355 и ее сварных соединений. P. 9—13.

Nowacki J., Wypych A. Ручное и роботизированное восстановление головок цилиндров судовых двигателей. P. 14—24.

Zwierzchowski M. Структура, свойства и износостойкость покрытий, нанесенных на кобальтовую основу. P. 25—30.

Masek R. Физические и химические свойства, а также прочность композиционных материалов BELZONA. P. 31—35.

Olejnik G. Резать быстро — резать дешево; режущая струя Jetex для кислородной резки. P. 36—38.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (An. LIX, № 5, 2007, Италия)

Fersini M., Demofonti G., Sorrentino S., Mecozzi E. Кольцевая сварка газопроводов с помощью гибридной сварки волоконным лазером. P. 627—635.

Pandolfo A. Европейские стандарты для аттестации сварщиков и сертификации технологии подводной сварки сухим и мокрым способами. P. 637—647.

Cappabianca C., Marracino F. Цифровой радиографический контроль. P. 649—662.

Rosellini C., Russo R., Costa L., Caruggi M., Niberto A. Вентилируемый шлем сварщика, разработанный в рамках европейского проекта ECONWELD (COLL-CT-2005 516336). P. 665—671.

Cristofori A., Livieri P., Tovo R. Специальная методика цифрового трехмерного моделирования и анализа напряжений для оценки усталости сварных соединений. P. 673—680.

Matsuyama K. Тенденции развития автомобильной промышленности и технологий соединения. P. 683—693.

Области применения контактной сварки. P. 695—707.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 11, 2007, Германия)

Выставка роботов в Базеле 18 сентября 2007 г. S. 583—584.

Сварка и резка в автоматизированной поточной линии производства. S. 586—587.

Использование вихревых токов для слежения за стыком при лазерной сварке. S. 587—588.

Schaumann P. et al. Цифровое определение внутренних напряжений в однослойном стыковом шве с последующей ультразвуковой ударной обработкой. S. 590—599.

Wielage B. et al. Исследование высокоскоростного газопламенного напыления проволокой. S. 600—607.

Li J. et al. Улучшение структуры наплавленного металла при гибридной (Nd: YAG-лазер + MSG) сварке алюминиевых сплавов. S. 608—612.

(N 12, 2007, Германия)

Шланг для подачи проволоки "Rolliner" уменьшает трение и износ. S. 656—657.

Новое оборудование для нанесения покрытий. S. 658—659.

Holthaus M. et al. Применение сплющенной электродной проволоки при механизированной сварке высокопрочных мелкозернистых строительных сталей в защитном газе. S. 662—666.

Alaluss K. et al. Моделирование плазменного МИГ-процесса с целью применения на практике. S. 668—677.

Tikhomirov D. et al. Методы моделирования сварочных деформаций для автомобильной промышленности. S. 678—680.

Schambach B. Заседание комитета стандартизации МИСа в Дубровнике в июле 2007 г. S. 687.

Конференция DVS (сентябрь 2007 г., Базель, Швейцария). S. 689—701.

SUDURA (An. XVII, N 6, 2007, Румыния)

Dehelean D., Joni N. Оценка румынского сварочного рынка в 2006 г. P. 4—6.

Safta V. I. Причины возникновения дефектов и возможности их предотвращения при МИГ- и ТИГ-сварке алюминиевых сплавов. P. 11—19.

Dumbrava D. et. al. Программа расчета остаточных напряжений и деформаций в процессе стыковой сварки стальных или алюминиевых материалов. P. 29—36.

Killing R. Быстрое и безопасное соединение с использованием низкого тепловложения — общий обзор, касающийся низкого тепловложения, процессов дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе. P. 42—46.

Staufer H., RührnöβI M. Большая толщина и высокая скорость — гибридная лазерная сварка + тандем. P. 47—50.

WELDING AND CUTTING (N 6, 2007, Германия)

Сварка и пайка в автоматизированных производственных циклах. P. 310.

Маленькая деталь с большим эффектом — защитное устройство от противотока газа и обратного удара пламени. P. 314—318.

Alves de Oliveira M., Dutra J. C. Электрическая модель процесса гибридной сварки плазма-МИГ. P. 324—328.

Xueqin L. et al. Контроль мобильного робота для автоматического нахождения сварного соединения. P. 334—338.

Cramer H. et al. Расчет и измерение остаточных напряжений в алюминиевых сварных соединениях. P. 342—347.

Völlner G. et al. Потенциальные возможности сварки трением с перемешиванием. P. 348—351.

WELDING JOURNAL (Vol. 86, N 11, 2007, США)

Crockett D. D. Американское сварочное общество добавляет два варианта к классификации для дуговой сварки под флюсом. P. 46—48.

Yang Y. K., Kou S. Макросегрегация на границе сплавления сварных швов Al—Cu с использованием разнородных металлов. P. 331-s—339-s.

Sigler D. R. et al. Сульфидная коррозия паяных соединений медь—серебро—фосфор в сварочных трансформаторах. P. 340-S—348-S.

Malene S. H. et al. Реакция на экзотермическую добавку в электрод для дуговой сварки порошковой проволокой. Ч. 2. P. 349-s—359-s.

Nguyen T. C. et al. Прерывистый дефект валиков швов, наплавленных высокоскоростной дуговой сваркой плавящимся электродом в защитном газе. P. 360-s—372-s.

ZVARANIE — SVAROVANI (Roc. 56, N 9, 2007, Словакия)

Hobbacher A. F. et al. Качество сварных швов согласно ISO и его влияние на пригодность к эксплуатации сварных компонентов. S. 243—249.

Kálna K. Требования к качеству сварных соединений в соответствии со стандартами и оценка дефектов с помощью подхода "пригодности к эксплуатации". S. 250—259.

Galazzi G. et al. Применение технологии наплавки лентой фирмы "ЭСАБ". S. 254—259.

Schubert E. et al. Системы смены горелок при роботизированной сварке. S. 260—263.

УДК 621.791(088).16

Патенты РФ на изобретения в области сварки*

Сварочный агрегат. 2293631 (С2). В. А. Фролов (RU), В. А. Яровой (RU).

Способ соединения стальных деталей. 2293632 (С1). Ж. М. Бледнова (RU), А. В. Вотинов (RU), М. И. Чаевский (RU), Д. А. Стрелевский (RU). Кубанский государственный технологический университет (RU).

Устройство для формирования соединения при контактной стыковой сварке трубы с заглушкой (варианты). 2293633 (С1). А. А. Белов (RU), А. А. Градович (RU), М. Г. Зарубин (RU) и др. ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ контактно-стыковой сварки трубы с заглушкой. 2293634 (С1). А. А. Кислицкий (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ контактно-стыковой сварки трубы с заглушкой. 2293635 (С1). А. А. Кислицкий (RU), А. М. Лузин (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ контактно-стыковой сварки трубы с заглушкой. 2293636 (С1). А. А. Кислицкий (RU), А. М. Лузин (RU), М. Г. Зарубин (RU), А. В. Струков (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ стыковой сварки стальных полос. 2293637 (С1). Р. С. Тахаутдинов (RU), А. П. Буданов (RU), В. Г. Антипанов (RU) и др. ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU).

Способ металлического соединения стержней вибрационной сваркой трением. 2293638 (С2). Х. ПФАЙЛЕР (АТ). ФОЕСТАЛЬПИНЕ ШИНЕН ГМБХ (АТ).

Способ образования стыковых сварных швов на трубах. 2293639 (С2). С. И. Козий (RU), Г. А. Батраев (RU), С. С. Козий (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU).

Проволока для наплавки. 2293640 (С2). В. А. Коротков (RU), В. А. Михайлов (RU), Э. Ж. Агафонов (RU). ООО "Композит" (RU).

Резак для кислородной резки металлов. 2294268 (С2). А. А. Михайлов (RU), Г. К. Сухинин (RU), А. Н. Красильников (RU). ОАО "ВНИИАВТОГЕНМАШ" (RU).

Устройство для формирования импульсов сварочного тока. 2294269 (С1). А. Ф. Князьков (RU), С. А. Князьков (RU), Я. С. Лолю (RU), А. Б. Пронев (RU). Томский политехнический университет (RU).

Однороликовый раскатник для диффузионной сварки труб. 2294270 (С1). А. Н. Семенов (RU), В. П. Гор-

---

* Приведены наименование и номер патента, автор и заявитель, опубликованные в специальном бюллетене "Изобретения. Полезные модели" за 2007 г. Запросы для получения более подробных сведений следует направлять по адресу: 121867, Москва, Бережковская наб., д. 24. Патентная библиотека. Тел.: (495) 240 5008.

Обозначения: С — патент РФ, выданный вместо ранее не публиковавшегося а. с. СССР на оставшийся срок; С1 — патент РФ, выданный без предшествующей публикации сведений о заявке; С2 — патент РФ, выданный с предшествующей публикацией сведений о заявке.

до (RU), Г. Н. Шевелев (RU). ФГУП "Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н. А. Доллежаля " (RU).

Способ соединения материалов с покрытием. 2294271 (C1). А. Н. Сорокин (RU), В. В. Фельдшерова (RU), С. А. Агафонов (RU), Ф. Ф. Исламгулов (RU). ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина (RU).

Сварочная активированная проволока. 2294272 (C1). С. Г. Паршин (RU), С. С. Паршин (RU).

Порошковая проволока для наплавки. 2294273 (C2). А. В. Березовский (RU), А. Н. Балин (RU), Б. В. Степанов (RU) и др. ЗАО "Завод сварочных материалов" (RU).

Устройство для автоматической сварки. 2294274 (C1). Д. П. Хоренко (UA), А. С. Самогородский (UA), В. И. Приходько (UA) и др. ОАО "Крюковский вагоностроительный завод".

Установка для сварки в защитной среде. 2294821 (C2). А. М. Смыслов (RU), А. Н. Исанбердин (RU), Д. Р. Таминдаров (RU), А. Д. Мингажев (RU). Уфимский государственный авиационный технический университет (RU).

Способ автоматической аргонодуговой сварки труб из стали аустенитного класса. 2294822 (C2). С. М. Ковалев (RU), С. Н. Харахнин (RU), А. Е. Секач (RU) и др. ФГУП "Российский государственный концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях", Концерн "Росэнергоатом" (RU).

Способ и устройство для нанесения припоя на металлическую структуру с помощью вибрации. 2295426 (C2). Х.-П. КАСПАР (DE), Ф. КУРТ (DE), А. ШОЛЬЦ (DE). "ЭМИТЕК ГЕЗЕЛЬШАФТ ФЮР ЭМИССИОНСТЕХНОЛОГИ МБХ" (DE).

Устройство для дистанционного регулирования сварочного тока. 2295427 (C2). О. П. Лещев (RU).

Способ сварки оплавлением стальных рулонных полос. 2295428 (C1). Г. С. Сеничев (RU), А. П. Буданов (RU), В. Г. Антипанов (RU) и др. ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU).

Модифицирование структуры заготовки. 2295429 (C2). Б. Г. ДАНС (GB), Ю. Д. КЕЛЛАР (GB). " ДЗЕ ВЕЛДИНГ ИНСТИТЬЮТ" (GB).

Переходник для сварки труб из нержавеющих сталей с трубами из циркониевых сплавов. 2295430 (C1). В. А. Агапитов (RU), А. Л. Беляев (RU), А. М. Блинов (RU) и др. ОАО "Чепецкий механический завод" (RU).

Агломерированный флюс марки 48АФ-55. 2295431 (C2). И. В. Горынин (RU), В. А. Малышевский (RU), Р. В. Бишоков (RU) и др. ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей" (RU).

Устройство для центрирования труб при стыковке под сварку. 2295432 (C1). И. Р. Кузеев (RU), М. И. Кузеев (RU), А. Г. Чиркова (RU) и др. ООО "Научно-производственный центр "Техпроект" (RU).

Способ лазерного формирования изображений в оптически прозрачной твердой среде. 2295506 (C2). М. В. Иночкин (RU), Е. Л. Портной (RU), А. С. Волков (RU).

Трехуровневый индикатор напряжения. 2295731 (C2). Г. П. Петин (RU). Е. Д. Рогач (RU), В. А. Дудко (RU). ООО "НПП "Донэлектроприбор" (RU).

Способ индукционной пайки и устройство для его реализации. 2296037 (C2). Ю. М. Тихомиров (RU), А. С. Дегтерев (RU). ФГУП "Центральное конструкторское бюро "Геофизика" (RU).

Электронно-лучевая установка. 2296038 (C2). М. А. Завьялов (RU), В. Ф. Мартынов (RU), Н. С. Гусев (RU), С. А. Гусев (RU) и др. ЗАО "НПЦ "Элионна техника" (RU).

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки. 2296654 (C1). В. В. Седнев (RU), О. Г. Брунов (RU), А. В. Крюков (RU), С. А. Солодский (RU). Томский политехнический университет (RU).

Н. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.011

Анализ химической макронеоднородности вблизи границы сплавления при сварке плавлением. Кархин В. А., Хомич П. Н., Раямяки П. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 3—8.

Разработана методика расчета диффузии элементов (примесей) вблизи границы сплавления с учетом формы и размеров сварочной ванны, этапов плавления и затвердевания металла, температурной зависимости их растворимости и коэффициента диффузии. Сформулирована термодиффузионная задача. Показано, что этап плавления металла может существенно влиять на формирование химической неоднородности вблизи границы шва. Приведено сравнение расчетного распределения серы с экспериментальными данными, полученными методом радиографии. Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 11.

УДК 621.791:621.643.1/.2

Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва. Ч. 1. Результаты испытаний образцов с дефектами. Хромченко Ф. А., Федосеенко А. В. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 8—11.

Установлено, что нормативная долговечность сварных соединений из стали 12Х1МФ при температуре 545 °С для расчетной базы 10^5—$3 \cdot 10^5$ ч обеспечивается при условии ограничения в металле шва 09Х1МФ максимального размера (глубины) технологического дефекта величиной 4 мм. Табл. 2. Ил. 2. Библиогр. 2.

УДК 621.791.75.039—229.61

Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуго-

вой сварке и наплавке. Лебедев В. А. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 11—15.

Приведено математическое описание временных характеристик процесса образования капли электродного металла при импульсной подаче электродной проволоки. Разработана методика получения достаточно простых уравнений, определяющих зависимость временных характеристик изменения геометрических размеров капли от физических параметров процесса плавления электродного металла. Приведены примеры расчета конкретных параметров процесса сварки и подачи электродной проволоки для получения капли заданного размера. Полученная математическая модель может быть использована в конструкторской практике и при решении технологических задач, связанных с управляемым переносом электродного металла. Ил. 3. Библиогр. 8.

УДК 621.791.927.6

Расчет параметров формирования соединения при электроконтакной наплавке (наварке) проволоки. Нафиков М. З., Загиров И. И. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 15—20.

Исследовано формирование сварного соединения при восстановлении изношенных деталей электроконтактной наплавкой (наваркой) с применением присадочной проволоки. Показано, что о прочности сварного соединения можно судить по осевой деформации присадочной проволоки. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать размеры контактных площадок, в которых образуется сварное соединение. Математическая модель процесса позволяет проследить кинетику формирования сварного соединения покрытия с основой детали. Проведенные исследования могут быть использованы при проектировании технологических процессов восстановления деталей типа вал. Ил. 8. Библиогр. 7.

УДК 621.791.927.5

Многодуговая наплавка покрытыми электродами. Мейстер Р. А., Мейстер А. Р., Безруких А. А. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 21—23.

Проведены исследования многоэлектродной ручной наплавки дугой постоянного тока и трехфазной дугой. Установлено, что при питании дуги от однофазного выпрямителя с конденсаторным умножителем напряжения и наплавке тремя электродами диаметром 2 мм, скомпонованных треугольником, обеспечивается доля участия основного металла в наплавленном 5—6 % при потерях на разбрызгивание 3—4 % и производительности 0,42 кг/ч, при наплавке тремя электродами диаметром 3 мм из коррозионно-стойкой стали доля участия составляет 3—5 %.

При наплавке тремя электродами диаметром 3 мм и токе 130 А доля участия основного металла в наплавленном увеличивается до 33 %, производительность составляет 1,8 кг/ч. Снижение тока до 60 А уменьшает проплавление, но ухудшается смачиваемость основного металла проплавленным. Ил. 5. Библиогр. 3.

УДК 621.791.763.1

Применение контактной точечной и рельефной сварки при изготовлении термоэлементов автоматических выключателей. Демченко А. И., Рафальский А. С. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 23—26.

Приведены результаты исследовательских работ по применению контактной точечной и рельефной сварки для соединения термобиметаллических пластин со скобами при производстве термоэлементов автоматических выключателей серии ВА-57.

Применение сварки вместо традиционно применяемой пайки повышает качество соединения и обеспечивает экономический эффект. Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 5.

УДК 621.791.4:539.378.3

Особенности диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ 95. Люшинский А. В., Малинов В. И., Качалин Н. И., Баранов Г. В. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 26—28.

Исследованы возможность диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ 95 через активирующий промежуточный слой оптимального состава и кинетика формирования диффузионного соединения. Установлено, что применение пористой ленты из ультрадисперсного порошка никеля в качестве промежуточного слоя обеспечивает формирование качественного сварного соединения. Определены оптимальные параметры режима сварки. Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 621.791.16

Технологические возможности ультразвуковой сварки капролона. Волков С. С. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 29—35.

Рассмотрены особенности ультразвуковой сварки изделий из капролона В. Установлено, что механизм образования сварного соединения капролона В происходит по схемам с "преимущественным внедрением" одной из деталей в другую или с "преимущественным оплавлением" острия разделки кромки.

Установлены оптимальные параметры режима сварки капролона В, обеспечивающие прочность сварных соединений. Показано, что разделка свариваемых кромок приводит к интенсификации процесса сварки, а в некоторых случаях является единственным способом для получения сварных соединений трудносвариваемых пластмасс. Представлен кинетический механизм образования сварных соединений. Табл. 1. Ил. 9. Библиогр. 9.

УДК 621.791.927.7

Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 3. Электродуговое и высокочастотное индукционное напыление. Мчедлов С. Г. — Сварочное производство. 2008. № 8. С. 35—39.

Приведено описание методов электродугового и высокочастотного индукционного напыления покрытия, применяемых оборудования и материалов. Приведены основные эксплуатационные показатели процессов. Сделан вывод о наличии резервов для повышения эффективности технологии напыления покрытий. Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 8.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, № 8

Chemical macroheterogeneity analysis close to the weld edge at fusion welding. Karkhin V. A., Khomich P. N., Rayamyakee P. P. 3—8.

Design procedure of the components (admixture) diffusion close to the weld edge considering shapes and dimensions of the weld pool, stages of metal fusion and solidification, temperature dependences of their solubility and diffusion coefficient. Thermodiffusion problem is defined. It is shown that metal melting phase may essentially influence on the formation of chemical inhomogeneity close to the weld edge. Comparison of the calculated sulphur distribution and experimental data derived by radiography technique is described.

High-temperature strength of the steam pipes welds defected in the weld metal. Part 1: Test results of the defected samples. Khromchenko F. A., Fedoseyenko A. V. P. 8—11.

It is established that standard durability of the welds from steel 12Х1 МА at 545 °C for expected base of 10^5—$3 \cdot 10^5$ hours is ensured in case maximal depth of technological defect is limited by 4 mm in the weld metal 09Х1МФ.

Characterization of the electrode wire impulse feeding at mechanized arc welding and facing. Lebedev V. A. P. 11—15.

Timing performances mathematical formulation of the electrode metal droplet formation is covered at the electrode wire impulse feeding. Procedure of obtaining quite simple equations which determine change of drop size timing performances dependence on the physical characteristics of the electrode metal melting process is developed. Calculation examples of the welding process concrete characteristics and electrode wire feeding to obtain droplets of the prespecified sizes are given. Derived mathematical model may be used in design practice and at solving technological problems of electrode metal controllable transfer.

Analysis of joining formation at electrocontact wire overlaying (welding). Nafikov M. Z., Zaguirov I. I. P. 15—20.

A welded joint formation is studied at worn-parts reclamation by filler wire electrocontact overlaying (welding). It is shown that welded strength may be judged by the axial deformation of the filler wire. Mathematical model is developed which allows for computing dimensions of the contact areas where welded joints are formed. Mathematical model of the process allows for tracing formation kinetics of the welded joint overlay and base of the part. Carried out investigations may be used at restorative process design for components of the shaft type.

Covered-electrode multiarc facing. Meister R. A., Meister A. R., Bezrukikh A. A. P. 21—23.

Studies of multielectrode manual facing by d.c. arc and three-phase arc are carried out. It is established that in case arc is supplied by a single-phase rectifier with condensing voltage multiplier and at facing by triangle-arranged three electrodes of 2 mm in diameter, the base metal portion in the added one is 5—6 per cents, sputtering loss is 3—4 per cents and capacity is 0,42 kg per hour; at facing by three rust-resisting steel electrodes of 3 mm in diameter the base metal portion is 3—5 per cents.

At facing by three electrodes of 3 mm in diameter and current of 130 A the base metal portion in the added one increases up to 33 per cents, capacity is 1,8 kg per hour. Current rampdown to 60 A reduces penetration, but worsen base metal wettability by the penetrated one.

Resistance spot and projection welding application at manufacturing thermoelements for automatic cut-outs. Demchenko A. I., Rafalsky A. S. P. 23—26.

Results of research work on resistance spot and projection welding application to join thermobimetalic plates to clinchers at manufacturing thermoelements for automatic cut-outs of the BA-57 Series are described. Welding application instead of standard soldering upgrades joining quality and ensures affordability.

Tungsten alloy ВНЖ 95 diffusion welding features. Lyushinsky A. V., Malinov V. I., Kachalin N. I., Baranov G. V. P. 26—28.

Possibility of conducting tungsten alloy ВНЖ 95 diffusion welding through activating interlayer of optimal composition and structure is studied, as well as formation kinetics of the diffusive joint. It is established that usage of a porous band from super dispersed nickel powder as an interlayer provides formation of a qualitative welded joint, optimal parameters of welding are specified.

Manufacturing capability for kaprolon B ultrasonic sealing. Volkov S. S. P. 29—35.

Ultrasonic welding special features of part from kaprolon B are considered. It is established that mechanism of kaprolon B welded joint formation occurs according to schemata either "primary penetration" of one component into another or "primary reflow" of grooving nib.

Kaprolon B welding conditions optimal parameters are established which provide welded strength. It is shown that grooving brings welding process intensification, and in some cases it is the only technique to obtain welded joints of hard to weld plastic materials. Kinetic mechanism of weld formation is given.

Gas-thermal coating in machine components strengthening and reconditioning processes: A Review. Part 3: Electroarc and high-frequency inductive sputtering. Mchedlov S. G. P. 35—39.

Electroarc and high-frequency inductive sputtering techniques of coating are described, as well as equipment and materials applied. Main processes performance criterion are covered. A conclusion is drawn on the reserves availability to increase sputtering technique effectiveness.

О. И. Стеклову – 75 лет

Исполнилось 75 лет известному ученому, президенту РНТСО, заслуженному деятелю науки и техники РФ, профессору, д-ру техн. наук Олегу Ивановичу Стеклову.

О. И. Стеклов родился 23 июля 1933 г. в селе Нушполы Талдомского района Московской области. В 1957 г. окончил МВТУ им. Н. Э. Баумана с дипломом инженера-механика по специальности "Оборудование и технология сварочного производства". Работал мастером и ведущим технологом Свердловского завода "Углемаш". После окончания аспирантуры МВТУ им. Н. Э. Баумана с 1963 г. работал в МВТУ ассистентом, доцентом, профессором.

С 1981 по 2007 гг. — заведующий кафедрой "Производство газонефтехимической аппаратуры" МИНХ и ГП им. И. М. Губкина (в настоящее время кафедра "Сварка и защита от коррозии"). С 1985 по 1998 г. – декан факультета инженерной механики.

О. И. Стеклов в 1964 г. защитил кандидатскую диссертацию "Исследование свойств сварных соединений титановых сплавов применительно к условиям работы в агрессивных средах", в 1972 г. – докторскую диссертацию "Стойкость сварных соединений и конструкций против коррозии в напряженном состоянии". Под его руководством проведены исследования по разработке и промышленному внедрению сварки объектов ответственного назначения, их защите от воздействия коррозионно- и экологически опасных сред, включая конструкции из специальных сталей, титановых и циркониевых сплавов, крупногабаритные оболочковые конструкции из сталей нефтегазохимического сортамента.

О. И. Стеклов – автор более 400 научных трудов, в том числе 33 монографий, учебников, учебных пособий, брошюр и 65 изобретений и патентов. Под его руководством защищены 60 кандидатских и 15 докторских диссертаций, в том числе соискателей из зарубежных стран.

О. И. Стеклов ведет большую научно-организационную работу: с 1995 г. – президент РНТСО, член Управляющего совета МИСа, с 1981 по 1992 гг. – председатель секции сварки НТС Минхиммаша СССР, с 1996 г. – сопредседатель секции сварки и собственного машиностроения НТС Госстроя РФ, член секций НТС акционерных обществ "Газпром", "Стройтрансгаз", "Роснефтегазстрой", "Спецнефтегаз", член жюри Союза научных и инженерных обществ по присуждению дипломов им. В. Г. Шухова и "Инженер года". О. И. Стеклов – заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Международной академии наук высшей школы, член Нью-Йоркской академии наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, дважды лауреат Премии им. акад. И. М. Губкина, удостоен диплома Минвуза СССР за лучшую научную работу, награжден нагрудным знаком Минвуза "За отличные успехи в работе", нагрудным знаком "Отличник газовой промышленности", дипломом "Почетный работник газовой промышленности", медалями "Ветеран труда", "В память 850-летия Москвы".

Олег Иванович уделяет большое внимание пропаганде здорового образа жизни. В течение ряда лет был членом комиссии по здоровью нации газеты "Советская Россия", активным участником и организатором героико-патриотических пробегов, походов по местам боевой славы. Награжден почетными грамотами ЦК ВЛКСМ, Спорткомитета СССР, Советского комитета ветеранов войны, мастер спорта СССР по лыжам, многократный чемпион Москвы, России, мира в своей возрастной группе.

Сердечно поздравляем Олега Ивановича с юбилеем, желаем здоровья, счастья и дальнейших творческих успехов!

РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина,
НПО "Мидасот",
ОАО "ВНИИАВТОГЕНМАШ",
РНТСО,
редколлегия и редакция журнала
"Сварочное производство"

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 16.06.2008. Подписано в печать 18.07.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага мел. имп. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 10,43. Заказ 15/08.

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".