



Сварочное производство

10 (875)
Октябрь
2007

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

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

Редакционная коллегия:

Гл. редактор В. А. Казаков

Зам. гл. редактора Н. В. Посметная

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

Редакция:

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

Электронная верстка: Т. А. Шацкая
Дизайн обложки: Е. С. Благовидов
Редактор-переводчик О. О. Егорова
Редактор-обозреватель Ан. А. Суслов
Корректор М. Г. Джавадян

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.
Для корреспонденции:
129626, Москва, а/я 78,
ОАО "Издательство "Машиностроение"
(для журнала "Сварочное производство").
Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;
редакция — (495) 682 3856.

Факс: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

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

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

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

В случае обнаружения полиграфического брака ре-
дакция журнала просит обращаться в типографию.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств массо-
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-7778.

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

За содержание рекламных материалов ответствен-
ность несет рекламодатель.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Феклистов С. И. — Статистический термодинамический анализ структурного со-
става сварных соединений аустенитных сталей _____ 3
- Калин Б. А., Мамедова Т. Т., Федотов В. Т., Севрюков О. Н., Исаенкова М. Г.,
Перлович Ю. А., Тимошин С. Н., Синельников Л. П., Кузнецов В. Р. — Пай-
ка сплавов циркония аморфным быстрозакаленным ленточным припоем _____ 10
- Матвеев Н. В. — Механизм формирования единичного участка вакуумного не-
сплошного покрытия _____ 15

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Федянин В. С. — Применение порошкообразных прослоек при контактной свар-
ке металлов с высокой электропроводностью _____ 20
- Левин Э. Л., Сайфуллин Р. Н. — Особенности электроконтактной приварки
стальной ленты к нормализованным и цементованным деталям _____ 23
- Штрикман М. М. — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных
соединений (обзор). Ч. 2. Совершенствование инструмента и технологических
схем сварки _____ 25
- Степанов Ю. А., Вахрушев О. В., Трофимова А. Н. — Влияние защитных по-
крытий на свойства сварных соединений _____ 33
- Мчедлов С. Г. — Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восста-
новления деталей машин (обзор). Ч. 1. Газопламенное и детонационное напы-
ление _____ 35

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Голов Р. С. — Конкурсные закупки как барьер реализации потенциала энергосбе-
режения в бюджетной сфере _____ 46

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Бирюкова Н. П., Батов Г. П., Котова И. Н. — Программа подготовки и сертифи-
кации специалистов по определению напряженно-деформированного состоя-
ния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений _____ 50

ИНФОРМАЦИЯ

- Иванов А. Н. — Российский национальный промышленный форум "Промышлен-
ные технологии для России" _____ 52

БИБЛИОГРАФИЯ

- Содержание зарубежных журналов по сварке _____ 59
- Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства
и патенты СССР на изобретения в области сварки _____ 60
- Рефераты опубликованных статей _____ 62



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

*Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Energetics,
RF Ministry of Education and Science,
Russian Engineering Academy,
Russian Union of Developers and Manufacturers of Welding Production*

Editorial board:

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

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

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 of the editorial office:

Prospekt Mira, 106, Moscow.

For correspondence:

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

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

Fax: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

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

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

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

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at re-print is obligatory.

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

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

Registration certificate ПИ N 77-7778.

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

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Feklistov S. I.** — Statistical thermodynamic analysis of the austenitic steel welded joints structural makeup _____ 3
- Kalin B. A., Mamedova T. T., Fedotov V. T., Sevryukov O. N., Isayenkova M. G., Perlovich Yu. A., Timoshin S. N., Sinelnikov L. P., Kuznetsov V. R.** — Zirconium alloys soldering by amorphous quick-quenched belt solder _____ 10
- Matveyev N. V.** — Vacuum non-continuous coating single area formation mechanism _____ 15

PRODUCTION SECTION

- Fedyanin V. S.** — Usage of powder-like interlayers at contact welding of high-electro-conductive metals _____ 20
- Levin E. L., Sayfoollin R. N.** — Special features of steel belt electrocontact welding to standard and cemented components _____ 23
- Shtrikman M. M.** — State and progress of the leaner joints friction welding process: A Review. Part 2. Upgrading of tooling and welding process flowsheet _____ 25
- Stepanov Yu. A., Vakhrushev O. V., Trofimova A. N.** — Protective coatings effect on the welded joints' properties _____ 33
- Mchedlov S. G.** — Gas-thermal coating in machine components strengthening and re-conditioning processes: A Review. Part 1. Flame and explosion spraying _____ 35

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Golov R. S.** — Formal advertising as a barrier to realization of energy-saving potential in budgetary process _____ 46

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Biryukova N. P., Batov G. P., Kotova I. N.** — Training and certification programme for the specialists in deflected mode determination and residual life evaluation of technical machines and equipments _____ 50

INFORMATION

- Ivanov A. N.** — The Russian national industrial forum "Industrial technologies for Russia" _____ 52

BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding _____ 59
- RF patents**, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____ 60
- Abstracts** of the published articles _____ 63

**С. И. ФЕКЛИСТОВ, д-р техн. наук
ОАО НПО "ЦНИИТМАШ"**

Статистический термодинамический анализ структурного состава сварных соединений аустенитных сталей

При выборе и разработке аустенитных сталей и сварочных материалов, особенно при различном легировании основного металла и металла шва, необходимо знать характер образования и химический состав карбидов, интерметаллидов, оксидов, нитридов и других выделений, образующихся в металле сварного шва. Характер их образования связан с химической микронеоднородностью состава материалов, формируемых в неравновесных условиях в процессе кристаллизации металла шва при сварке плавлением. По своему химическому составу аустенитные стали являются многокомпонентными, что способствует протеканию сложных диффузионных процессов в металле при его нагреве, кристаллизации и охлаждении.

Как правило, особенности диффузионных процессов в сложных металлических системах при сварке и температурной выдержке исследуют с позиций классической термодинамики и расчетно-экспериментальной оценки диффузионных процессов на основе законов Фика. Термодинамические характеристики оксидов, карбидов, нитридов, интерметаллидов и других избыточных фаз не всегда могут быть определены, поскольку значения энтропии и энтропии сложных ве-

ществ во многих случаях неизвестны. Затруднения расчетного порядка имеют место и при исследовании диффузионных процессов, особенно в многокомпонентных металлических системах, где коэффициенты диффузии элементов в зависимости от характера легирования также во многих случаях не определены.

Другой подход, предложенный в работах [1, 2], основан на понятии статистической термодинамики о флуктуации концентрации элементов при образовании зародышей избыточных фаз. Впервые развитый из представлений кинетической теории газов флуктуационный анализ нашел применение в физическом металловедении при рассмотрении вопросов теории кристаллизации и механизма атомного старения сталей и сплавов.

Понятие о взаимосвязи флуктуации атомов с диффузией в металлических системах позволило использовать данный метод для анализа возможности образования фаз в процессе полиморфного превращения и температурного старения в зависимости от начальных и конечных концентраций элементов [3].

Трактовка механизма старения сталей с позиций статистического термодинамического анализа обратимых процессов, а так-

же ее экспериментальное подтверждение на углеродистых и хромистых сталях позволяют развить основные теоретические положения о характере выделения избыточных фаз в коррозионно-стойких сталях и их сварных соединениях.

Согласно исходным положениям статистического термодинамического анализа, образование новой фазы, отличающейся по химическому составу от основного твердого раствора, описывается уравнением Пуассона

$$P = \frac{\varepsilon^j e^{-\varepsilon}}{j!}, \quad (1)$$

где ε , j — среднее и конечное количество атомов (молекул), приходящееся на 1 см^3 твердого раствора соответственно.

Вероятность, определяемая по формуле (1), не зависит от ориентации и формы объема в пространстве, хотя время образования флуктуации является функцией этих величин. Условия, при которых закон Пуассона полностью выполняется, формулируются следующим образом:

— вероятность попадания одного или нескольких атомов элемента в малый участок объема не зависит от числа атомов в других участках;

— любой атом в выделенном подобном участке объема распо-

лагается случайно, независимо от остальных атомов [2].

Первое условие для металлических материалов при высоких температурах полностью соблюдается; второе — дает хорошее приближение и высокую точность при большом числе повторений и малых значениях вероятности.

Дальнейшие представления будут основаны на том, что величина стабильного существования зародыша, образующегося в результате флуктуации при кристаллизации, составляет 300—1000 атомов [4—6].

Если гетерофазные флуктуации представляют частицы-кубы или частицы линейных размеров, перемещение вакансий может достигать расстояний, соизмеримых с величиной самих частиц. Для гетерофазных превращений в твердом состоянии область существования стабильных флуктуационных участков может быть гораздо меньше (13—20 атомов).

Применяемый статистический термодинамический анализ основан на наиболее приемлемом, исходя из физического состояния металлических систем, распределении Пуассона [4, 7, 8]. Из-за коэффициента $j!$ в знаменателе формулы (1) величина вероятности очень быстро убывает, когда j становится большим. Если $\varepsilon < 1$, то ε^j есть убывающая функция и вероятность монотонно убывает с ростом j . При $\varepsilon > 1$ величина ε^j растет с увеличением j . В результате множитель $\varepsilon^j/j!$, а значит, и вероятность проходят через максимум вблизи $\varepsilon = j$ и уменьшаются с дальнейшим ростом конечной концентрации. В любом случае, когда j значительно превосходит ε , вероятность становится очень малой. Именно этот случай, а также $\varepsilon > 1$ (поскольку вычисления производят в атомных процентах в расчете на 100, 1000, 10 000 атомов и т. д.), является основным во всех последующих выкладках.

Вероятность образования зародышей новой фазы в металле связана с увеличением термодинамического потенциала или свободной энергии системы. Классическая термодинамика не дает объяснения подобного рода процессам, удаляющим систему от состояния равновесия, и описание закономерностей образования и роста зародышей новой фазы становится возможным только с учетом основных положений теории флуктуации, других закономерностей статистической термодинамики обратимых процессов и теории кристаллического строения материалов [9, 10]. Самый распространенный пример статистического представления термодинамической характеристики связан с определением энтропии смешения в уравнении свободной энергии системы [3].

Зная концентрацию элементов на определенном ограниченном участке, можно определить энтропию этого процесса. В случае образования зародыша он энергетически отличается от среднего состояния всей массы раствора. Для этого необязательно, чтобы в нем присутствовало включение в виде примеси или подложки с измененным составом, близким к составу будущей фазы. Для наиболее простого получения ее состава путем местной перестройки решетки необходимо, чтобы данный микроучасток твердого раствора замещения еще до момента перестройки имел состав новой фазы. При этом должно произойти перераспределение концентрации в отдельных участках раствора еще в тот период, когда кристаллов новой фазы нет. Такая ситуация предполагает отсутствие термодинамически обоснованной направленности потока атомов растворенного вещества к определенным участкам и повышения локальной концентрации элементов или, наоборот, понижения их

концентрации в определенном объеме. Эти явления могут происходить в порядке статистических миграций атомов или концентрационной флуктуации [11, 12].

Поскольку рост кристаллита состоит из последовательного многократного отложения двумерных зародышей на гранях трехмерного зародыша, в основе явления лежит процесс создания зародышей новой фазы. Подобный подход может иметь место для процессов, в результате которых состав твердой фазы совпадает с составом затвердевающей жидкости, или происходит при образовании однородных химических соединений.

Исходя из зависимости (1) введем понятие начального термодинамического состояния твердого раствора изучаемых материалов:

$$P = \frac{\varepsilon^j e^{-\varepsilon}}{j!} \quad \text{при } \varepsilon = j. \quad (2)$$

Под исходным химическим составом материала примем состав твердого раствора материала или пределы содержания химических элементов по ТУ или ГОСТу на основной или наплавленный металл. Таким образом, ε, j — начальные и конечные концентрации элементов (ат. %) могут отличаться, но эти изменения незначительны и их флуктуации малы по сравнению с изменениями всего состава при образовании фаз. При подобной оценке минимальная вероятность образования устойчивого зародыша микрокросегрегата размером от 100 до 1000 атомов составляет 10^{-21} — 10^{-20} в 1 см³ для аустенитного металла.

Для наплавленного или основных материалов по формуле (2) определяется флуктуация элементов в пределах химического состава по ТУ. Так, для твердого раствора состава типа стали 08X18H9 многомерная вероятность образования близка к 10^{-4} .

Количество участков с заданной концентрацией по каждому элементу определяется зависимостью

$$N_f = N_0 P,$$

где N_f — количество участков с заданной концентрацией элементов; N_0 — количество участков любой концентрации в 1 см^3 металла; P — вероятность образования зародыша с заданной концентрацией.

Для зародыша величиной 100 атомов N_0 в аустенитной матрице составляет $8,86 \cdot 10^{20} \text{ 1/см}^3$, для 1000 атомов — $0,9 \cdot 10^{20} \text{ 1/см}^3$.

Можно показать, что образование участков химической микронеоднородности имеет экстремальный характер и максимальная вероятность соответствует исходному химическому составу стали или металла шва. В процессе образования участка химической микронеоднородности происходит как флуктуация обогащения, так и обеднения концентрации элемента, причем уменьшение содержания элемента в участке происходит более интенсивно по сравнению с обогащением.

Поскольку приблизительные температурные зависимости коэффициента диффузии для многих элементов в различных сталях определены, скорость образования флуктуаций можно связать с температурой, величиной участка и любым отклонением от заданного исходного химического состава материала.

Следует отметить, что точное представление о величине равновесного зародыша и коэффициента диффузии для сложнелегированных составов, какими являются составы аустенитного металла шва, сталей и сплавов, отсутствует. Поэтому аналитически представить скорость выделения зародышей крайне сложно. Вместе с тем, основываясь на преобладающем характере изменения концентраций элементов в выде-

ленном микроучастке, можно приблизительно вычислить скорость выделения флуктуационных зародышей с помощью многомерного распределения Пуассона.

Скорость образования участков с измененным химическим составом по сравнению с твердым раствором с учетом флуктуации элементов в твердой фазе и температурной зависимости коэффициента диффузии определяется следующим выражением:

$$v_T = \frac{N_0 P_j^\varepsilon 8(J + \varepsilon)^2 D_T}{\pi h^2}, \quad (3)$$

где N_0 — количество атомов в зародыше любого химического состава твердого раствора или образующейся фазы в 1 см^3 объема; P_j^ε — вероятность образования зародышей твердого раствора в 1 см^3 объема; ε , J — конечное и начальное содержание (ат. %); D_T — коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$; h — величина участка зародыша, см.

Определение количества участков N_f обычно производят в расчете на 1 см^3 . При определении максимальной величины участков с начальной и конечной концентрацией атомов необходимо учитывать объем, в котором возникают флуктуационные изменения. Поскольку они происходят в $1/\text{с}$ молей объем для $\varepsilon_{\max}$ и $J_{\max}$ определяется отношением $1/N_f$ (см^3). Таким образом, для частиц размером в 100 атомов в системе Ni — Эл или Fe_γ — Эл (Эл — легирующий элемент) начальное их количество соответствует приблизительно 10^{21} ; для 1000 атомов — 10^{20} . Следовательно, одна частица с флуктуацией элементов до заданной концентрации в объеме 1 см^3 может появиться при вероятности, равной 10^{-21} или 10^{-20} соответственно. Принимая эти вероятности за основу, можно определить какие начальные или конечные концентрации элементов приводят к образованию различных фаз или структур-

ных выделений и сравнить их между собой или с экспериментальными значениями, полученными с помощью различных методов физико-химического анализа.

Поскольку изменение распределения Пуассона на много порядков может превосходить изменение коэффициента диффузии от температуры, следует считать влияние флуктуации химического состава от начальной до конечной концентрации в микроучастке определяющим. Учитывая сложный состав основного металла и металла сварных соединений коррозионно-стойких сталей, применение многомерного распределения Пуассона при анализе структурных изменений дает сложную картину фазового состояния выделенного микроучастка. Кинетику образования таких участков для каждого состава металла следует рассматривать отдельно в зависимости от конкретной практической задачи.

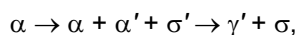
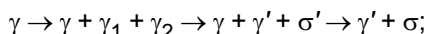
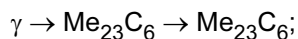
В данной работе оценивали характер структурных выделений в коррозионно-стойких сталях и наплавленном металле в зависимости от содержания в них легирующих элементов.

Химический состав материалов приведен в таблице.

Стали 08X18H10T, 12X18H10T, 12X18H12T, 08X18H9, 03X16H9M2, 06X16H11M3 широко применяют в качестве конструкционных материалов в теплоэнергетике, химическом и атомном энергетическом машиностроении. Незначительное количество феррита в литой структуре аустенита обеспечивает хорошую свариваемость и технологичность при производстве сложных и ответственных конструкций, а относительно прочная и пластичная матрица твердого раствора аустенита позволяет эксплуатировать эти стали и их сварные соединения длительное время при температуре до 650°C [12—14].

Материал	Содержание элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	S	P
Основной металл — сталь 12X18H10T	0,1	0,68	1,45	18,8	11,3	—	1,15	—	0,009	0,011
Основной металл — сталь 08X18H9	0,08	0,46	1,35	17,85	9,45	—	0,010	—	0,008	0,010
Основной металл — сталь 03X16H9M2	0,03	0,21	1,22	16,07	10,37	2,05	—	—	0,010	0,007
Основной металл — сталь 06X16H11M3	0,063	0,53	1,39	16,53	11,4	2,7	—	—	0,009	0,009
Основной металл — сталь 12X18H12T	0,13	0,55	1,21	18,7	12,4	—	0,51	—	0,007	0,010
Наплавленный металл — 06X17H10M2	0,06	0,42	1,76	18,5	9,8	1,4	—	—	0,008	0,011
Наплавленный металл — 03X16H9M2	0,024	0,29	1,46	16,9	8,4	2,23	—	—	0,014	0,011
Наплавленный металл — 04X19H11M3	0,056	0,58	1,38	18,7	11,6	2,5	—	—	0,011	0,016
Наплавленный металл — 1X19H10Г2Б	0,09	0,48	1,73	19,2	9,5	—	—	0,82	0,015	0,030

В состоянии после аустенизации деформируемые стали имеют структуру аустенита с выделениями карбидов хрома типа $Me_{23}C_6$ (Me_7C_3) преимущественно по границам зерен и мелкодисперсных карбонитридов или нитридов титана в матрице и по границам зерен. В результате воздействия термического цикла сварки в ОШЗ основного металла появляются выделения феррита. Феррит также содержится в литой структуре металла шва. При сварке данных сталей подобную структуру также имеет металл шва, выполненный сварочными материалами типа 06X17H10M2, 03X16H9M2, 04X19H11M3 и 08X18H9Г2Б. Дополнительно в структуре появляются карбиды ниобия, сложные карбиды хрома и марганца, а также молибдена. Структурные составляющие в виде оксидов, сульфидов, фосфидов не рассматриваются. В процессе высокотемпературных выдержек происходит трансформация исходных структурных составляющих по различным схемам:



где γ — исходные участки аустенита; γ_1 — участки микронеод-

нородности с пониженной концентрацией ферритообразующих элементов; γ_2 — участки обогащенные элементами, составляющими основу σ -фазы; σ' — промежуточная фаза между γ и σ ; γ' — участки аустенитных зерен вокруг σ -фазы или феррита, обогащенные никелем; α — исходные участки феррита; α' — участок микронеоднородности, более близкий матрице аустенита, чем феррита; σ' — участок, по химическому составу близкий σ -фазе.

Флуктуационный статистический анализ позволяет произвести сравнительную оценку подобных структурных превращений исходя из исходного химического состава материалов. С целью упрощения, а также из-за отсутствия экспериментальных данных

по составу промежуточных фаз приняты прямые схемы превращения типа $\gamma \rightarrow Me_{23}C_6$ и $\alpha \rightarrow \sigma$.

Содержание феррита во всех исследованных материалах составляло 1—4 %. Используя многомерное распределение Пуассона, рассчитали вероятность образования зародышей карбидов хрома, титана и ниобия непосредственно из твердого раствора (рис. 1). Схема расчета включала объем включений 10^3 , 10^4 атомов с последующей интерполяцией до 10 атомов. Для наплавленного или основных материалов определенная по формуле (2) вероятность P_j^e флуктуации элементов в пределах химического состава по ТУ или при $\varepsilon = j$ невелика и для состава типа 08X18H9 она близка к 10^{-4} .

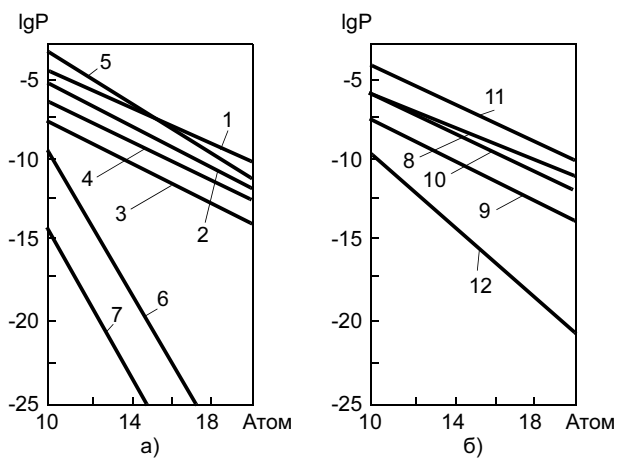


Рис. 1. Вероятность образования зародышей карбидов $Cr_{23}C_6$ (1—5, 8—11), TiC (6, 7), NbC (12) из твердого раствора сталей (а) и металла сварных швов (б): 1, 6 — 12X18H10T; 2 — 08X18H9; 3 — 03X16H9M2; 4 — 06X16H11M3; 5, 7 — 12X18H12T; 8 — 06X17H10M2; 9 — 04X16H9M2; 10 — 04X19H11M3; 11, 12 — 1X19H10Г2Б

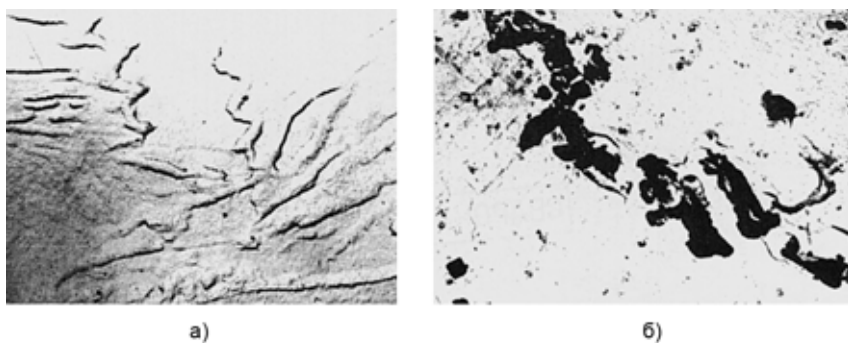


Рис. 2. Структура ЗТВ сталей 03X16H9M2 (а) и 08X18H9 (б). $\times 5000$

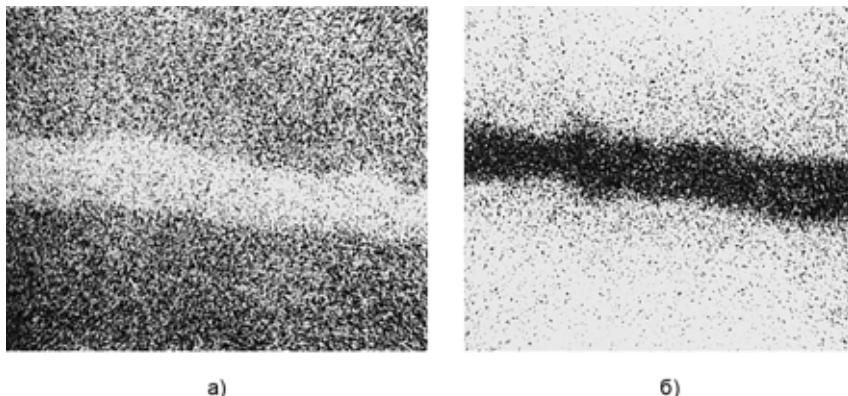


Рис. 3. Растровые изображения феррита в ЗТВ стали 12X18H9Т в рентгеновском излучении хрома (а) и никеля (б). $\times 4000$

Форма представления данных флуктуационного анализа приведена ниже. В логарифмических координатах она представлена рядом наклонных прямых; крайней правой верхней прямой соответствует наибольшая вероятность появления участка химической микронеоднородности и его максимальная величина. Например, для стали 12X18H10Т вероятность возникновения карбида хрома на 1000 атомов определяется выражением

$$P_k = C_5^{200} Cr_{190}^{800} Si_{14}^0 Ti_{13}^0 Ni_{113}^0 Mn_{15}^0.$$

Поскольку наиболее значимыми являются концентрации углерода и хрома, они и определяют в конечном итоге возможность образования карбидов хрома. Наименее возможно образование карбидов хрома в низкоуглеродистых аустенитных сталях 03X16H9M2 и

сварных швах типа 03X16H9M2. Более велика вероятность их образования в сталях 12X18H10Т, 12X18H12Т и металле сварных швов, выполненных электродами 1Х19Н10Г2Б и 06Х17Н10М2. Появление карбидов титана или ниобия значительно уступает возможности образования карбидов хрома.

Результаты вычислений могут быть уточнены при знании химического состава карбидов для каждого состава металла, полученного химическим анализом выделенных осадков. В данном случае расчет выполняли исходя из стехиометрического соотношения хрома и углерода. Качественно полученные данные были подтверждены металлографическим анализом. В ЗТВ стали 03X16H9M2 матрица аустенита и границы зерен почти не содержат карбидов, в то время как в ЗТВ стали 08X18H9 таких карбидов

хрома много (рис. 2). В работе¹ [15] подробно исследованы особенности структурных изменений в аустенитных сварных соединениях с различным содержанием углерода.

Из этих данных следует, что более пластичная матрица низкоуглеродистого аустенита в сварных соединениях стали 03X16H9M2 обеспечивает более высокую деформационную способность металла при температурах выше 470 °С по сравнению со сталью 08X18H9.

В технологическом плане это позволяет применять большую степень деформации сварных соединений низкоуглеродистой стали в процессегиба и штамповки и производить термическую обработку при более низких температурах по сравнению с остальными исследованными материалами и их сварными соединениями.

Незначительное содержание феррита в пределах 1—4 % свойственно как металлу шва, так и ЗТВ всех исследованных сталей. Морфологически выделения феррита в ОШЗ основного металла, нагретой до высоких температур, имеют вид плоских вытянутых включений, в то время как в металле шва они представляют собой включения глобулярной формы (рис. 3, 4). По данным микро-рентгеновского анализа, при содержании хрома 17,2 % в стали 03X16H9M2 и 18,6 % в стали 08X18H9 их содержание в феррите соответственно достигает 23 и 28 %. Содержание остальных элементов (%): 0,21 Si; 1,2 Mn; 10 Ni; 2 Mo (матрица — сталь 03X16H9M2); 0,5 Si; 1,4 Mn; 9,3 Ni (матрица — сталь 08X18H9). Содержание элементов в феррите (%): 0,8 Si; 1 Mn; 6 Ni; 2,3 Mo (матрица — сталь 03X16H9M2); 2 Si; 0,8 Mn; 7 Ni (матрица — сталь 08X18H9).

¹ Выполнена совместно с Е. К. Смирновой.

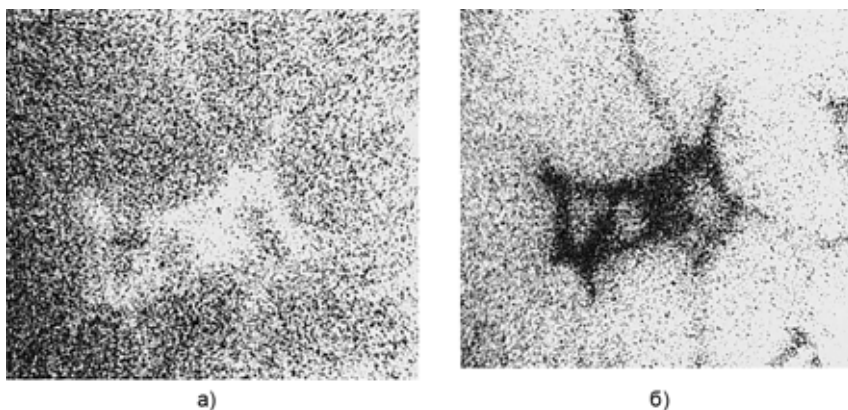


Рис. 4. Растровые изображения феррита в металле шва типа 04X19H11M3 в рентгеновском излучении хрома (а) и никеля (б). $\times 4000$

Характерное повышение ферритообразующих элементов в феррите, в первую очередь хрома, делает термодинамически более вероятным появление карбидов на этих участках. Имея данные об изменении содержания элементов, можно произвести оценку вероятности образования феррита из твердого раствора (рис. 5). После перевода в атомные проценты, используя многомерное распределение Пуассона, получим следующие выражения:

для стали 03X16H9M2

$$P_j^{\delta} = C_{170}^{230} Si_4^{16} Mn_{120}^{100} Ni_{100}^{60} Mo_{12}^{16} = 10^{-19};$$

для стали 08X18H9

$$P_j^{\delta} = C_{190}^{290} Si_8^{32} Mn_{140}^{120} Ni_{93}^{70} = 10^{-26}.$$

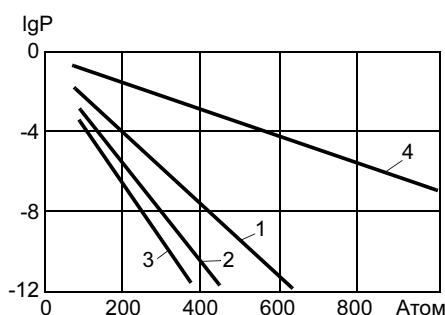


Рис. 5. Сравнительная вероятность образования феррита из твердого раствора сталей 03X16H9M2 (1) и 08X18H9 (2), σ -фазы из феррита в сталях 03X16H9M2 (3) и 08X18H9 (4)

При заданных составах сталей появление феррита из аустенита состава 03X16H9M2 более вероятно по сравнению с составом 08X18H9. В то же время преобразование феррита в σ -фазу (28 % Cr, 4 % Ni и 12 % Mo) в стали 03X16H9M2 происходит гораздо медленнее, чем в стали 08X18H9. Остановимся на этом факте подробнее.

Расчет флуктуации концентрации показывает относительную вероятность скопления атомов отдельных элементов для получения концентрации, соответствующей вновь образованной σ -фазе. При этом необходимо учитывать не только скопление атомов хрома на данном участке, но и уход атомов никеля оттуда. Для 100 атомов условно схему образования σ -фазы в стали 08X18H9 или аналогичного ме-

талла шва можно представить в виде $18 \text{ Cr}, 8 \text{ Ni} \rightarrow 28 \text{ Cr}, 4 \text{ Ni}$, для основного металла и металла шва — $16 \text{ Cr}, 9 \text{ Ni}, 2 \text{ Mo} \rightarrow 28 \text{ Cr}, 4 \text{ Ni}, 12 \text{ Mo}$. В таком случае участок δ -феррита занимает промежуточное положение по химическому составу между аустенитом и σ -фазой. Сравнивая вероятность ухода никеля и повышения хрома, можно видеть, что они имеют соизмеримую величину. Так, в участке размером 500 атомов необходимое обогащение хромом имеет вероятность $6 \cdot 10^{-7}$, а обеднение никелем — $5 \cdot 10^{-5}$. В результате число флуктуационных зародышей σ -фазы размером по 500 атомов составляет в стали X18H9 $5 \cdot 10^9$ на объем в 1 см^3 .

Результаты расчета (рис. 6) подтверждают особенности влияния отдельных компонентов на формирование охрупчивающей фазы. Из расчета следует, что предельная величина участка σ -фазы, возникающей из твердого раствора стали X18H9, не превосходит 1000 атомов в 1 см^3 . Более мелкие участки существуют в большом количестве (до 10^6 участков при размере в 700 атомов). В металле типа 03X16H9M2, дополнительно легированном молибденом, положение значительно не меняется.

В многомерном распределении Пуассона появляется дополнительный член, связанный с вероятностью флуктуации молиб-

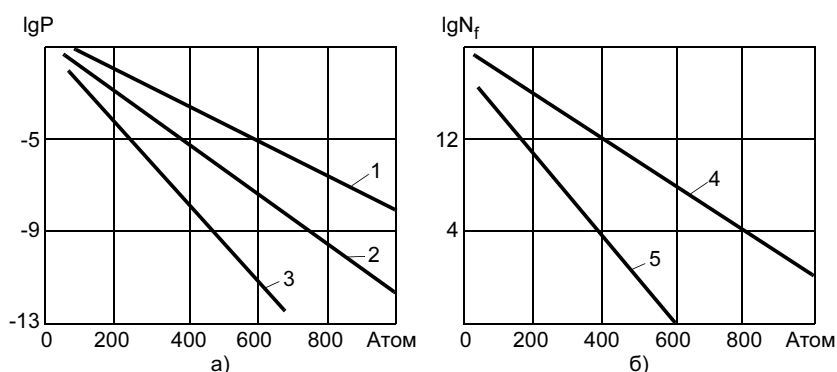


Рис. 6. Зависимость вероятности образования (а) и количества зародышей σ -фазы (б) из твердого раствора от размера участков химической микронеоднородности: 1 — вероятность ухода никеля с участка σ -фазы; 2, 3 — вероятность прихода соответственно хрома и молибдена на участок σ -фазы; 4, 5 — количество флуктуационных зародышей σ -фазы в сталях 08X18H9 и 03X16H9M2 соответственно

дена от 2 до 12 %. Переведа концентрацию в атомные проценты, можно показать, что для участка в 500 атомов вероятность скопления молибдена составляет около $5 \cdot 10^{-10}$, а в ранее выполненном примере — 10^{-14} . Подобные цифры свидетельствуют о том, что увеличить концентрацию молибдена до такой степени трудно. Это равносильно или даже превосходит суммарное флуктуационное воздействие всех остальных элементов, включая хром и никель. Поэтому число флуктуаций σ -фазы при введении молибдена резко уменьшается с $5 \cdot 10^9$ до 2,5 на 1 см^3 . Максимальный размер возможного зародыша также уменьшается с 1000 до 500 атомов. Таким образом, молибден, являясь ферритизатором, входя в состав охрупчивающей фазы, способствует ее образованию [13, 14, 16]. С другой стороны, по результатам проведенного расчета, молибден оказывается элементом, играющим противоположную роль.

Приведенная выше оценка и экспериментально установленный факт, что σ -фаза в стали 03X16H9M2 образуется после 200 000 ч эксплуатации при 650 °С, подтверждают положительный эффект легирования молибденом.

ВЫВОДЫ

1. На основании представлений статистической термодинамики обратимых процессов пред-

лагается следующий прикладной метод флуктуационного анализа для оценки структурных образований на примере сварных соединений коррозионно-стойких аустенитных сталей:

— использование многомерного распределения Пуассона для оценки флуктуационной способности группы элементов образовывать избыточные фазы в твердом состоянии;

— определение граничных условий образования участков химической микронеоднородности в заданном объеме по не скольким элементам;

— введение понятия флуктуации исходного химического состава материала для сравнения с вероятностью образования структурных образований;

— определение количества частиц в заданном объеме в зависимости от их химического состава.

2. Образование сложных карбидов, интерметаллидов, оксидов, шпинелей, нитридов и т. п. в аустенитных сталях и их сварных швах определяется не только содержанием элементов, входящих в состав этих фаз. С позиций флуктуационного анализа не меньшее значение имеют элементы, не участвующие в образовании избыточных включений, но присутствующие в исходном химическом составе материалов. Показано, что роль молибдена как элемента-ферритизатора с

точки зрения образования охрупчивающей фазы может быть не только отрицательной, но и положительной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миркин И. Л. Проблемы теоретического металловедения. М.: МИСиС, Оборонгиз, 1938. Сб. X. С. 38—65.
2. Миркин И. Л. Структура и свойства стали и сплавов. М.: МИСиС, Оборонгиз, 1941. Сб. XVIII. С. 5—158.
3. Уманский Я. С., Финкельштейн Б. Н., Блантер М. Е. Физические основы металловедения. М.: Металлургия, 1949. 591 с.
4. Бокштейн Б. С., Копецкий Ч. В., Швидерман П. С. Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах. М.: Металлургия, 1986. 224 с.
5. Мовчан Б. А. Микроскопическая неоднородность в литых сплавах. Киев: Техническая литература УССР, 1962. 340 с.
6. Чернышева Т. А. Границы зерен в металле сварных соединений. М.: Наука, 1986. 126 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по тематике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 833 с.
8. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Статистическая физика М.: Наука, 1976. 584 с.
9. Коттрел Л. Х. Строение металлов и сплавов. М.: Металлургиздат, 1961. 200 с.
10. Шульце Г. Металлофизика. М.: Мир, 1971. 403 с.
11. Ершов Г. С., Позняк Л. А. Микронеоднородность металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1985. 214 с.
12. Прохоров Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке. М.: Металлургия, 1968. Т. 1. 695 с; 1976. Т. 2. 599 с.
13. Баландин Ю. Ф. Конструкционные материалы АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1984. 280 с.
14. Давиденков П. Н., Паршин А. М. Структура, прочность и пластичность нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов, применяемых в судостроении. Л.: Судостроение, 1972. 88 с.
15. Смирнова Е. К., Феклистов С. И., Буяков А. Л. Исследование структуры оклошовой зоны сварных соединений аустенитных сталей после деформации при высокой температуре // Тр. ЦНИИТМАШ. М., 1990. № 219. С. 52—59.
16. Винокур Б. Б. Жаропрочная сталь. Киев: Наукова думка, 1965. 267 с.

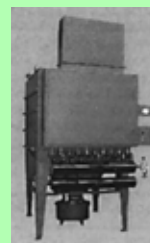
РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Москва, 109147, ул. Марксистская, 5. Тел.: (495) 540 4749, 676 6184, 676 7612



ЭЛСТАТ

15 лет на рынке



электростатические, механические, от сварочных и масляных аэрозолей, абразивной пыли, дымов при пайке, лужении и др., вытяжные устройства, гибкие воздуховоды

Публикуется на правах рекламы

Б. А. КАЛИН, д-р физ.-мат. наук, **Т. Т. МАМЕДОВА**, канд. техн. наук,
В. Т. ФЕДОТОВ, канд. техн. наук, **О. Н. СЕВРЮКОВ**, канд. техн. наук,
М. Г. ИСАЕНКОВА, канд. физ.-мат. наук, **Ю. А. ПЕРЛОВИЧ**, д-р физ.-мат. наук
 (МИФИ — Государственный университет),
С. Н. ТИМОШИН, инж.
 (ЦНИЛ ОАО МСЗ, Электросталь),
Л. П. СИНЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, **В. Р. КУЗНЕЦОВ**, инж.
 (ФГУП ИРМ, г. Заречный)

Пайка сплавов циркония аморфным быстрозакаленным ленточным припоем

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для соединения элементов конструкций ядерных реакторов из сплавов циркония применяют преимущественно контактно-точечную сварку, что обусловлено высокой скоростью процесса и его автоматизацией, обеспечением сплошности, размера и формы изделий, достижением достаточных прочностных характеристик соединений. Однако при сварке могут на-

блюдаться непровары и трещины в ЗТВ, поры и другие дефекты.

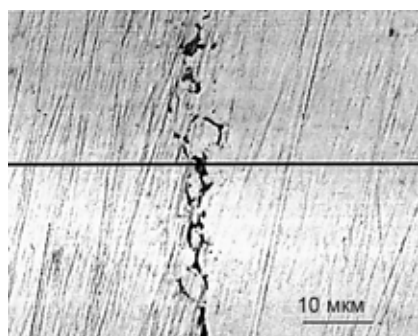
В качестве альтернативной технологии соединения элементов конструкций из сплавов циркония в данной работе предложено использовать пайку. В процессе пайки происходит расплавление припоя, а не основного металла. Снимаются некоторые ограничения на форму и размеры контактных поверхностей (например, при соединении ячеек цир-

кониевых дистанционирующих решеток (ЦДР)), обусловленные размерами электродов контактно-точечной сварки. Кроме того, благодаря пайке по всей высоте ячеек обеспечивается необходимая жесткость решетки и упругость ячеек. Перспективным является применение быстрозакаленного аморфного ленточного сплава-припоя, расплав которого обладает значительно более высокой диффузионной и капиллярной активностью в процессе пайки по сравнению с кристаллическими аналогами [1], что обеспечивает формирование высококачественного паяного соединения.

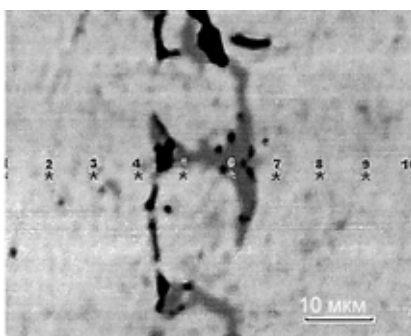
Микроструктура паяных швов сплава Э110 припоями идентичного химического состава в аморфном и кристаллическом состояниях, приведены на рис. 1, 2. Видно, что при использовании аморфного припоя ширина зоны пайки существенно меньше, чем при использовании кристаллического. Наблюдается более равномерное распределение химических элементов как в самом паяном шве, так и прилегающей зоне.

Разработка припоя и режима пайки сплава Э110

За основу при разработке состава припоя взят сплав системы $Zr-Fe-Nb-Sn$ [2–4]. Исходя из требований, предъявляемых к материалам ядерной техники, и

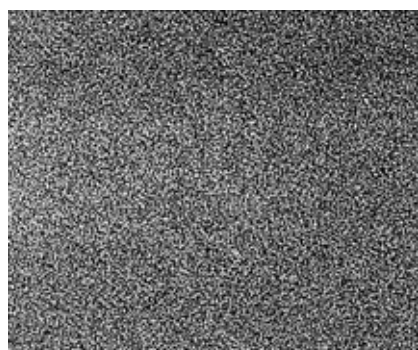


а)

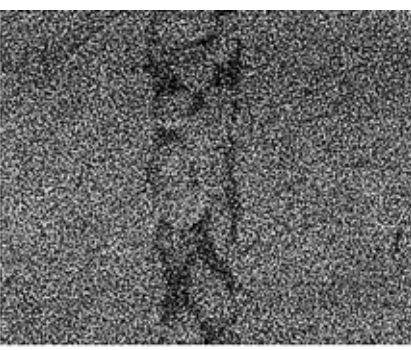


б)

Рис. 1. Микроструктура (в отраженных электронах) паяного шва, выполненного с использованием аморфного (а) и кристаллического (б) припоев системы $Zr-Fe-Be-Nb$ толщиной 40–50 мкм, основной металл — сплав Э110



а)



б)

Рис. 2. Паяные швы, выполненные с использованием аморфного (а) и кристаллического (б) припоев (в лучах характеристического рентгеновского излучения циркония)

условий эксплуатации в качестве легирующих элементов было предложено использовать Be, Cu и Cr. На основании анализа диаграмм состояния [5—7] и результатов высокотемпературного дифференциально-термического анализа, а также результатов экспериментов по быстрому затвердеванию расплава разработан припой¹ СТЕМЕТ® 1410* системы Zr—Fe—Be—Cu—Nb—Sn—Cr [8].

Известно, что термическая обработка (в том числе пайка) циркониевых сплавов не должна приводить к значительным структурно-фазовым изменениям основного металла, вызывающим снижение коррозионной стойкости [9]. Для выбора режима пайки исследовали ячейки ЦДР (из сплава Э110 толщиной $0,25 \pm 0,05$ мм) в исходном состоянии и отожженные в вакууме при температуре 800 °С (режим 1) и 830 °С (режим 2) в течение 2 мин в печи СШВЭ-25 с резистивным нагревом в вакууме не ниже $5 \cdot 10^{-3}$ Па.

Структурные изменения в основном металле при пайке исследовали с помощью рентгеноструктурного анализа. Результаты текстурного анализа образцов приведены на рис. 3. Прямые полюсные фигуры (ППФ) (00.1) и {11.0} поверхностей ячеек ЦДР в исходном состоянии и после термической обработки свидетельствуют о существенном изменении кристаллографической текстуры в результате термической обработки по режиму 2 (см. рис. 3, в), в то время как при обработке по режиму 1 текстура практически не изменяется (см. рис. 3, б).

Значения интегральных текстурных параметров Кернса остаются практически теми же после термической обработки при 800 °С и существенно изменяются при проведении термической обработки при 830 °С. Так, у образца, не подвергнутого термической обработке, $f_R = 0,61$, $f_T = 0,28$ и $f_L = 0,11$; для обработанного по режиму 1 — $f_R = 0,59$, $f_T = 0,28$ и $f_L = 0,12$, а для третьего образца (режим 2) — $f_R = 0,41$, $f_T = 0,36$ и $f_L = 0,23$.

Рассеяние текстуры, происходящее при термической обработке при 830 °С, обусловлено возможностью зарождения α -фазы, ориентационно не связанной с остаточной α -фазой, не претерпевшей $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ фазовых превращений (это возможно только в случае крупных зерен β -фазы и преобладания этой фазы в образце).

Результаты металлографического исследования образцов, термообработанных по режимам 1 и 2, приведены на рис. 4. Полученные данные свидетельствуют о существенном различии структур, наблюдаемых в металле ЦДР, обработанных по разным режимам. При обработке по режиму 1 наблю-

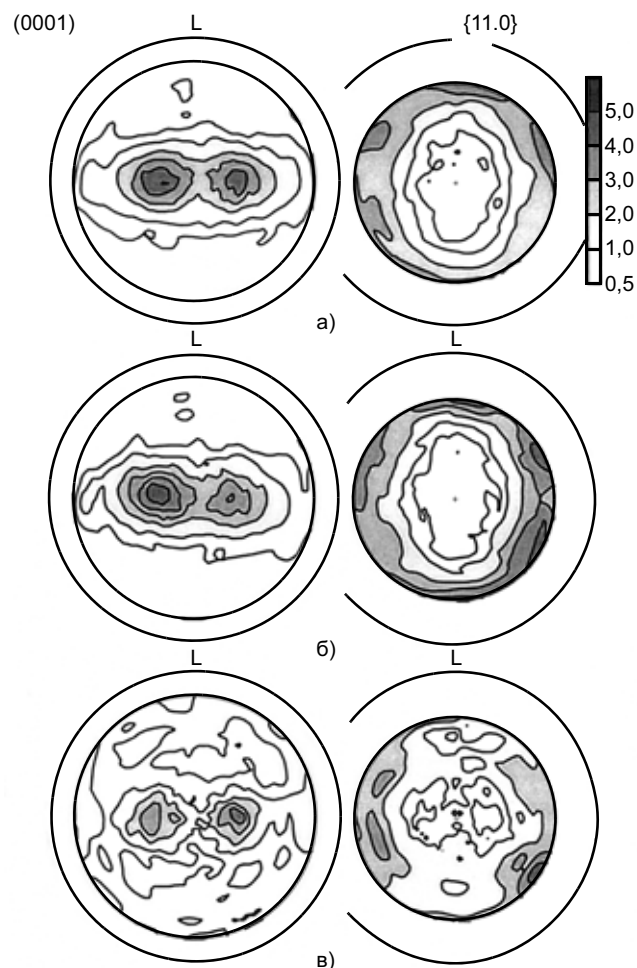


Рис. 3. ППФ (0001) и {11.0} исследованных ячеек ЦДР: а — исходное состояние; б, в — термическая обработка по режимам 1 и 2 соответственно

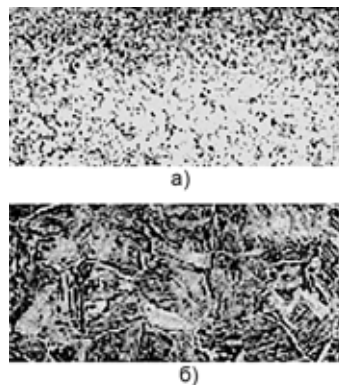


Рис. 4. Микроструктура ($\times 200$) металла исследованных ЦДР, обработанных по режимам 1 (а) и 2 (б)

дается мелкозернистая структура с неразличимым зерном при увеличении, а в образцах, обработанных по режиму 2, — существенное увеличение размера зерна в результате преобладания β -фазы в сплаве при температуре 830 °С. При последующем охлаждении внутри рекристаллизованных зерен β -фазы выделяются колонии $\alpha(\alpha')$ -пластин, ориентация которых определяется соотношением Бюргерса, справедливым для ОЦК-ГПУ превращений: $\{110\} \parallel (0001)$ и

¹ Патент 2252848 (РФ).

* СТЕМЕТ® 1410* — зарегистрированный товарный знак предприятия МИФИ-АМЕТО (www.ameto.nm.ru).

$\langle 111 \rangle$ || $\langle 11.0 \rangle$ [10]. При комнатной температуре (18—20 °С) структура сплава состоит из мелких зерен (пластин) $\alpha(\alpha')$ -фазы, декорированных по границам β -фазой.

Таким образом, при проведении обработки по режиму 1 в металле ЦДР сохраняется кристаллографическая текстура, образовавшаяся при термической обработке β -фаза соответствует закалочной остаточной фазе β -Zr.

При термической обработке по режиму 2 в металле ЦДР происходят следующие изменения: принципиально изменяется структура сплава, которая представляет крупные зерна, декорированные β -фазой и состоящие из колоний пластин α -фазы; в сплаве наблюдаются следы ω -фазы, приводящей к дополнительному упрочнению материала и снижению пластичности [9, 11]. Это сопровождается рассеиванием кристаллографической текстуры, что приводит к изменению анизотропии свойств ЦДР.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что пайка тонкостенных элементов конструкций из сплава Э110 при 800 °С в течение 2 мин не вызывает заметных структурно-фазовых изменений основного металла. Для приведения структуры к более равновесному состоянию предложено ввести в технический процесс пайки отжиг при температуре 580 °С [12].

Пайка ЦДР и исследование свойств паяных соединений

Для исследования свойств и структурно-фазового состояния изготовлены паяные фрагменты, состоящие из двух и трех ячеек, а также опытная партия полномасштабных ЦДР ВВЭР-440. Пайку² ячеек осуществляли в вакуумной печи СШВЭ-25М с резистивным нагревом при 800 °С в течение

2 мин. Перед пайкой на соответствующих гранях ячеек фиксировали ленточный припой методом контактной точечной конденсаторной сварки (рис. 5, а). Затем проводили сборку ячеек в кондукторах (рис. 5, б).

Конструкционную прочность паяных соединений определяли на попарно паяных ячейках на разрывной машине Р-05 по методике ОАО "Машзавод" (г. Электросталь). Основным критерием прочности паяного соединения является характер разрушения. Отрыв по основному металлу свидетельствует о высоком качестве паяного соединения. Усилие отрыва образцов, спаянных аморфными припоями, составляет 520—590 Н, в то время как усилие отрыва сварных соединений — 300—460 Н.

Согласно требованию устойчивости при различных режимах эксплуатации и аварийных ситуациях, паяное соединение должно иметь температуру распайки не ниже 1200 °С (условие стабильности при полной потере теплоносителя — аварии типа LOCA — Loss of Coolant Accident). Специально проведенный эксперимент показал, что паяная зона под нагрузкой не разрушается при температурах до 1250 °С.

Коррозионные испытания двухячеечных сварных и паяных образцов проводили в лабораторных автоклавах вместимо-

стью 1 дм³, снабженных приборами для автоматического поддержания температуры воды при 350 °С и давлении 16,5 МПа по стандартной методике, применяемой в ЦНИЛ ОАО "Машзавод". Коррозионную стойкость оценивали как визуально — по состоянию оксидной пленки, так и металлографически — по ее толщине. Продолжительность испытания составила 6000 ч.

Анализ образцов после коррозионных испытаний показал, что их поверхность покрыта черной оксидной пленкой, в том числе и ОШЗ паяных соединений. Черный цвет оксидной пленки свидетельствует о хорошей коррозионной стойкости материала. На отдельных парах ячеек на торцевой поверхности в зоне пайки после 2000 ч испытания имело место незначительное побеление.

Визуальный осмотр образцов паяных ячеек после 5500 и 6000 ч коррозионных испытаний показал, что оксидная пленка на ячейках имеет черный цвет, в том числе и в зоне пайки. В местах выхода припоя отмечено незначительное наличие белой оксидной пленки.

В результате поглощения водорода, выделяющегося в процессе коррозии циркониевых сплавов, в материале ячеек образуются гидриды циркония. Как известно, количество гидридов и их

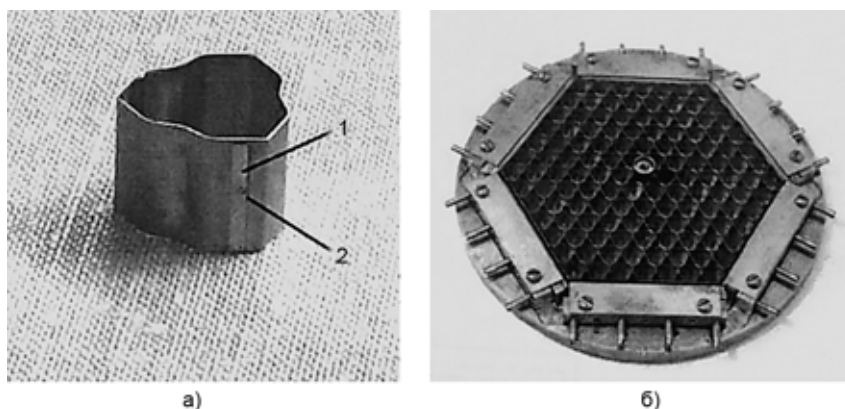


Рис. 5. Ячейка (а) и оснастка (кондуктор) для сборки и пайки полномасштабной решетки (б): 1 — лента припоя; 2 — точка приварки

² Патент 225846 (РФ).

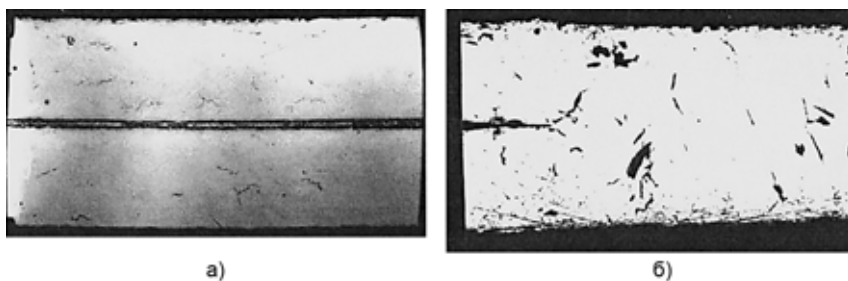


Рис. 6. Микроструктура после 1000 ч коррозионных испытаний: а — паяный шов; б — сварной шов ($\times 100$)

ориентация отрицательно влияют на работоспособность изделий [9]. Так, образование гидридов с преимущественно радиальной ориентацией способствует зарождению трещин и последующему разрушению. На рис. 6, а приведена микроструктура паяной зоны, а на рис. 6, б — ЗТВ сварных ячеек после коррозионных испытаний в течение 1000 ч. Видно, что присутствующие в паяной зоне гидриды имеют преимущественно тангенциальную ориентацию и их размеры невелики. Напротив, значительная доля гидридов в ЗТВ сварных ячеек ориентирована радиально (см. рис. 6, б).

Для подтверждения работоспособности паяных соединений ЦДР проведены реакторные испытания в условиях, моделирующих режим эксплуатации реактора ВВЭР-440. Экспериментальный канал, в который загружали образцы, позволяет проводить внутриреакторное облучение (плотность потока ней-

тронов $5 \cdot 10^{13}$ нейтр/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$) энергией выше 0,1 МэВ) при температуре 300—320 °С в воде под давлением. Время облучения составило 3000 ч (125 эфф. суток до флюенса $5 \cdot 10^{20}$ нейтр/ см^2). Исследованы две партии по пять паяных шестиячеечных фрагментов и для сравнения — одна партия сварных, вырезанных из штатных ЦДР.

По завершению реакторных испытаний осмотр образцов показал, что помимо черной оксидной глянцевой пленки на поверхности всех образцов наблюдается различной степени побеление торцев, пуклевков и гибов ячеек. На сварных решетках заметно побеление точек сварки и окисление участков наружной поверхности, где остались фрагменты соседних ячеек. На паяных решетках наружная поверхность практически не имеет следов усиленной коррозии. Выделение гидридной фазы в образцах после коррозионных реакторных испытаний в основном произошло в виде хао-

тично ориентированных пластин и мелких глобул (рис. 7).

Механические испытания (определение усилий разрушения паяных и сварных соединений между ячейками при их растяжении) проводили на образцах из двух и шести ячеек до и после реакторных испытаний. На рис. 8 приведены образцы после механических испытаний.

Поскольку сварные образцы были вырезаны из штатных решеток и имели дополнительные элементы, которые невозможно было отделить, усилия разрушения сварных необлученных фрагментов несколько выше, чем у паяных. Так, усилие разрушения необлученных паяных фрагментов из шести ячеек составляет от 940 до 1560 Н (среднее значение 1140 Н). Усилие отрыва парных паяных ячеек составило 290—390 Н (среднее значение 330 Н), для сварных образцов — 1880—2100 Н (1990 Н) и 540—660 Н (600 Н) соответственно.

Результаты послереакторных испытаний показали, что после облучения среднее усилие разрушения сварных образцов уменьшилось примерно 1,4 раза (1380 Н) для фрагмента и приблизительно в 1,7 раза (355 Н) — для парных ячеек. Для паяных образцов усредненные усилия разрушения фрагментов возросли приблизительно в 1,3 раза (1500 Н), а парных ячеек приблизительно в 1,2 раза (410 Н) и

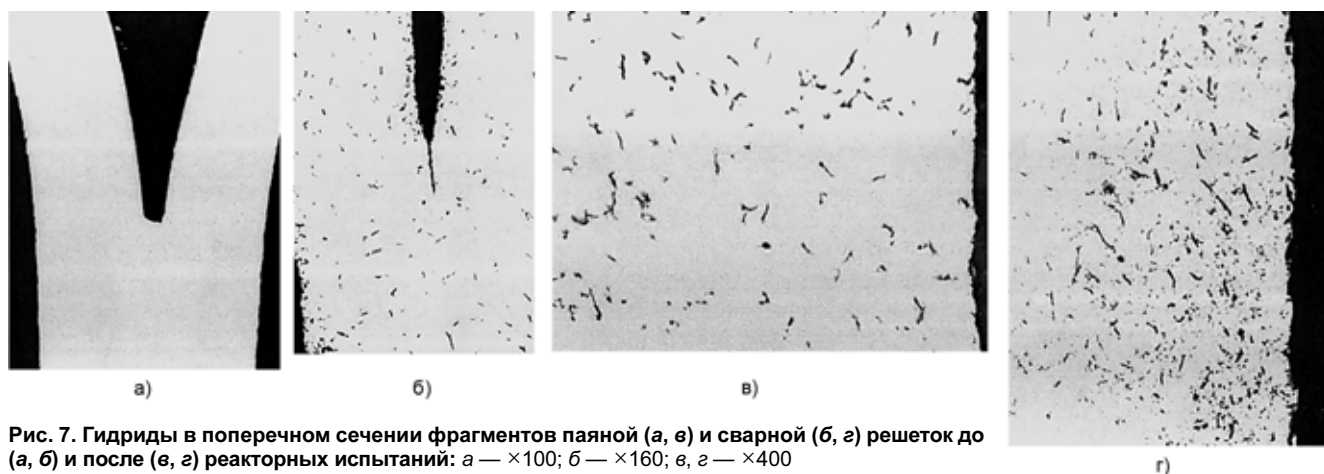


Рис. 7. Гидриды в поперечном сечении фрагментов паяной (а, е) и сварной (б, г) решеток до (а, б) и после (е, г) реакторных испытаний: а — $\times 100$; б — $\times 160$; е, г — $\times 400$

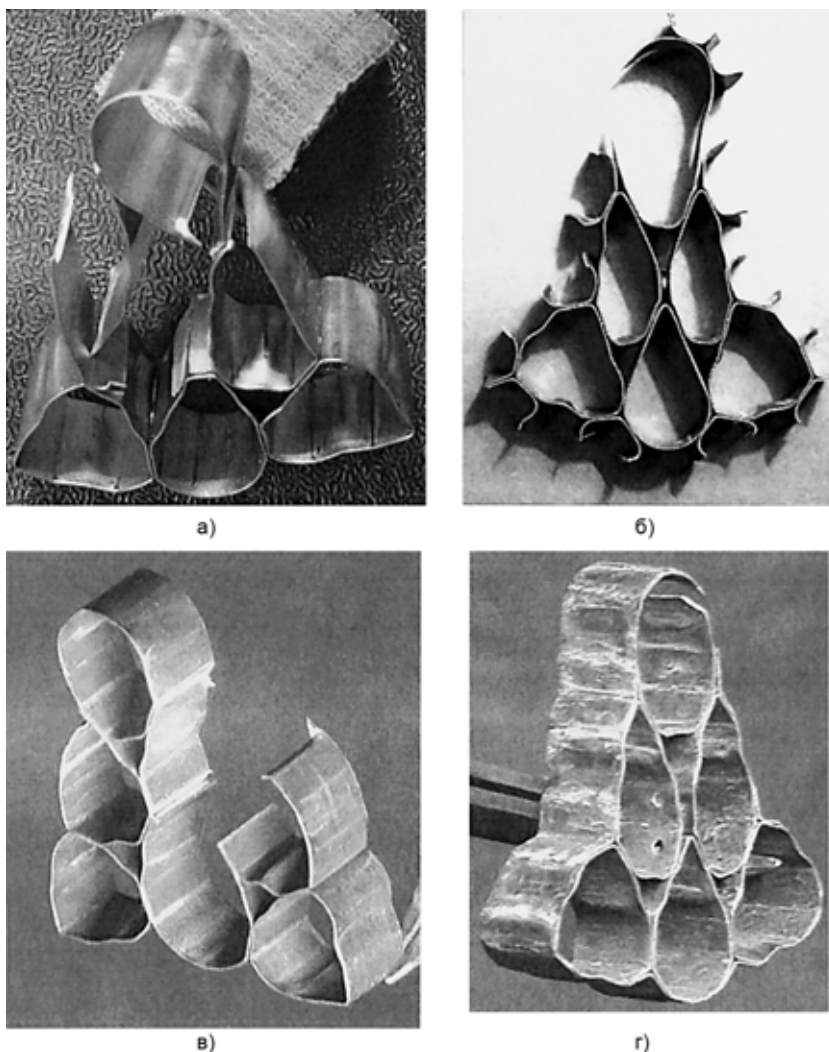


Рис. 8. Внешний вид фрагментов ЦДР после испытаний: а — паяный необлученный; б — сварной необлученный; в — паяный облученный; г — сварной облученный

1,8 раза (590 Н) по сравнению с усредненными значениями для необлученных образцов.

После реакторных исследований показали, что после коррозионных испытаний под облучением в течение 3000 ч (до флюенса $5 \cdot 10^{20}$ нейтр/см²) фрагменты ЦДР, изготовленные методом пайки, имеют высокие механические характеристики и удовлетворительную коррозионную стойкость.

Таким образом, высокотемпературная пайка аморфным быстрозакаленным ленточным сплавом-припоем СТЕМЕТ 1410 является перспективной для создания новых конструкций из циркониевых сплавов, работающих в активных зонах ядерных реакторов.

ВЫВОДЫ

1. Разработан и получен методом быстрого затвердевания расплава аморфный сплав-припой СТЕМЕТ® 1410 для пайки циркония и его сплавов.

2. Разработан способ изготовления паяных полномасштабных решеток реакторов ВВЭР-440 с использованием быстрозакаленных ленточных припоев, включая оснастку для сборки и пайки полномасштабной ЦДР, методику крепления ленты на ячейках и режим пайки.

3. Применение разработанного сплава-припоя СТЕМЕТ 1410 обеспечивает:

— температуру распайки паяных соединений, превышающую 1200 °С, что соответствует требо-

ваниям стабильности при авариях типа LOCA;

— удовлетворительную коррозионную стойкость паяных соединений в пароводяной смеси при температуре 350 °С и давлении 16,5 МПа на базе до 6000 ч испытаний;

— удовлетворительную коррозионную стойкость и высокие механические характеристики паяных соединений после коррозионных испытаний под облучением в течение 125 эфф. суток (до флюенса $5 \cdot 10^{20}$ нейтр/см²).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аморфные ленточные припои для высокотемпературной пайки. Опыт разработки технологии производства и применения / Б. А. Калинин, В. Т. Федотов, О. Н. Севрюков и др. // Сварочное производство. 1996. № 1. С. 15—19.
2. Разработка ленточных аморфных припоев для пайки циркониевых сплавов. В 2 т. // Сб. докл. V межотрасл. конф. по реакторному материаловедению. Димитровград, 1998. Т. 2. Ч. 1. С. 226—244.
3. Разработка аморфного ленточного припоя для пайки дистанционирующих решеток / А. Н. Плюшев, Б. А. Калинин, В. Т. Федотов и др. // Сб. докл. VI Российской конф. по реакторному материаловедению. Димитровград: ГНЦ РФ НИИАР, 2001. Т. 3. Ч. 2. С. 254—267.
4. Понимаш И. Д., Орлов А. В., Рыбкин Б. В. Вакуумная пайка реакторных материалов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 192 с.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. В 3 т. / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1997.
6. Физико-химия сплавов циркония / Отв. редактор О. С. Иванов. М.: Наука, 1968. 274 с.
7. Палилов И. И. Бериллий в сплавах: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с.
8. Разработка и применение быстрозакаленных припоев для прецизионной пайки конструктивных элементов атомной техники / Б. А. Калинин, В. Т. Федотов, О. Н. Севрюков и др. // ВАНТ. Сер. Материаловедение и новые материалы. 2005. Вып. 1 (64). С. 182—189.
9. Займовский А. С., Никулина А. В., Решетников Ф. Г. Циркониевые сплавы в атомной энергетике. М.: Энергоатомиздат, 1994. 256 с.
10. Cheadle B. A., Ellis C. E. The effect of heat treatment on the texture of fabricated Zr-rich alloys // Electrochemical Technology. 1966. Vol. 4. № 7—8. P. 329—336.
11. Конструкционные материалы ядерных реакторов: Учебник для вузов / Н. М. Бескоровайный, Б. А. Калинин, П. А. Платонов, И. И. Чернов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 704 с.
12. Исследование структурного состояния сварных соединений циркониевых элементов ядерных реакторов / Е. В. Юдина, Т. М. Поветкина, С. Ф. Гнусов и др. // Сварочное производство. 2006. № 6. С. 3—7.

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

Механизм формирования единичного участка вакуумного несплошного покрытия

В ОАО "НИАТ" разработаны способ¹ и технология формирования в вакууме несплошных износостойких покрытий, содержащих карбиды, нитриды, бориды и оксиды переходных металлов. Покрытия состоят из усеченных конусов, шаровых сегментов малой высоты и правильных усеченных трех-, четырех- и шестигранных пирамид высотой (толщиной покрытия) 3—50 мкм с размерами основания в плане 50—500 мкм [1], расположенных на поверхности подложки в регулярном порядке с коэффициентом сплошности покрытия ψ (отношение площади поверхности подложки, занятой единичными участками, к общей площади поверхности подложки) в диапазоне 30—70 % [2].

Для разделения вакуумного плазменного потока испаряемого материала на элементарные струи, формирующие единичные участки, предложено применять перфорированные ленты (усеченные конусы, шаровые сегменты малой высоты и правильные усеченные трех- и шестигранные пирамиды) и тканые сетки (правильные усеченные четырехгранные пирамиды — ПУЧП), изготовленные из коррозионно-стойких сталей и расположенные непосредственно на поверхности подложки.

Для формирования покрытий на режущем инструменте применяют сетку 020 (ТУ 14-4-507—74), параметры которой (размер квадратной ячейки в свету $b = 0,2$ мм, диаметр проволоки $d_{пр} = 0,13$ мм, живое сечение, т. е. отношение площади "пустот" сетки к ее общей площади, $\zeta = 36$ %) обеспечивают нахождение не менее двух единичных участков в зонах контакта стружки с передней поверхностью инструмента и максимальной температуры резания [3, 4]. Данная сетка обладает хорошей формоустойчивостью, достаточной жесткостью и способна выдерживать многократный нагрев в вакууме до температур свыше 500 °С.

Изготовление перфорированной ленты с цилиндрическими отверстиями и геометрическими параметрами, эквивалентными параметрам сетки 020 (толщина 0,147 мм, $d_{ср} = 0,226$ мм, $\zeta = 36$ %), связано с технологическими трудностями и большими

материальными затратами, не сравнимыми со стоимостью сетки.

Исходя из трудоемкости изготовления и применения тканых сеток и перфорированных лент, первые рекомендованы при нанесении покрытий на режущий инструмент (сетка 020), а вторые — на различные детали как основного производства, так и технологической оснастки.

Оптимальными по технологичности изготовления, удобству эксплуатации и экономической целесообразности являются тканые сетки.

Характер образования или механизм формирования единичного участка несплошного покрытия зависит от конструкции формирующего элемента (маски) — сетчатого экрана или перфорированной ленты.

Нанесение несплошного нитридтитанового покрытия в вакууме методами РЭП (реактивно-электронно-плазменный), МИР (магнитронно-ионное распыление) и КИБ (конденсация ионной бомбардировкой) при соприкосновении сетки 020 с поверхностью плоской подложки показало, что на подложке образуется покрытие в виде не соединенных между собой ПУЧП [5].

РЭП-покрытие просматривается более четко, чем МИР- и КИБ-покрытия, что объяснимо меньшим рабочим давлением в камере и степенью ионизации плазменного потока испаряемого материала у метода РЭП по сравнению с методами МИР и КИБ и меньшим эффектом "подпыления" покрытия под проволоку, из которой изготовлена сетка. Данный эффект обусловлен двумя факторами: кривизной проволоки, зависящей от ее диаметра, и наличием зазора между проволокой и поверхностью подложки. На рис. 1, а видно, что элементарная ячейка сетки, образованная четырьмя проволоками и являющаяся маской для формирования единичного участка, касается подложки только в четырех точках А, В, С и Д, а проволока расположена под углом к поверхности, т. е. по периметру элементарной ячейки образуется переменный по величине зазор между проволокой и поверхностью подложки (рис. 1, б).

На участке АЕ зазор изменяется по криволинейной зависимости, представляющей дугу окружности радиусом, равным $2d_{пр}$, на участке ЕF — по линейной зависимости, пропорциональной измене-

¹ А. с. 1198983 (СССР).

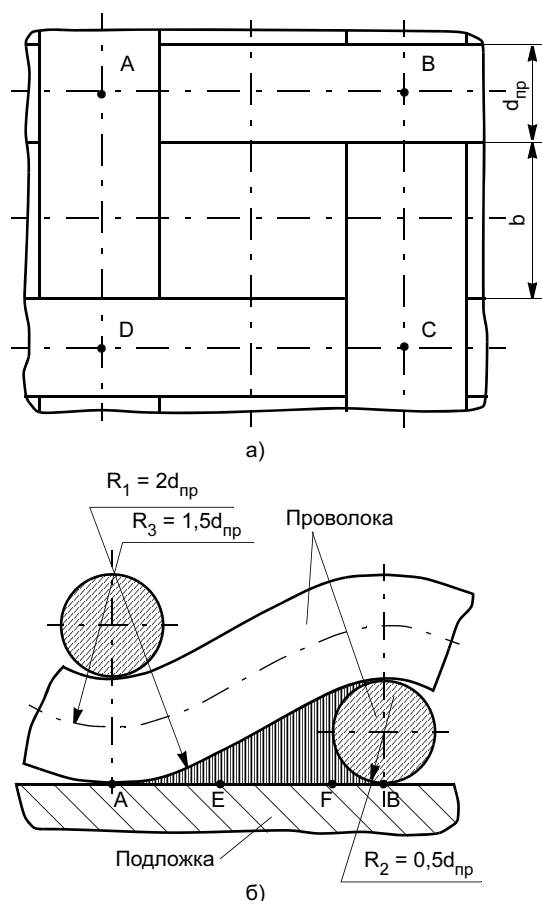


Рис. 1. Взаимное расположение конструктивных элементов ячейки сетки и подложки при нанесении покрытия: а — вид сверху сетки; б — сечение вдоль проволоки (R_1 — R_3 — радиус изгиба проволоки на различных участках элементарной ячейки сетки)

нию расстояния от точки E в сторону точки F , т. е. величина зазора зависит от угла наклона проволоки относительно плоскости. На участке FB изменение зазора аналогично изменению на участке AE , но с радиусом окружности, равным $d_{пр}/2$.

При нанесении покрытия электрические потенциалы сетки и подложки одинаковы. Наличие сетки на поверхности подложки значительно усложняет конфигурацию электрического поля вокруг системы подложка — сетка, особенно в области зазора, в которой напряженность электрического поля обусловлена наложением электрических полей, образованных проволокой (цилиндр) и подложкой (плоскость), эквипотенциальные поверхности которых имеют различное пространственное построение. По-видимому, искривленность электрического поля может привести к изменению траектории частиц ионной составляющей плазменного потока и способствовать "подпылению" покрытия под проволоку.

При использовании сетки 020 во время вакуумного формирования несплошного нитридтитаново-

го покрытия методом РЭП в течение 1 ч единичный участок представлял ПУЧП высотой $\delta = 0,04$ мм, со стороны верхнего основания $a_B = 0,2$ мм (размер ячейки в свету сетки b) и размером стороны нижнего основания $a_H = 0,232$ мм; $\psi = 50\%$, что на 14 % больше коэффициента ξ сетки 020. Увеличение ψ по сравнению с ξ обусловлено эффектом "подпыления" покрытия под сетку, степенью ионизации плазменного потока испаряемого материала и рабочим давлением образования химического соединения.

При применении сетки единичный участок представляет ПУЧП, поперечным сечением которой является равнобедренная трапеция со следующими размерами (рис. 2):

- высота трапеции δ равна толщине покрытия;
- верхнее основание трапеции a_B равно размеру ячейки сетки в свету b ;
- нижнее основание трапеции a_H равно сумме размеров верхнего основания a_B и величины "подпыления" a_n под проволоку с двух сторон ($a_H = a_B + 2a_n$).

При проведении экспериментальных исследований испаритель работал с постоянной мощностью, т. е. за единицу времени с него испарялось

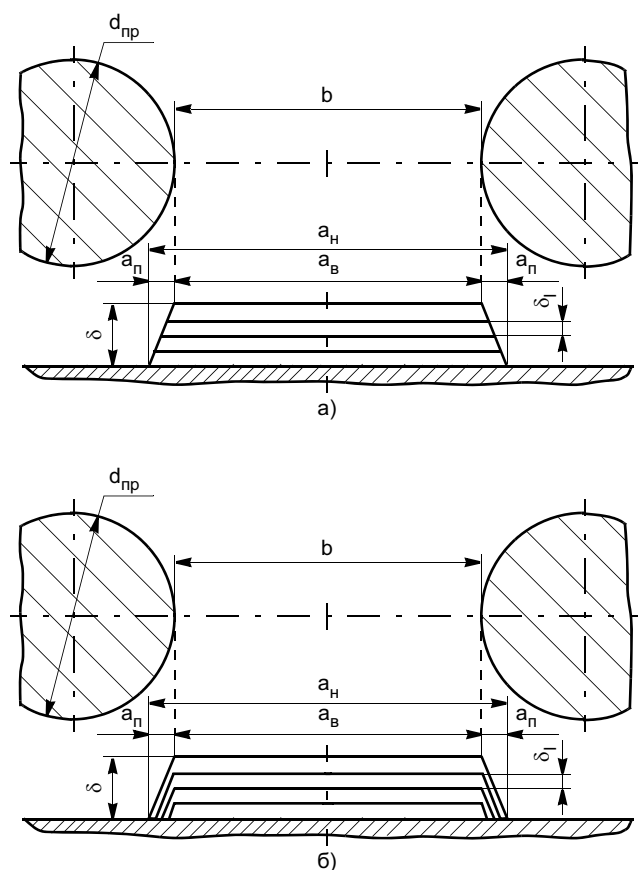


Рис. 2. Гипотетические механизмы формирования единичного участка: а — послойный равнотолщинный; б — "чашечный" равнотолщинный

одинаковое количество материала, которое разделялось сеткой на равные порции. Другими словами, за единицу времени сквозь ячейку сетки проходило одно и то же количество испаряемого материала.

На основании изложенного можно предложить три гипотезы механизма формирования единичного участка несплошного покрытия.

Первый механизм — послойно равнотолщинный (см. рис. 2, а).

В данном случае происходит постепенное наложение ПУЧП, имеющих постоянные высоты δ_1 и одинаковый угол наклона боковых граней. При этом первоначально формируется ПУЧП с наибольшими размерами нижнего основания ($a_n = a_b + 2a_n$). По мере роста высоты ПУЧП (толщины покрытия δ) происходит постепенное уменьшение размеров верхнего основания до размеров ячейки сетки в свету.

Согласно данному механизму формирования, дальнейший рост высоты ПУЧП должен сделать размеры верхнего основания меньше размеров ячейки сетки в свету, что противоречит основным законам нанесения покрытий в вакууме [6]. Кроме того, на рис. 2, а наглядно видно, что с общим ростом высоты ПУЧП объем элементарных ПУЧП с высотами δ_1 уменьшается, т. е. уменьшается количество проходящего через элементарную ячейку сетки испаряемого материала, что противоречит условиям эксперимента.

Два указанных несоответствия в механизме формирования единичного участка позволяют сделать заключение о некорректности гипотезы о послойно равнотолщинном механизме формирования единичного участка несплошного покрытия.

Второй механизм — "чашечный" равнотолщинный (см. рис. 2, б).

В данном случае первоначально образуется ПУЧП, у которой $a_b = b$. Затем при неизменном угле наклона граней ПУЧП и постоянном приросте в единицу времени δ_1 высоты ПУЧП вокруг него нарастают последующие "чашкообразные" слои. При этом размеры a_b остаются неизменными, а размеры a_n постепенно увеличиваются и при высоте ПУЧП, равной δ , достигают значения $a_n = a_b + 2a_n$. Дальнейший прирост толщины покрытия приводит к увеличению размеров нижнего основания ПУЧП.

Описанная модель достаточно полно соответствует закономерностям нанесения покрытий в вакууме [6]. Однако на рис. 2, б наглядно видно, что с увеличением высоты ПУЧП количество осаждаемого материала в каждой элементарной "чашке" увеличивается, что также противоречит условиям эксперимента.

Из-за указанного несоответствия данная модель формирования единичного участка несплошного покрытия также является некорректной.

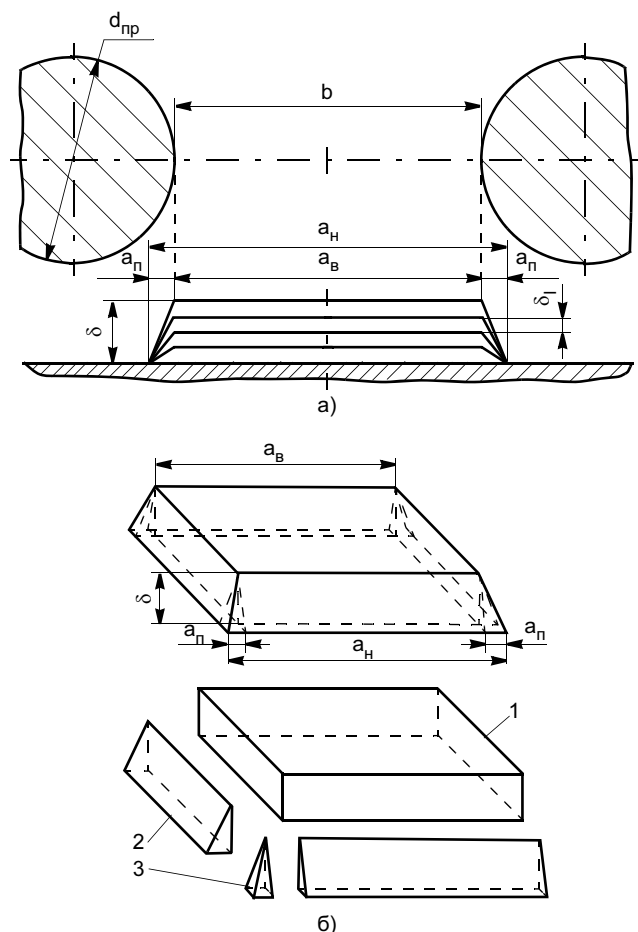


Рис. 3. Равнообъемный "чашечный" механизм формирования единичного участка: а — схема образования единичного участка; б — правильная усеченная четырехгранная пирамида и ее составляющие; 1 — параллелепипед; 2 — призма; 3 — пирамида

Наиболее полно закономерностям нанесения покрытий в вакууме [6] и постоянству количества испаряемого и осаждаемого на подложку материала отвечает *третий гипотетический механизм* формирования единичного участка несплошного покрытия — равнообъемный "чашечный" (рис. 3, а).

В данном случае первоначально на подложке формируется ПУЧП, у которой $a_b = b$ и $a_n = a_b + 2a_n$. Затем при сохранении размеров a_b и a_n происходит увеличение высоты ПУЧП на размер δ_1 за счет осаждаемого с постоянной скоростью материала покрытия, при этом угол наклона граней ПУЧП с увеличением ее высоты (толщины покрытия) изменяется.

На рис. 3, а видно, что площади первоначальной равнобедренной трапеции, которая представляет поперечное сечение правильной усеченной четырехгранной пирамиды, и элементарных приростов материала, являющихся суммой прямоугольника и двух треугольников, равны, так как a_b и a_n постоянны.

Равенство указанных площадей свидетельствует о постоянстве количества осаждаемого материала.

Ниже приведено подтверждение постоянства количества осаждаемого материала.

На рис. 3, б видно, что ПУЧП состоит из прямоугольного параллелепипеда, четырех призм и четырех пирамид. Стороны квадратного основания параллелепипеда равны a_B , т. е. размеру ячейки сетки в свету b . В основании призмы лежит прямоугольник со сторонами a_H и a_B , в основании пирамиды — квадрат со сторонами a_H . Высоты параллелепипеда, призмы и пирамиды одинаковы и равны δ .

Элементарный прирост объема усеченной пирамиды равен сумме элементарных приростов объема параллелепипеда, четырех призм и четырех пирамид. При постоянстве площадей оснований указанных геометрических тел элементарный прирост их объемов, как и их сумма, на основании простейших геометрических расчетов будет постоянным. Следовательно, постоянным будет и количество осаждаемого в единицу времени материала покрытия.

Таким образом, согласно описанному равнообъемному "чашечному" механизму формирования единичного участка несплошного покрытия, первоначально создается платформа единичного участка, размеры которой определяются максимальным влиянием эффекта "подпыления" покрытия под сетчатый экран и на которой в дальнейшем развивается единичный участок в виде ПУЧП с размерами верхнего основания a_B , равного размерам ячейки сетки в свету b .

Следует отметить, что сложный характер изменения зазора между проволокой сетки и плоскостью приводит к искажению геометрии нижнего основания единичного участка, который в действительности имеет не квадратную, а ромбовидную форму с углами, немного отличающимися от 90° , верхнее основание также несколько искажено. Однако эти искажения незначительны, что позволяет считать предложенный механизм формирования единичного участка адекватным.

При плотном соприкосновении перфорированной ленты (сепаратора) с подложкой зазор между ними отсутствует, в результате чего покрытие осаждается как на подложку с сепаратором, так и внутреннюю цилиндрическую поверхность отверстия в сепараторе (рис. 4, а). На подложку 1 и наружную плоскость сепаратора — перфорированную ленту 2 покрытие 3 осаждается под прямым углом, а на внутреннюю цилиндрическую поверхность в сепараторе — по касательной. За одно и то же время нанесения толщина покрытия на подложке и наружной поверхности сепаратора на порядок больше толщины покрытия на внутренней цилиндрической

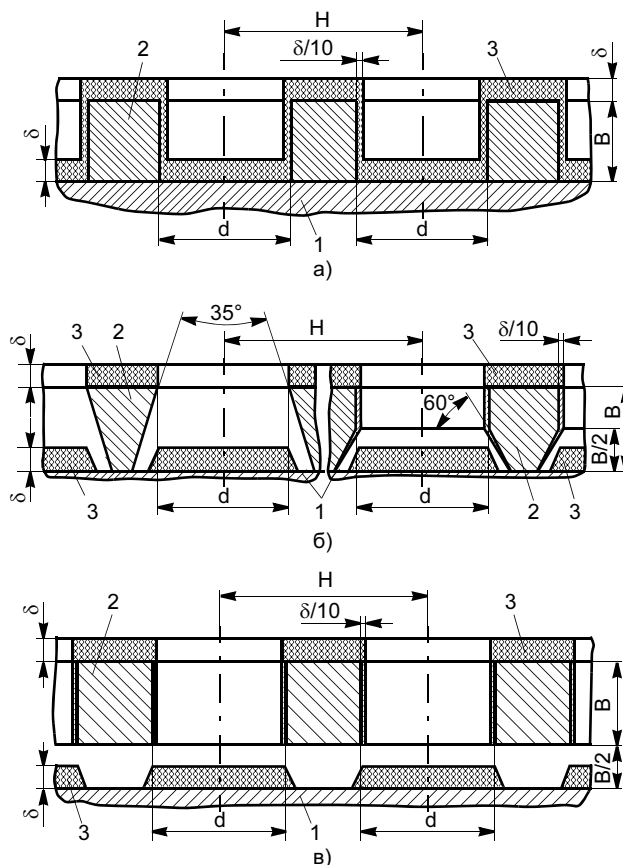


Рис. 4. Формирование единичного участка с помощью перфорированной ленты (δ — толщина покрытия, B — толщина перфорированной ленты, d — диаметр отверстия в перфорированной ленте, H — расстояние между центрами отверстий): а — при соприкосновении ленты с подложкой; б — при применении конического отверстия или отверстия с фаской; в — при установке ленты с зазором относительно подложки

поверхности отверстия в сепараторе [6]. Кроме того, при увеличении толщины покрытия происходит сращивание сепаратора с подложкой за счет материала покрытия. В данном случае формируется сплошное разнотолщинное покрытие, осажденное на различные детали (сепаратор и подложку) (см. рис. 4, а).

При удалении сепаратора с подложки происходит неконтролируемое кольцеобразное разрушение покрытия и образование единичных участков цилиндрической формы с "рваными" кромками по периметру, что должно снижать прочностные характеристики единичного участка в целом.

Указанный недостаток формирования единичного участка можно устранить конструкционным путем, применив в перфорированной ленте конические отверстия (угол конуса 35°) или отверстия с фаской (угол наклона 60° , глубина $0,075$ мм) (рис. 4, б).

Углы конического отверстия и наклона фаски определяли из условия получения гарантированного минимального размера перемычки между поверхностями отверстий в перфорированной ленте

со стороны соприкосновения ее с подложкой, которая должна быть не менее 0,04 мм при плотном расположении отверстий и не менее 0,02 при их нормальном расположении, иначе перфорированная лента может потерять как прочность, так и жесткость и будет нетехнологичной при использовании.

Глубину фаски, выбранную равной половине толщины перфорированной ленты, определяли с учетом гарантированного зазора между конической поверхностью фаски в ленте и поверхностью единичного участка покрытия при максимальной его высоте, равной 0,05 мм, что должно предотвратить сращивание сепаратора с подложкой за счет материала покрытия.

Однако указанные конструктивные решения еще больше увеличивают технологические трудности при изготовлении перфорированной ленты.

Существует еще один путь устранения "эффекта сращивания" покрытия с перфорированной лентой — расположение ее над поверхностью подложки с гарантированным зазором, равным половине толщины ленты (рис. 4, в). При этом конструктивно-перфорированная лента упрощается за счет цилиндрических отверстий в ней, однако значительно усложняется конструкция самого формирующего сепаратора, требующего точного расположения ленты и подложки с гарантированным зазором.

Применение перфорированной ленты позволяет получать единичные участки в виде усеченных конусов без искажения их формы и размеров. По-видимому, перфорированную ленту можно применять при получении единичных участков высотой 0,05 мм и диаметром основания 0,5 мм, т. е. на верхней границе размеров единичных участков в несплошном покрытии. В данном случае технологичность изготовления перфорированной ленты снижается, но все равно остается высокой.

При соблюдении указанных рекомендаций по использованию перфорированной ленты для получения единичных участков несплошного покрытия их формирование происходит в соответствии с "чашечным" равнообъемным механизмом, описанным выше.

Следует отметить, что на практике сращивания перфорированной ленты с подложкой по всей поверхности не происходит из-за микронеровностей как на подложке, так и на самой ленте, однако возможность сращивания отдельных единичных участков с лентой существует, что может негативно отразиться на качестве несплошного покрытия в целом.

Исходя из трудоемкости изготовления и использования тканых сеток и перфорированных лент, первые рекомендованы для применения при нанесении несплошных покрытий на режущий инструмент (сетка 020), а вторые — при нанесении покрытия на различные детали как основного производства, так и технологической оснастки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Н. В. Форма и геометрические размеры единичного участка в несплошном износостойком вакуумном покрытии // Авиакосмическая техника и технология. 2002. № 2. С. 13—15.
2. Матвеев Н. В. Топография вакуумных несплошных износостойких покрытий // Авиакосмическая техника и технология. 2004. № 4. С. 23—27.
3. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
4. О влиянии нитридтитановых покрытий на локализацию температурного поля при трении / В. М. Мацовитый, В. М. Береснев, М. С. Борушко и др. // Трение и износ. 1981. № 6. С. 118—120.
5. Матвеев Н. В. Вакуумное формирование несплошных износостойких покрытий на плоской подложке // Авиакосмическая техника и технология. 2003. № 4. С. 15—20.
6. Холленд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме: Пер. с англ. Н. В. Васильченко. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 698 с.

ОАО "Издательство "Машиностроение" предлагает



	Цена с НДС, руб.
Калашников А. С. Технология изготовления зубчатых колес. 1-е изд. 2004. 480 с.	363
Конкс Г. А., Лашко В. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта: учебное пособие. 1-е изд. 2005. 600 с.	594
Окопный Ю. А., Радин В. П., Хроматов В. Е., Чирков В. П. Механика материалов и конструкций. Сборник задач: учебное пособие. 1-е изд. 2004. 416 с.	253
Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник. 1-е изд. 2004. 336 с.	418

Приобрести книги **по цене издателя** можно, направив заявку в отдел реализации **по факсу:** (495) 269 4897;
e-mail: realiz@mashin.ru; **почте:** 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4, ОАО "Издательство "Машиностроение".
Тел.: (495) 269-6600, 269 5298.

УДК 621.791.4

В. С. ФЕДЯНИН, инж.

ОАО "Ульяновский автомобильный завод"

Применение порошкообразных прослоек при контактной сварке металлов с высокой электропроводностью

Ухудшение свариваемости металлов с высокой электропроводностью (Cu, Al и их сплавов) связано с малым удельным и контактным сопротивлением и высокой теплоемкостью, затрудняющих расплавление основного металла и формирование сварной точки, а также наличием на контактной поверхности оксидных пленок, адсорбированных газов, жировых пленок, влаги. При сварке таких металлов применяют специальные машины большой мощности.

Для комплексного преодоления указанных трудностей путем изменения физико-химических условий в контактной зоне в период разогрева металла и формирования сварной точки предлагается размещать между свариваемыми поверхностями порошкообразную прослойку из самофлюсующегося сплава с содержанием Ni и Cr 70—80 %, остальное — C, Si, Mn, B, Fe. Толщина прослойки не превышает 0,3 мм, имеет адгезионное соединение с подложкой¹ и вытесняется из зоны контакта в процессе сварки¹.

В данной работе целью проведенных экспериментов являлось определение влияния порошкообразной прослойки на качественные и энергетические показатели процесса сварки металлов с высокой теплоэлектропроводностью, сходства и отличия предложенного способа от штатной технологии контактной точечной сварки, возможности использования серийного сварочного оборудования для сварки меди и алюминия.

Контактное сопротивление в основном зависит от удельного сопротивления свариваемых металлов и состояния их поверхности, измерять его рационально в процессе сварки.

На предварительном этапе перед сваркой прибором Ф-415 проводили замеры сопротивления контактной поверхности плоского рельефа площадью 100 мм², приблизительно равной рабочей поверхности электрода диаметром 16 мм, у металлов толщиной 0,5 и 1,0 мм: сталь 08пс + сталь 08пс,

M1 + M1, A5 + A5, M1 + A5, сталь 08ПС + Cu с разной толщиной прослойки. Замеры проводили по известной методике [1].

Установили, что при оптимальном значении толщины прослойки в паре M1 + M1 контактное сопротивление деталь—деталь выше, чем у пары сталь 08пс + сталь 08пс (0,38 мОм) в 3—5 раз, а при увеличении толщины прослойки до 0,3 мм оно увеличивается до 8—10 раз.

Прохождение тока по выступам зерен порошка прослойки повышает контактное сопротивление, создает дополнительный эффект концентрации электрического тока, повышающего разогрев и тепловыделение в зоне сварки.

Наличие в порошкообразной прослойке Ni и Cu с высоким удельным электросопротивлением повышает контактное сопротивление и обеспечивает необходимый разогрев свариваемых металлов в контактной зоне за счет теплоты расплава этих компонентов, достаточной для создания термомеханических условий формирования литого ядра точки и качественного сварного соединения (рис. 1).

Составляющие компоненты порошковой смеси из сложнелегированных самофлюсующихся сплавов оказывают активное комплексное воздействие на качество сварной точки в процессе ее формирования. Известно, что при наличии в расплаве Si, Mn, C происходит связывание оксидов, в частности при сварке меди. Боридные, хлоридные и фтористые соединения способствуют связыванию кислорода, водорода и других газов при сварке цветных металлов и их сплавов [2, 3].

Наличие дополнительных легирующих компонентов в расплаве ядра точки изменяет традиционное представление о металлургических процессах сварки давлением, а изменение физико-химических свойств в контактной зоне, удаление оксидных пленок и адсорбционных наслоений в процессе сварки реакционным путем (которые следует уточнить) имеют несомненные преимущества перед из-

¹ Патент 2270081 (РФ).

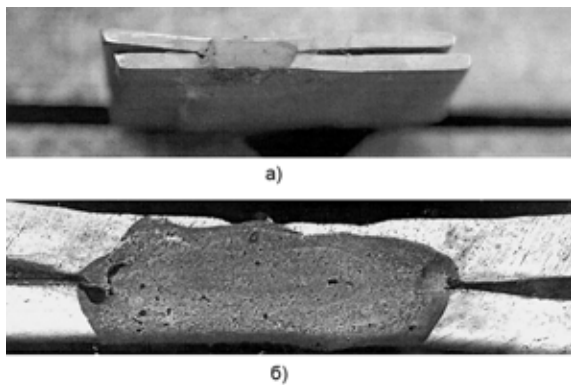


Рис. 1. Образец сварного соединения (0,5 + 0,5 мм): а — внешний вид. $\times 10$; б — макрошлиф. $\times 38$

вестными методами предварительной подготовки свариваемых поверхностей и образовании сварного соединения. Эти преимущества позволяют использовать прослойки из самофлюсующегося порошка как универсальное средство улучшения качества сварного шва при разных способах сварки давлением разнородных металлов: точечной, стыковой, прокатной и автовакуумной [4].

Наряду с использованием самофлюсующихся сплавов промышленного изготовления порошкообразное состояние легирующих компонентов прослойки позволяет получить путем смешивания композиционные смеси с заданными свойствами применительно к сварке, в том числе разнородных металлов.

При практической реализации способа выявили механизм образования сварной точки. Установлено, что при прохождении тока через прослойку за счет высокого электросопротивления составляющих компонентов происходит ее расплавление и разогрев прилегающей поверхности свариваемого металла. Под действием осевых нагрузок электродов расплавленный металл прослойки вытесняется на периферию сварной точки, приводя в физический контакт нагретые до температуры сварки поверхности основного металла с последующим их схватыванием и образованием общей структуры. При этом поверхностные пленки (оксиды, слои плакировки) полностью разрушаются и перераспределяются лишь в жидком металле. Этот процесс — один из основных, так как способствует удалению поверхностных пленок, мешающих взаимодействию в жидкой фазе. Разрушенные нерастворимые частицы концентрируются на периферии расплава [5].

Однако остатки оксидных пленок и газы в микропорах не полностью удаляются механическим путем. Нейтрализацию оставшихся оксидов и газовой составляющей на свариваемой поверхности и в расплаве осуществляют в процессе перемешивания легирующих компонентов прослойки (Mn, Si, В и др.), способствуя тем самым формированию качественного литого ядра точки.

Правильный подбор режимов сварки и толщины прослойки приводит практически к ее полному вытеснению из ядра точки. Остаются отдельные мелкие инородные точечные включения: шлаковые или из продуктов разрушения адсорбционных наслоев.

С увеличением толщины свариваемого металла и прослойки до 0,3 мм увеличиваются потери электрической мощности, способствующей уменьшению размеров ядра точки, возникновению неспаров или образованию хрупкой структуры из спеченного порошка. Как видно на (рис. 2, з), вокруг ядра точки из основного металла расположена спеченная порошкообразная прослойка, по площади равная контактной поверхности электрода, и выплеск расплавленной прослойки из центра точки.

При механических испытаниях подобных сварных образцов разрушение соединения происходит путем среза точки с частичным вырывом основного металла.

При оптимальном подборе параметров тока и толщины прослойки соединения разрушение происходит по основному металлу (рис. 2, а, в). На свариваемые кромки порошкообразную прослойку наносят известными способами, например, газотермическим или плазменным напылением, с образованием адгезионного соединения с подложкой, позволяющего сваривать в разных пространственных положениях объемные детали сложной формы без отслоения прослойки от основы.

При проведении экспериментов самофлюсующийся порошок ПГ-СР непосредственно перед сваркой смешивали с токоведущим связующим веществом до пастообразного состояния и наносили на кромки шпателем. В качестве связующего вещества испытывали воду и глицерин. В основном исследовали образцы из меди и алюминия толщиной 0,5—1,0 мм с разной величиной прослоек, оптимальный провар (3,0—6,5 мм) достигался при производительности 40—60 точек в 1 мин.

Наличие в контакте деталь — деталь порошкообразной Cr—Ni-прослойки с высоким удельным со-



Рис. 2. Сварные образцы после испытания на разрыв: а — М1 + М1 (0,5 + 0,5 мм); б — М1 + М1 (1,0 + 1,0 мм); в — А5 + А5 (1,0 + 1,0 мм); г — М1 + М1 (0,5 + 0,5 мм)

противлением интенсифицирует процесс нагрева свариваемого металла и позволяет снизить потребляемую электрическую мощность сварочных машин.

Образцы из цветных металлов А5, М1, Л63 толщиной 0,2, 0,5 и 1,0 мм без специальной предварительной обработки сваривали на серийных машинах МТ-1928 мощностью 105 кВ · А и МТ-3001 мощностью 213 кВ · А на режиме: давление сжатого воздуха 0,2—0,3 МПа, сварочный ток 15,0—20,0 кА, длительность импульса тока 0,3—0,5 с, проковки — 0,2—0,4 с, диаметр электрода 16 мм с радиусной заточкой рабочей части. Радиус сферы электрода около 80 мм.

При подборе режима сварки и толщины прослойки следует учитывать теплофизические свойства металла. Так, при сварке на одном режиме образцов толщиной 1,0 мм из сплавов МТ, А5 и Л63 получили разную величину ядра точки: 3,5, 7,3 и 6,1 мм соответственно. Видно, что высокие электропроводность и теплоемкость меди приводят к уменьшению ядра точки.

Критерием качества сварного соединения служило наличие провара и данные механических испытаний на разрыв. При испытании приведенных образцов получили следующие результаты: образцы из сплавов А5 и Л63 разрушались по основному металлу с усилием соответственно 75 и 130 кН. На медном образце при усилии 135 кН разрушение соединения из-за малого сечения точки произошло путем среза металла точки с частичным вырывом

основного металла (рис. 2, б). Образцы из сплава М1 толщиной 0,2 и 0,5 мм разрушались по основному металлу (см. рис. 2, а).

Металлографическими исследованиями установлено наличие провара во всех испытуемых образцах, ядро точки — плотное, по составу соответствует основному металлу, поры и микротрещины отсутствуют, наблюдаются инородные единичные микровключения, с более частой повторяемостью на периферии точки и на алюминиевых образцах (рис. 3).

Подобные дефекты величиной до 20 % высоты точки не изменяют прочностных показателей сварного соединения и не влияют не только на статическую, но и на вибрационную прочность [6].

Таким образом, установлена возможность получения качественного сварного соединения цветных металлов с высокой электропроводностью, в частности меди, за счет присутствия Ni—Cr и легирующей прослойки на серийном сварочном оборудовании, с уменьшением почти в 1,5 раза сварочного тока по сравнению с рекомендуемым [2, 3]. Возможность контактной точечной сварки технической меди и режимы в приведенных материалах не отражены.

ВЫВОДЫ

1. Размещение в плоскости контакта деталь — деталь порошкообразной прослойки из самофлюсующегося Cr-Ni-сплава ПГ-СР с высоким удельным сопротивлением резко повышает контактное сопротивление, что способствует расплавлению прослойки с последующим ее вытеснением, интенсифицирует конвективный разогрев основного металла в зоне сварки для получения качественного соединения металлов с высокими тепло- и электропроводностью, в частности меди.

2. Применение промышленных самофлюсующихся сплавов и смесей порошковых компонентов с заданными физико-химическими свойствами (раскислителей, газопоглотителей и др.), изменяющих физические показатели и металлургические условия в контактной зоне, расширяет технологические и технические возможности контактной сварки разнородных и трудносвариваемых металлов и снижает энергозатраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Контроль точечной и роликовой электросварки* / Б. Д. Орлов, П. Л. Чулошников и др. М.: Машиностроение, 1973. 302 с.
2. *Гуревич С. М.* Справочник по сварке цветных металлов. Киев: Наукова думка, 1981. 608 с.
3. *Сварка в машиностроении* / Под ред. А. И. Акулова. М.: Машиностроение, 1978. Т. 2. 462 с.
4. *Федянин В. С.* Применение порошковых прослоек при сварке давлением // *Сварочное производство*. 2002. № 11. С. 35—39.
5. *Орлов Б. Д.* Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 1975. 536 с.
6. *Кочергин К. А.* Сварка давлением. Л.: Машиностроение, 1972. 216 с.

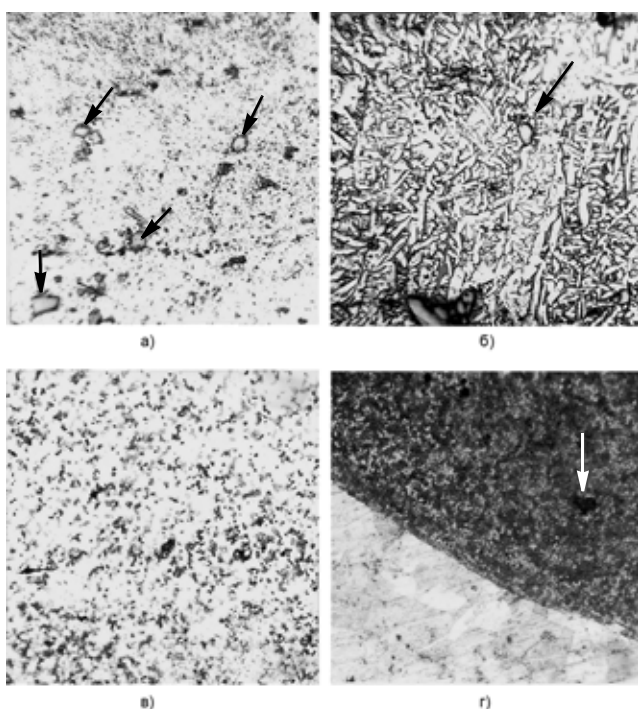


Рис. 3. Микроструктура (×400) сварной точки: а — А5 + А5; б — Л63 + Л63; в, г — М1 + М1, границы сварной точки (стрелками указаны инородные включения)

Э. Л. ЛЕВИН, канд. техн. наук, Р. Н. САЙФУЛЛИН, канд. техн. наук
Башкирский государственный аграрный университет

Особенности электроконтактной приварки стальной ленты к нормализованным и цементованным деталям

Электроконтактную приварку (ЭКП) стальной ленты применяют при восстановлении изношенных поверхностей деталей машин, работающих в основном в условиях трения скольжения со смазкой. Номенклатура некоторых деталей для восстановления ЭКП стальной лентой приводится в работе [1]. Но существуют некоторые особенности приварки стальной ленты к цементованным деталям.

В данной работе приведены результаты исследования влияния размеров детали, ее предварительной механической обработки и режимов ЭКП на образование трещин в металлопокрытии цементованных и нормализованных деталей. Оценку поверхностного трещинообразования проводили по методике работы [2] на натурных образцах — поршневых пальцах двигателя СМД-14 диаметром 50 мм из стали 12ХН3А, подвергнутых цементации до твердости 56—63 HRC по техническим условиям. Исследовали пять серий образцов: 1-я серия — в исходном состоянии после ЭКП стальной ленты и последующего шлифования; 2-я серия — после шлифования на глубину 0,1 мм, ЭКП стальной ленты и последующего шлифования; 3-я серия — после шлифования на глубину 0,2 мм, ЭКП стальной ленты и последующего шлифования; 4-я серия — после отпуска в течение 1 ч в муфельной печи при 400 °С до твердости 46—48 HRC, ЭКП стальной ленты и последующего шлифования; 5-я серия — после отпуска в течение 1 ч в муфельной печи при 600 °С до твердости 27—29 HRC, ЭКП стальной ленты и последующего шлифования.

К образцам всех серий приваривали ленту толщиной 0,3 мм из стали 50. Приварку вели на двух режимах сварочного тока: А — 2,5—3,5 кА и Б — 6—7 кА, продолжительность импульса тока 0,06 с, паузы — 0,08 с, при обильном охлаждении зоны приварки. После приварки стальной ленты к образцам их шлифовали на глубину 0,1 мм и подвергали магнитной дефектоскопии.

При приварке стальной ленты на образцы 1-й серии при токе 2,5—3,5 кА наблюдается образование развитой сетки трещин, увеличивающейся по направлению от начала к концу приваренного участка ленты в направлении подачи роликовых электродов (рис. 1, I, а). При этом линии трещин располагаются как вдоль образующей образцов, так и по-

перек. При последующем шлифовании покрытия наблюдается отслаивание ленты на значительных участках (от 30 до 50 % общей площади). Приварка ленты током 6—7 кА вызывает значительное уменьшение (в 5—7 раз) количества и размеров трещин

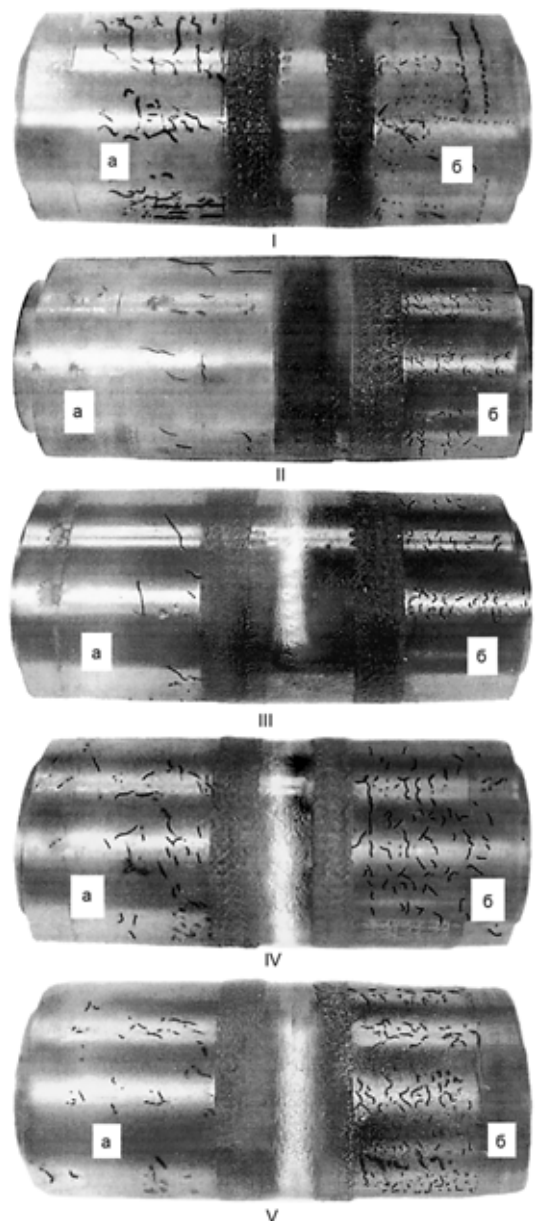


Рис. 1. Натурные образцы I—V 1—5-й серий соответственно

(рис. 1, I, б). При последующем шлифовании отслаивание ленты практически не наблюдается.

Исследование образцов 2-й серии показало резкое уменьшение (в 8—10 раз) количества трещин по сравнению с образцами 1-й серии при приварке током 2,5—3,5 кА. Большинство трещин направлено вдоль образующей образцов. Кольцевые трещины наблюдаются в средней части приваренного участка ленты (в зоне прихваточного прохода роликовых электродов) (рис. 1, II, а). Приварка ленты током 6—7 кА вызывает образование мелких, но многочисленных трещин на поверхности образцов (рис. 1, II, б). При шлифовании до исходного размера отслаивание покрытия не наблюдается.

Исследование образцов 3-й серии показало, что количество трещин по сравнению с образцами 1-й серии при приварке током 2,5—3,5 кА уменьшается в 10—15 раз (рис. 1, III, а). Приварка ленты током 6—7 кА вызывает образование значительного количества мелких трещин (рис. 1, III, б), однако отслаивание покрытия при последующем шлифовании образцов до исходного диаметра не наблюдается.

Количество трещин на поверхности образцов 4-й серии при приварке током 2,5—3,5 кА несколько больше, чем на образцах 2- и 3-й серий (рис. 1, IV, а). В этом случае на образование трещин большее влияние оказывает содержание углерода в основном металле детали, чем структурное состояние поверхности основного металла. Приварка током 6—7 кА повышает количество трещин (рис. 1, IV, б).

Аналогично при приварке ленты к образцам 5-й серии также увеличивается количество трещин, но при приварке током 2,5—3,5 кА их в 1,5—2,0 раза меньше, чем на образцах 4-й серии при приварке тем же током (рис. 1, V, а).

Магнитной дефектоскопии подвергали также валики-шестерни насосов НШ-32 из цементованной стали 18ХГТ, на цапфы которых приваривали ленту из стали 50. На них наблюдали аналогичную картину, кроме того установили, что дополнитель-

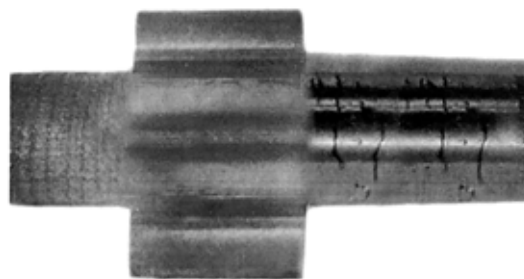


Рис. 2. Шейки шестерни насоса после ЭКП стальной ленты с двойным проходом роликовых электродов и последующего шлифования

ные полные проходы вызывают образование кольцевых трещин (рис. 2).

Для оценки качества ЭКП лент из углеродистых и легированных сталей различных марок ленты из сталей 30, 50, У10А, 65Г, 70С2ХА приваривали к образцам из нормализованной стали 45 диаметром 40 мм на следующих режимах: ток 6—7 кА; продолжительность импульса тока 0,06 с, паузы — 0,08 с, при обильном охлаждении зоны приварки. После приварки образцы шлифовали до толщины слоя приваренной ленты 0,2 мм и подвергали магнитной дефектоскопии. Образование трещин наблюдали на участках приварки ленты из сталей У10А и 65Г. Слой приваренной ленты из стали 50 не имеет трещин, и после шлифования до толщины 0,1 мм отслаивание ленты не наблюдается. Единичные мелкие трещины образуются при приварке ленты из стали 70С2ХА. Повторный проход ролика по приваренной ленте из стали 65Г вызывает сильное развитие трещин и отколы слоя. На приваренной ленте из стали 30 трещины и отслаивание не наблюдаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические процессы и указания по восстановлению деталей контактной приваркой присадочных материалов. Кн. 2. М.: ГОСНИТИ, 1987.
2. Сафаров М. М., Левин Э. Л., Трофимов Г. С. Исследование и оценка дефектов в наплавленном металле // Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники. Ульяновск, 1977.

Предприятие "Томскоргтехстрой"

по Вашему заказу может разработать и изготовить машины для сварки труб и деталей трубчатого и сплошного сечения из углеродистых сталей по оригинальной технологии, разработанной сотрудниками Томского политехнического университета и провести пуско-наладочные работы для из запуска.

С более подробной информацией о новой технологии сварки трением можно ознакомиться в журнале "Сварочное производство", 2006, № 12 и на сайте svarka.tomsk.ru.

634034, Томск, ул. Карташова, 22, "Томскоргтехстрой".

Тел.: (3822)530042; e-mail: svarka@sibmail.com.

Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор)

Ч. 2. Совершенствование инструмента и технологических схем сварки¹

Конструкция инструмента и геометрия отдельных его элементов — рабочего стержня и опорного бурта — важнейшие конструктивно-технологические параметры процесса сварки трением с перемешиванием (СТП), наиболее заметно влияющие на формирование структуры шва и соединения в целом [1]. Как отмечалось в первой части обзора, в процессе сварки инструмент испытывает высокие нагрузки. Крутящий момент, вращающий инструмент, генерирует фрикционный нагрев материала, а усилия, прилагаемые к инструменту, обеспечивают продвижение его в массе материала в направлении сварки. Поверхности вращающегося рабочего стержня и опорного бурта инструмента, контактирующие с материалом кромок, образуют с ним пары трения, непосредственно участвуя в процессе фрикционного нагрева и образовании потоков пластического течения.

Высокие циклические напряжения в инструменте при СТП (кручение со знакопеременным изгибом) обуславливают два основных направления его разработки:

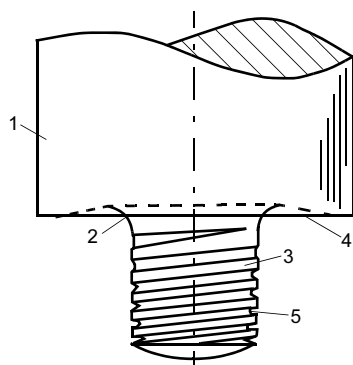


Рис. 1. Инструмент 1 для СТП с плавным сопряжением 2 поверхностей рабочего стержня 3 и опорного бурта 4 и по внутреннему диаметру витка 5

— повышение эффективности термомеханического взаимодействия инструмента с материалом стыка;

— использование для инструмента более прочных и износостойких материалов.

При этом преследовались следующие практические цели: повышение ресурса инструмента; возможность увеличения толщины соединяемых деталей; расширение номенклатуры соединяемых СТП материалов (сплавов Ti, Cu, Mg, стали и др.); повышение производительности (скорости сварки); решение проблемы устранения кратера в конце шва и дефектов в нем; возможность сварки деталей различной формы с соединениями разных типов и др.

В 90-х годах было запатентовано много предложений, касающихся конструкции инструмента. В одном из ранних патентов Института сварки Великобритании (TWI) предлагался инструмент для сварки трением с перемешиванием² с многочисленными вариантами формы рабочего стержня [2, 3]. Из заявленных вариантов можно выделить основные признаки: конусную форму стержня; разную форму его поперечного сечения; наличие на конусной поверхности стержня по меньшей мере одного среза, выступа, витка спиральной нарезки или каких-либо других фрагментов, интенсифицирующих процессы перемешивания и пластического течения материала. Длина стержня зависит от длины соединяемых кромок, а отношение его диаметра в зоне опорного бурта к длине составляет примерно от 4:1 — при толщине кромок 3—6 мм и до 1:1 — при толщине кромок 15—25 мм.

Существенное повышение эффективности инструмента было получено при выполнении на поверхности его рабочего стержня винтовой нарезки [4], а также при модификации опорного бурта инструмента³ — выполнении на его куполообразной поверхности кольцевых или спиральных канавок и других элементов рельефа. Это позволило получить соединения с высокой плотностью шва при сварке алюминиевого сплава 6082 толщиной от 1,2 до 12,7 мм с хорошей воспроизводимостью качества.

В работе [5] акцентируется внимание на необходимости плавного сопряжения поверхностей всех элементов рельефа на рабочем стержне, что снижает опасность его разрушения при сварке. Особенно важно обеспечить плавное сопряжение в месте пересечения поверхностей рабочего стержня и опорного бурта⁴. На рис. 1 приведен инструмент⁴ для СТП высокопрочных алюминиевых сплавов с таким сопряжением поверхностей стержня и бурта, а также со спиральной нарезкой на стержне, у которой отношение внешнего диаметра витка к внутреннему возрастает, а шаг спирали уменьшается в направлении от бурта к концу стержня и плавно сопряжена поверхность витков с внутренним диаметром. Такой инструмент позволил соединить детали большей толщины (до 25,4 мм) из алюминиевых сплавов и увеличить скорость сварки [5].

Эффективный элемент рельефа поверхности стержня был предложен авторами изобретения⁵, в котором рабочий стержень инстру-

³ Международный патент 95/00005 (Великобритания).

⁴ Патент 6.676.004 (США).

⁵ Патент 02/00908 (Швеция).

¹ Ч. 1 — см. "Сварочное производство", 2007, № 9, с. 35—40.

² Патент 2.306.366 (Великобритания).

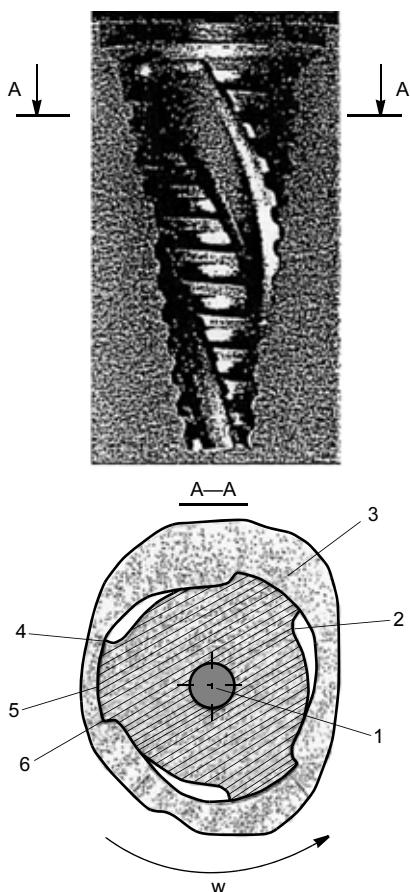


Рис. 2. Инструмент для СТП: 1 — рабочий стержень; 2 — спиральная полость; 3 — соединяемый материал; 4, 6 — острые кромки винтовой нарезки; 5 — наружная поверхность витков винтовой нарезки

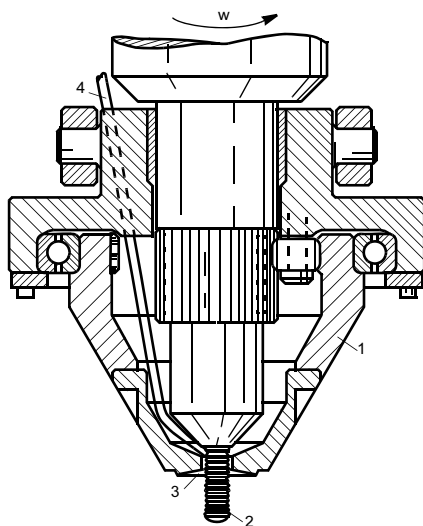


Рис. 3. Инструмент для СТП с регулируемым вылетом рабочего стержня 2 относительно опорного бурта 3 (с корпусом 1), вращением их в разных направлениях (от одного привода) и подачи в зону сварки присадки (через тракт 4)

мента для сварки встык выполнен в виде усеченного конуса, поверхность которого имеет винтовую нарезку. Витки нарезки пересекаются под большим углом двумя-тремя спиральными проточками на всю длину стержня (рис. 2). Наличие таких проточек усиливает эффект "шнека" и дополнительно уменьшает долю объема рабочего стержня в объеме обработки материала вращающимся стержнем. Обе эти особенности конструкции способствуют более свободному интенсивному движению материала, разогретого до пластического состояния, фрагментизации и диспергированию частиц оксидов.

Важным этапом в совершенствовании инструмента стали разработки, связанные с решением проблемы устранения или предупреждения образования кратера в конце шва при выведении вращающегося рабочего стержня из стыка. На предприятии NASA в Huntsville (США) и ряде других предприятий была разработана конструкция инструмента с возможностью осевого перемещения стержня относительно корпуса с опорным буртом инструмента^{6, 7}. Такой инструмент (рис. 3) позволял выполнять сварку, не меняя инструмент для каждой толщины детали, а устанавливая вылет рабочего стержня относительно опорного бурта, соответствующий толщине детали. Благодаря появившейся возможности автоматического регулирования вылета рабочего стержня стала возможной автоматическая сварка стыков деталей с переменным сечением соединяемых кромок. Кроме того, была решена проблема сварки без образования кратера в конце шва или его устранения. Разделение приводов рабочего стержня и корпуса с опорным буртом инструмента расширило его технологические возможности. Появились новые технологические схемы сварки и конструкции сварочных инструментов, а также сварочных головок с раздельным управлением скоростью и направлением вращения рабочего

стержня и опорного бурта. Стало возможным введение присадочного металла в шов^{5, 8} вблизи рабочего стержня (см. рис. 3).

В дальнейших разработках конструкции инструмента [5—7] сохраняется тенденция к интенсификации пластического течения и перемешивания материала, а также снижению уровня сопротивления материала при продвижении в нем инструмента.

В TWI были разработаны и испытаны инструменты серий WhorlTM и TrifluteTM [5, 7] для соединения плит из алюминиевого сплава группы 6000 толщиной 25—40 мм при одностороннем подходе и до 75 мм — при двустороннем. Форма рельефа рабочего стержня этих инструментов (рис. 4) обеспечивает объем стержня, значительно меньший объема перерабатываемого им материала (рабочего пространства инструмента). Чем больше разница в объемах рабочего стержня и его рабочего пространства, тем, по мнению авторов работы [5], эффективней конструкция инструмента, поскольку при этом создаются условия для более свободного течения разогретого до пластического состояния материала. Отмечается также [7], что еще более интенсивное течение металла вокруг инструмента достигается при расстоянии между витками винтовой нарезки на рабочем стержне, большем толщины витков, и если оно уменьшается от основания к концу стержня (рис. 4, а). В работе [8] трехмерным моделированием с привлечением динамики течения жидкости демонстрируются преимущества другого инструмента, типа MX TrivexTM (рис. 5), в сравнении с инструментом MX TrifluteTM. При сопоставимом значении прочности соединений (соответственно 480 и 470 МПа) инструмент TrivexTM более прочен и прост в изготовлении, поскольку форма его рабочего стержня проста — усеченная трех-, четырехгранная пирамида, не содержит резьбовой или какой-либо другой нарезки на поверхности. Однако эти результаты нуждаются в более

⁶ Патент 5697544 (США).

⁷ Патент 98/00861 (Швеция).

⁸ Патент 0289603 (США).

серьезном экспериментальном исследовании.

В процессе сварки на лицевую поверхность шва может выдавливаться небольшое количество металла. Фирмой "Боинг" разработан⁹ инструмент с радиально установленными на нем резцами, срезающими с лицевой поверхности лишний металл.

Заслуживает внимания предложение воздействовать на массу разогретого до пластического состояния материала вибрационными силами путем механического колебания сварочного инструмента¹⁰ или пульсирующими силами посредством инструмента специальной формы¹¹. В первом случае для введения вибрации в пластический материал шва (рис. 6) необходимы сложные исполнительные механизмы и повышенная прочность, особенно усталостная, инструмента. Во втором случае¹¹ вибрация создается за счет небольшого угла отклонения плоскости опорного бурта от плоскости, ортогональной оси вращения инструмента. Вибрация в движущейся массе пластического материала способствует измельчению структуры шва и уплотняет его.

Разнообразие видов сварных конструкций и используемых в них типов сварных соединений потребовало разработки специальной конструкции инструмента для каждой практической задачи. Так, для соединения пакета из двух и более листов внахлестку разработан инструмент¹² серии Flared Triflute™ (рис. 4, в). В нахлесточном сварном соединении свариваемые поверхности раздела соединяемых элементов ориентированы в плоскости, перпендикулярной оси инструмента, в отличие от соединения встык, когда ось инструмента находится в плоскости стыка. Это существенно меняет задачу, решаемую с помощью инструмента. Если при сварке встык инструмент MX Triflute™ должен обеспечивать получение наиболее узкого шва, то при

сварке внахлестку необходим более широкий охват контактных поверхностей соединяемых элементов с целью получения наибольшей зоны с металлической связью по контактным поверхностям. Для решения такой задачи были предложены инструменты серии Flared Triflute™ (см. рис. 4, в).

Для соединения внахлестку, особенно в изделиях, работающих в условиях усталостного нагружения, важнейшими условиями прочности являются достаточная ширина шва и малая величина отклонения границы соединяемых деталей в зоне ее сближения с границей шва, а также отсутствие скопления частиц оксида на границах [9, 10].

На рис. 4, в приведен рабочий стержень инструмента Flared Triflute™ для сварки внахлестку с тремя прямыми проточками, расширяющейся к концу для увеличения диаметра зоны обработки. Благодаря этим особенностям инструмента интенсифицируется течение материала вокруг рабочего стержня и под ним, улучшается перемешивание материала, фрагментизация и диспергирование оксидов в зоне сварки [5].

Большее увеличение рабочего пространства стержня при его вращении без увеличения его собственного объема получено в работе [11] за счет наклона оси рабочего стержня инструмента Skew относительно оси шпинделя станка (оси вращения инструмента) (рис. 7). Положение фокуса на оси вращения влияет на амплитуду орбитального вращения опорного бурта. Особенностью Skew-инструмента является также возможность дополнительного уменьшения объема стержня за счет удаления его внутренней части, поскольку из-за наклона оси стержня она практически не включается в работу над свариваемым материалом при вращении стержня. В работе [5] утверждается, что по сравнению с обычным инструментом применение Skew-инструмента позволило снизить на 20 % осевое усилие, действующее на инструмент, увеличить скорость сварки в 2 раза и получить соединение с лучшими

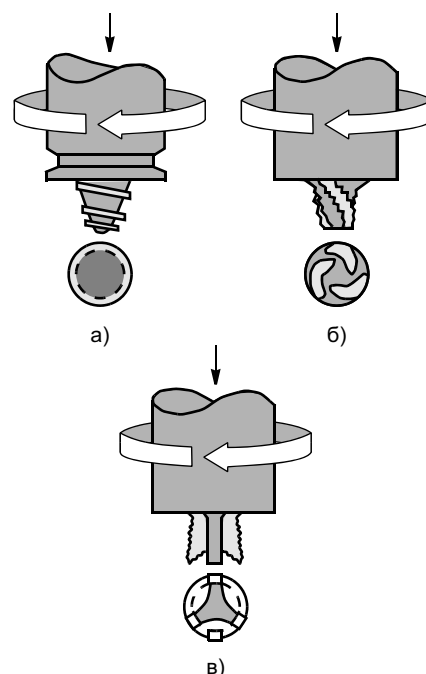


Рис. 4. Инструменты для СТП: а — Whorl™; б — MX Triflute™ — для соединения встык; в — Flared Triflute™ — для соединения внахлестку

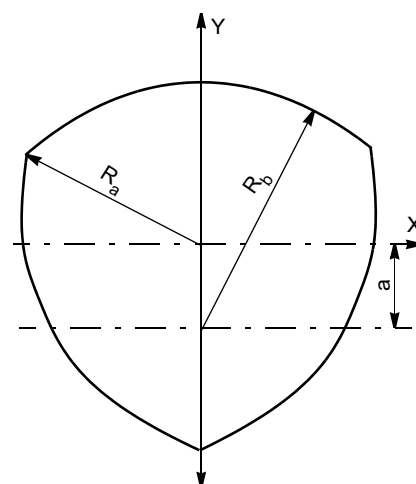


Рис. 5. Форма поперечного сечения рабочего стержня инструмента Trivex™

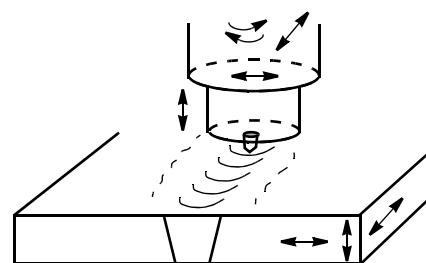


Рис. 6. Направления принудительных колебаний инструмента при СТП

⁹ Европейский патент 0810055.

¹⁰ Патент 19953260 (Германия).

¹¹ Патент 2277465 (РФ).

¹² Патент WO 99/58288.

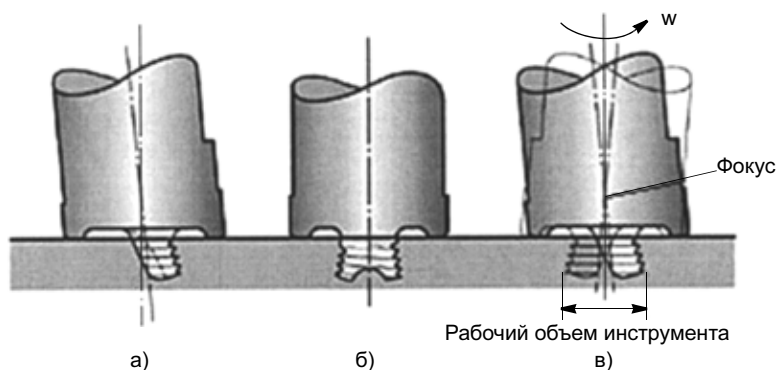


Рис. 7. Принципиальная конструкция инструмента Skew™: а — вид сбоку; б — вид спереди; в — вращающийся инструмент

характеристиками. До минимума доведен объем рабочего стержня в серии инструментов¹³, что обеспечило их высокую эффективность.

Систематические работы TWI по процессу СТП привели к разработке различных конструкций инструмента и технологических схем этого процесса [11—19 и др.].

В работе [14] описаны особенности технологической схемы сварки Re-Stir™, которая заключается в циклическом возвратно-вращательном движении инструмента^{14, 15}. Это решило проблему асимметрии швов, присущую традиционному процессу СТП. Швы имеют симметричную форму (рис. 8) и высокие усталостные характеристики, однако, по мнению авторов, до промышленного применения процесса Re-Stir™ требуется более детальное его исследование и оптимизация режимов сварки.

Способ СТП с одновременным использованием двух и более инструментов (технология Twin-Stir™) предложен¹⁴ для нескольких вариантов технологической схемы (рис. 9): параллельное перемещение двух инструментов; тандем — перемещение инструментов друг за другом по линии стыка; перемещение инструментов со смещением (Staggered) — для обеспечения проработки краевых зон, что очень важно при соединении внахлестку.

При сварке по варианту Twin-Stir™ с параллельно рас-

положенными инструментами (рис. 9, а) возможно утонение верхней пластины (при крутом изгибе границы контактных поверхностей соединяемых пластин вблизи грани-

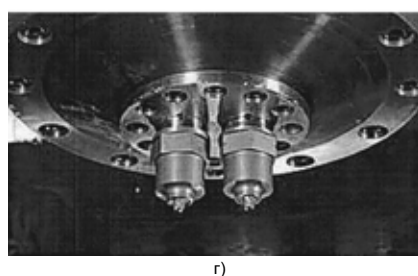
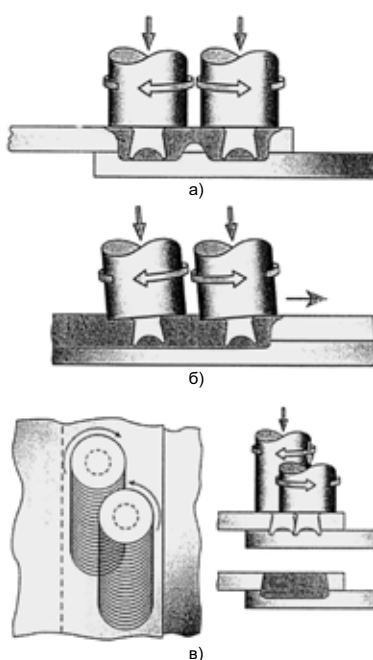


Рис. 9. Варианты технологических схем Twin-Stir™ (а—в) и экспериментальная головка (г) при перемещении инструментов по стыку: а — параллельном (Twin-Stir™); б — тандем (Tandem Twin-Stir™); в — со смещением (Staggered Twin-Stir™)

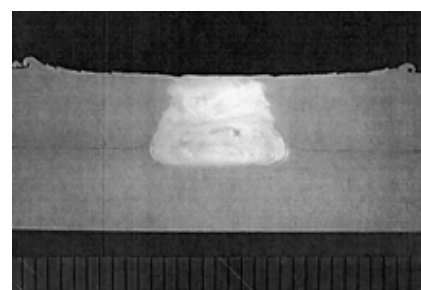


Рис. 8. Макрошлиф шва, выполненного СТП по схеме Re-Stir™ ($v_{св} = 198$ мм/мин, реверс вращения — через 10 оборотов, сплав 5083, толщина листа 6 мм, инструмент Flared Triflute™)

цы шва). После отработки конструкции головки и технологии Twin-Stir™ [19] благодаря дополнительному тепловложению можно повысить скорость сварки при меньшей скорости вращения инструмента, уменьшить асимметрию швов, а также уменьшить усилие перемещения и крутящий момент на инструменте.

При сварке по тандем-схеме Twin-Stir™ (рис. 9, б) производят дополнительный подогрев первым инструментом, что облегчает работу второго инструмента и позволяет увеличивать толщину соединяемых деталей. В работе [16] отмечается также получение более измельченных зерен и остаточных оксидов в шве.

Схема тандем Twin-Stir™ включает вариант сварки¹⁴ инструментами, расположенными с разных сторон соединяемых пластин. Это позволяет соединять детали вдвое большей толщины. Однако такая схема так же как и схема Re-Stir™ нуждается в дальнейших исследованиях.

При технологической схеме сварки Staggered Twin-Stir™ с поперечным смещением двух инструментов относительно друг друга швы первого инструмента частично перекрывают швом второго инструмента (см. рис. 9, в), что позволяет формировать зону соединения внахлестку шириной до 4,3 толщины верхнего свариваемого листа. В зоне перекрытия двух швов дополнительно разрушаются остаточные оксиды и измельчается структура. Эффект достигается [16] при встречном вращении инструментов

¹³ Патент 6.325273 (США).

¹⁴ Европейский патент 0615480.

¹⁵ Патент WO 96/38256.

в их передней (в направлении движения по стыку) части.

На основе процесса СТП в TWI разрабатывается технологическая схема получения деталей различной формы [13], близкой к чистой, путем наращивания слоев листового или порошкового материала (технология ProStir™) (рис. 10). Отмечаются преимущества этого способа перед традиционным методом изготовления таких деталей механической обработкой: относительно быстрый и легко управляемый процесс, требующий меньших площадей под оборудование и энергозатрат; относительно высокоскоростной процесс; трехмерная техника процесса, незначительное коробление; возможность получения различных свойств в разных участках приваркой соответствующего материала; независимость процесса в твердой фазе от гравитации позволяет производить сварку крупногабаритных конструкций.

Можно отметить также технологические схемы с введением в зону соединения дополнительной тепловой энергии, предложенные для СТП деталей с большой толщиной соединяемых кромок или из материалов с повышенной температурой перехода в пластическое состояние. В качестве источников дополнительного подогрева помимо Tandem-TwinStir™ [16] были предложены лазерный луч^{16, 17}, высокочастотный индуктор¹⁸, активное сопротивление^{19, 20}. При подогреве появляется возможность увеличения скорости сварки и уменьшения частоты вращения инструмента, что снижает вероятность перегрева и оплавления металла под опорным буртом.

В работе [12] исследовано воздействие внешнего электростатического поля на металлургические процессы в шве при СТП сплава системы Al—Cu—Mg. Установлено, что под воздействием электростатического поля уменьшается раз-

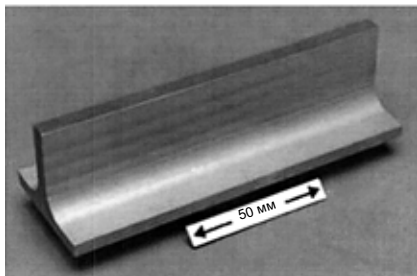
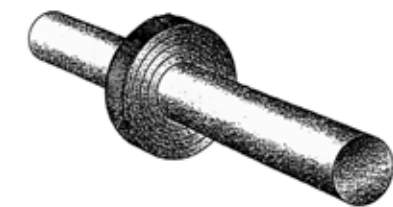


Рис. 10. Детали из сплава 5083, изготовленные способом Pro-Stir™

мер субзерен, их распределение становится более равномерным, увеличивается количество дисперсных выделений второй фазы, твердость металла повышается и выравнивается по сечению шва.

При разделении приводов вращения рабочего стержня и корпуса инструмента с опорным буртом стало возможным, не изменяя частоты вращения рабочего стержня, уменьшить частоту вращения опорного бурта и тем самым снизить термический градиент между центральной зоной (около рабочего стержня) и периферийной (под опорным буртом). Это также уменьшает опасность перегрева и оплавления металла под краем опорного бурта, разупрочнения металла в ЗТВ и снижает склонность к коррозии [13].

На ранней стадии разработки процесса СТП во многих работах отмечалось в качестве недостатка образование кратера в конце шва после выведения из него инструмента. Этот недостаток особенно усложнял сварку замкнутых (кольцевых, круговых) и других швов при отсутствии припусков. Для выведения инструмента из шва без образования кратера предложено устанавливать на участок перекрытия шва (или в конце шва в стороне от него) технологический клин²¹. Вращающийся инструмент продолжает

движение по клину, при этом рабочий стержень выводится на поверхность шва. Однако этот способ увеличивает трудоемкость процесса и не всегда может быть применен.

Раздельные приводы осевого перемещения и вращения рабочего стержня и корпуса с опорным буртом инструмента позволили отказаться от технологического клина и выполнять замкнутый шов без образования кратера при постепенном подъеме рабочего стержня на поверхность шва и движении вращающегося инструмента по зоне перекрытия начального участка шва. Кроме того, решается ряд других проблем:

- заварка отверстия (сквозного и несквозного), в том числе кратера или отверстия после выборки дефекта;

- возможность сварки одним инструментом деталей разной толщины, а также с переменной толщиной пары соединяемых кромок;

- возможность изготовления рабочего стержня и корпуса инструмента из разных материалов;

- снижение трудоемкости изготовления инструмента и повышение его рабочего ресурса.

Разделение приводов вращения и осевого перемещения стержня и корпуса инструмента обеспечило дальнейшее совершенствование технологических схем сварки и, что не менее важно, развитие ремонтных технологий.

Технологии исправления этих дефектов в большинстве случаев включают операцию заварки отверстия, остающегося после удаления дефектного места. В многочисленных работах подтверждается высокая прочность точечного соединения СТП как после сварки [20, 21, 23—28], так и после ремонта [19, 22, 29—31].

В работе [28] к типовым дефектам швов при СТП относят внутренние несплошности, скопления недостаточно диспергированных оксидов, образующихся при сварке на больших скоростях плит с механически необработанной поверхностью, и корневую несплошность. Можно было бы назвать и другие возможные дефекты.

¹⁶ Патент WO 02/074479.

¹⁷ Европейский патент 01/08345.

¹⁸ Патент 99/000421 (Норвегия).

¹⁹ Европейский патент 7.716/959.

²⁰ Патент 98/00613 (Швеция).

²¹ Патент 00/00784 (Германия).

Для предупреждения корневой несплошности (непровара) между торцами соединяемых кромок²² предлагается устанавливать под линию стыка технологическую подкладку с канавкой. В этом случае дефектная зона с непроваром выдавливается в канавку и затем удаляется механической обработкой. Однако эффективность канавки под стыком связана с наличием аномальной тепловой границы над канавкой и, следовательно, лучшим прогревом корневой зоны стыка.

Практический интерес представляет предложение²³ использовать вместо рабочего стержня из твердого материала расходный прут из образующего шов материала. При фрикционном нагреве вращающегося прутка под осевым давлением пластический материал прутка наращивается на разогретую поверхность разделки (или отверстия), заполняя ее. Предлагается осуществлять сварку заклепками по аналогичной схеме²⁴. Также в отверстие вводят вращающуюся пробку несколько большего диаметра, чем диаметр отверстия, запрессовывают ее, и в результате образуется пробковый шов²⁵.

Ранее отмечалось, что с увеличением толщины соединяемых деталей растет нагрузка на инструмент, требующая его усиления. С этой целью в работах [32—34] используются разные материалы для рабочего стержня и опорного бурта: для стержня — инструментальная сталь H13, для опорного бурта — сплав MP159 (Co—Ni—Cr). Такой инструмент со спиральной нарезкой на рабочем стержне обеспечил хорошее качество угловых швов толстенных плит толщиной до 40 мм из алюминиевых сплавов 5083 и 2195 при сварке на следующем режиме: частота вращения инструмента 225 об/мин, скорость сварки 15,2 мм/мин.

Серьезная проблема возникает при сварке материалов с более высокими, чем у алюминиевых спла-

вов термомеханическими характеристиками — титановых сплавов, сталей и других материалов. Основным в решении этой проблемы является создание инструмента, работоспособного при высоких напряжениях и температурах.

В работе [33] приведены результаты испытаний пяти материалов для опорного бурта инструмента: суперсплава инконель 718; суперсплава нимоник 105; циркониевой инженерной керамики; твердого сплава (94 % WC + 6 % Co) и интерметаллидного сплава на основе силицида никеля (G-сплав, Ni₃(Si, Ti, Cr)). Построены зависимости ширины ЗТВ от скоростей сварки и вращения инструмента, а также от нагрузки для каждого из материалов опорного бурта. На основании анализов этих зависимостей сделан вывод о превосходстве циркониевой инженерной керамики над остальными материалами: расчетная величина тепловложения в шов при использовании этого материала для опорного бурта на 30—40 % выше в зависимости от режима сварки. Это позволяет соответственно повысить скорость сварки. Показано также, что циркониевое покрытие поверхности опорной плиты под стыком также снижает теплоотвод, что позволяет дополнительно повысить скорость сварки с 5 до 15 мм/с.

В ранних публикациях [7, 32] на основании предварительных исследований утверждается, что СТП может быть применена в производстве конструкций из титановых сплавов, сталей и других высокопрочных материалов. В работе [35] сообщается об успешном опробовании СТП сплавов на основе Mg, Zn, Cu, Ti и о возможной перспективе сварки низкоуглеродистой стали, однако не приводятся конкретные результаты.

В работе [36] приведены результаты исследования структуры и механических свойств соединений СТП с предварительным подогревом до 300 °С стали HSLA-65 толщиной 6,4 и 12,7 мм для судостроения. Получены равнопрочные соединения с разрушением при испытании по основному материалу.

О технологии СТП стали и применяемом инструменте не сообщается.

Фирмой General Electric Co получен патент²⁶ на сварку высокопрочных материалов — сплавов титана, никеля. Инструмент изготовлен из тугоплавкого вольфрама с добавками рения, молибдена, тантала или ниобия, образующих с вольфрамом упрочняющие твердые растворы. Инструмент можно также выполнять из жаростойкого карбида вольфрама, полученного спеканием, спеканием и прессованием, а также литьем и прессованием. С применением инструмента, изготовленного из вольфрамового сплава литьем и прессованием, содержащим около 4 % рения и 0,5 % карбида гафния, успешно сварен опытный образец из титановых сплавов в разноименном сочетании: Ti17 + Ti—6Al—4V.

Изготовлен и испытан инструмент, рабочий стержень которого выполнен из молибдена [37]. При сварке этим инструментом плит из алюминиевого сплава толщиной до 40 мм получено хорошее качество шва, следы износа инструмента не обнаружены.

В Университете Brigham Young совместно с фирмой Advanced Metal Products разработан новый материал [38] на основе поликристаллического кубического нитрида бора PCBN. Инструмент со вставкой из PCBN в виде опорного бурта с рабочим стержнем (рис. 11) был испытан при сварке коррозионно-стойких сталей 316L и 301, а также сплава 600 и сохранял работоспособность при нагреве до 1200 °С. Отмечается повышенная долговечность инструмента: при сварке шва длиной 15 м и на стали 316L толщиной 3,2 мм инструмент не разрушился: долговечность на порядок больше, чем при сварке обычным стальным инструментом.

Необходимо отметить публикации об исследовании особенностей и разработке технологических схем СТП разнородных материалов.

В работе [39] исследовали влияние скорости сварки, положе-

²² Европейский патент 0.810.054.

²³ Патент WO 02/05880.

²⁴ Патент WO 02/062518.

²⁵ Патент 2368309 (Великобритания).

²⁶ Патент 2.402.905 (Великобритания).

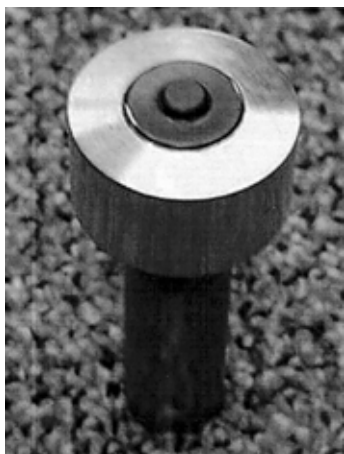


Рис. 11. Инструмент со вставкой из поликристаллического кубического нитрида PCBN с защитной стальной втулкой для восприятия боковых усилий

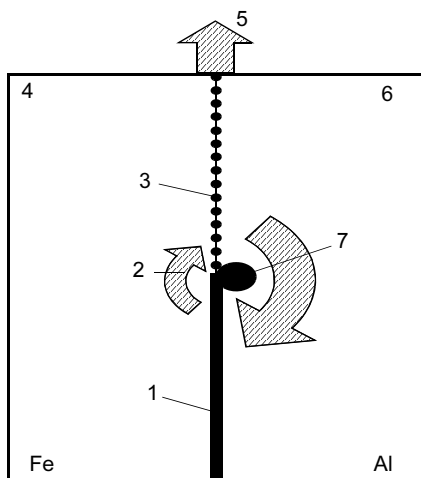


Рис. 12. Технологическая схема СТП алюминиевого сплава со сталью: 1 — активизируемая зона; 2 — направление вращения; 3 — неактивированная зона; 4, 6 — сторона сложения и разности векторов скоростей сварки и вращения инструмента соответственно; 5 — направление сварки; 7 — инструмент

ния оси инструмента относительно линии стыка, его диаметра и направления вращения на формирование и свойства шва при СТП алюминиевого сплава 5083 с низкоуглеродистой сталью (с пределом прочности соответственно 275 и 455 МПа). Показано, что при оптимальном положении оси инструмента его рабочий стержень должен быть погружен в менее прочный материал (алюминиевый сплав) и немного углублен (на 0,2 мм) в более прочный материал (сталь). Соединение может быть получено только при условии перемещения разогре-

того до пластического состояния алюминия в активированную зону (рис. 12). В работе [40] отмечается, что при СТП алюминиевого сплава Al 1050 с магниевым сплавом AZ31 условием качественного формирования шва также должно быть согласование направления вращения инструмента относительно линии стыка с направлением скорости сварки. Это условие согласуется с положениями, содержащимися в патенте²⁷.

В заключение можно отметить, что из зарегистрированных за последние пять лет более 500 патентов по процессу СТП значительная часть касается конструкции инструмента. Однако наряду с интересными решениями информация, содержащаяся во многих из них, либо не является новой, либо не отвечает критерию полезности, либо недостаточно обоснована. Такие патенты засоряют информационное поле и затрудняют поиск полезной информации. Можно согласиться с предупреждением о вреде "наводнения" промышленности большим количеством концепций по инструменту.

Увеличилось число статей и докладов, содержащих результаты глубокого исследования научных аспектов СТП, таких как термомеханические процессы, закономерности пластического течения, степенной деформации, формирования структуры зон соединения; система автоматического адаптивного управления параметрами процесса и другие теоретические и экспериментальные исследования. Результаты этих исследований, разработка технологических схем и инструментов для разных практических задач создают основу для разработки и применения технологий СТП в производстве изделий ответственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thomas W. M. et al. Tool technology — the heart of FSW // Connect, July / August 2000, <http://www.twi.co.uk/connect/iuly00/c1073a.html>
2. Thomas W. M. Friction stir welding and related friction process characteristics // 7th Jnalco Conf., Cambridge, 1998. April.
3. Smith I. J. Innovations in improvements of friction stir welding tools // Welding Metal Fabrication. 1995. June.
4. Kalle S. et al. Industrialization of friction stir welding for application in aerospace structure // Structures and technologies — prospect for future launchers. 3rd European Conference, Strasbourg. 2000. December.
5. Thomas W. M., Dolbi R. E. Friction stir welding developments // 6th International conference on Trends in welding research. Georgia (USA). 2002. April.
6. Thomas W. M. et al. // Friction Stir welding — developments of tools // TMS Annual Assembly and exposition on joining of Aluminium. New Orleans (USA). 2001. February.
7. Nicholas E. D., Kalle, Stephan W. Friction Stir Welding — a decade on // IIV Asian Pacific International Congress. Sydney. 2000. October — November.
8. Colegrove P., Shercliff H., Threadgill P. Modelling and development of the Trivex™ Friction Stir Welding Tool // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah (USA). 2003. May.
9. Cederqvist L., Reynolds A. P. Properties of Friction Stir Welded aluminium lap joints // 2nd International Symposium on FSW. Gothenburg (Sweden). 2000. June.
10. Matsumoto Koichi, Sasobe S. Lap joints of aluminium alloys by Friction Stir Welding // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.
11. Thomas W. M. Skew-Stir Technology // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.
12. Fu L., Du S. G. Metallurgical Characterization of a friction welded aluminum alloy subjected to an external electrostatic field // Welding Journal. 2004. N 8. P. 232—236.
13. Thomas W. M. et al. Friction Stir Welding — Process developments for aluminium applications // Conference and exhibition "Aluminium in transport". Moscow (Russia). 2005. April.
14. Reversal stir welding — Re-Stir™ — Preliminary trials / W. M. Thomas, D. C. Staines, E. D. Nicholas, P. Evans // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah (USA). 2003. May.
15. Dual-rotation stir welding — preliminary trials / E. R. Watts, D. C. Staines, W. M. Thomas, E. D. Nicholas // Published on the internet. 2004. April.
16. The simultaneous use of two or more Friction Stir Welding tools / W. M. Thomas, D. C. Staines, E. R. Watts, J. M. Norris // Published on the internet, 2005. 13th January.
17. Friction Stir Welding technology — preliminary studies of variant techniques — part 1 / W. M. Thomas, C. Wiesner, D. C. Staines, J. M. Norris // Welding and Cutting Journal. 2006. N 6. P. 339—344.
18. Catin G. M. D. et al. Friction Skew — stir welding of lap joints in 5083-0 aluminium // Science and technology of welding and joining. 2005. Vol. 10. N 1.
19. Friction based welding technology for aluminium / W. M. Thomas, E. D. Nicholas, E. R. Watts, D. G. Staines // The 8th international conference on Aluminium alloys. Cambridge, UK. 2002. July.
20. A preliminary investigation on the static properties of Friction Stir Spot welds /

²⁷ Патент 00/00066 (Норвегия).

C. Schilling, A. Strombeck, J. F. Santos, N. Heesen // 2nd International Symposium on FSW. Gothenburg (Sweden). 2000. June.

21. Addison A. C., Robelou A. J. Friction Stir Spot Welding — principal parameters and their effects // 5th International Symposium on FSW. Metz. (France). 2004. September.

22. Spot Friction Welding for sheet aluminium joining / T. Y. Pan, A. Joaaynin, D. E. Wilkasz et al. // 5th International Symposium on FSW. Metz. (France). 2004. September.

23. Shepherd G. E. The potential for using solid phase welding to repair cracks that may occur on thin aluminium aircraft wing structure // 2nd International Symposium on FSW. Gothenburg (Sweden). 2000. June.

24. Fujimoto M. et al. Development of Spot Friction Stir Welding robot system for automobile body members // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.

25. Pan T. Y. Spot Friction weld bond with adhesives for sheet aluminium joining // 6th International Symposium on Friction Stir Welding. Montreal (Canada). 2006. October.

26. Kyffin W. J. et al. Recent developments in Friction Stir Spot Welding for automotive steels // 6th International Symposium on Friction Stir Welding. Montreal (Canada). 2006. October.

27. Badarinarayan H. Process development and material property evolution of FS stitch welded sheet metal (Al) // 6th International Symposium on Friction Stir Welding. Montreal (Canada). 2006. October.

28. Uematsu Y. Effect of welding condition on tensile strength of dissimilar FS Spot welds between different Al alloys // 6th International Symposium on Friction Stir Welding. Montreal (Canada). 2006. October.

29. Leonard A. J., Lackyer. Flaws in Friction Stir welds // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah (USA). 2003. May.

30. Johnson R., Threadgill P. Processing implications from evaluating repaired Friction Stir welds // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.

31. Hartley P. Friction plug weld repair of space shuttle external tank // Welding and Metal Fabrication Journal. 2000. N 9. P. 6—8.

32. Dawes C. J., Thomas W. M. Development of improved tool designs for Friction Stir welding of aluminium // 1st International Symposium on Friction Stir Welding, California (USA). 1999. June.

33. Midling O. T. Effect of tool shoulder material on heat input during Friction Stir welding // 1st International Symposium on

Friction Stir Welding. California (USA). 1999. June.

34. Colligan K., Ternan K., Pickens J. R. FSW of thick section corner joints in aluminium alloys // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.

35. Schuler V. FSW — Possibilities and application // Proc. of the int. conf. on the joining of materials. JOM-10. Helsingor — Denmark, 2001. P. 238—257.

36. Konkol P. et al. Friction Stir welding of HSLA-65 steel for shipbuilding // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.

37. Rowe C. E. D., Thomas W. M. Advances in tooling material for FSW // www.innovattec.com/iom3_dt/rowe-matcong.pdf.

38. Sorensen C. D., Nelson T. W. Tool Material Testing for FSW of High-Temperature Alloys // 3rd International Symposium on Friction Stir Welding. Kobe (Japan). 2001. September.

39. Kimapong K., Watanabe T. Friction Stir welding of aluminium alloy to steel // Welding Journal. 2004. N 10. P. 277—282.

40. Dissimilar FSW of Al alloy 1050 and Mg alloy AZ31 / S. H. C. Park, M. Michiuchi, Y. S. Sato, H. Kokava // IWC-Korea, 2002.



PERYTONE
INDUSTRIAL

СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
MMA MIG/MAG TIG AC/DC SAW

- ✓ Инверторные источники для ручной дуговой сварки покрытым электродом
- ✓ Полуавтоматы с синергетическим управлением для сварки сталей и алюминия импульсным или постоянным током
- ✓ Установки для аргонодуговой сварки постоянным и переменным током
- ✓ Установки для ручной плазменной резки
- ✓ Позиционеры и кантователи
- ✓ Системы удаления и фильтрации дымов
- ✓ Средства защиты для сварщика



ГАРАНТИЯ ДОСТАВКА СЕРВИС

ТЕСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЗАКАЗЧИКА

www.perytone.ru

(495) 995 55 53

Публикуется на правах рекламы

Ю. А. СТЕПАНОВ, инж., О. В. ВАХРУШЕВ, инж., А. Н. ТРОФИМОВА, инж.
ФГУП "ПО Уралвагонзавод" (Нижний Тагил)

Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений

На ФГУП "ПО Уралвагонзавод" — одном из ведущих предприятий в области грузового вагоностроения — за короткий период спроектирован и освоен выпуск более 20 моделей цистерн. В связи с введением в технологию производства так называемого межоперационного покрытия для защиты от коррозии подготовленной поверхности стальных листов на период хранения между производственными операциями возникла необходимость сварки по грунтовке, для чего необходимо было определить влияние защитных покрытий на механические свойства сварных соединений и концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

В качестве основного металла использовали листовой прокат 09Г2С 14-й категории по ГОСТ 5520—79 толщиной 12 мм производства ОАО "Алчевский металлургический комбинат", применяемый при изготовлении котлов цистерн. При исследовании опробовали покрытия трех марок: ВЛ-023 (ГОСТ 12707—77), ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 (ТУ 2312-039-12288799—2004) производства ЗАО "Высокодисперсные металлические порошки".

Покрытие ВЛ-023 — фосфатирующая грунтовка, представляющая смесь двух компонентов — основы и кислотного разбавителя. Согласно ГОСТ 12707—77, толщина пленки должна составлять 15—18 мкм. Очистку дробью и покрытие основного металла грунтом ВЛ-023 проводили на линии "Гутман" Уралмашзавода (Екатеринбург). Толщина слоя покрытия составляла около 16 мкм. Замер производили прибором "Константа".

Этилсиликатная грунтовка ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 представляет двухкомпонентный состав, состоящий из основы — пасты цинкового порошка и связующего — рас-

творителя гидролизованного этилсиката в органическом растворителе. Марки ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 отличаются содержанием цинка и железного порошка. Рекомендуемая толщина покрытия для межоперационной защиты на срок до одного года составляет 15—20 мкм.

Поверхность образцов-пластин подготовлена пескоструйным методом, перед окраской образцы обезжировали уайт-спиритом. Грунтовку наносили методом пневматического распыления. Толщину покрытия определяли прибором Elcometer 456. Средняя толщина покрытия ЦВЭС-МО1 составляла 21 мкм, ЦВЭС-МО2 — 18 мкм.

При проведении работы использовали сварочные материалы, применяемые в серийной технологии: сварочную проволоку Св-08ГА диаметром 4 мм (ГОСТ 2246—70) и флюс АН-348А (ГОСТ 9087—81) при автоматической сварке под флюсом; проволоку Св-08Г2С диаметром 1,6 мм (ГОСТ 2246—70) и диоксид углерода (ГОСТ 8050—85) при механизированной сварке в защитных газах.

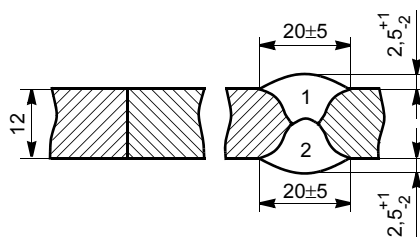


Рис. 1. Вид сварного соединения и раскладка швов

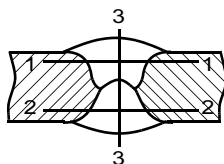


Рис. 2. Расположение линий для замера твердости

Влияние защитного грунта оценивали по качеству сварных соединений образцов, сваренных по покрытию и без покрытия. Сварку выполняли на автомате А-1416 с источником питания ВДУ-1250 и полуавтомате Kemppi PS-5000 на режимах, применяемых при серийном изготовлении котлов нефтеналивных цистерн.

Вид соединения и раскладка швов приведены на рис. 1.

Результаты ультразвукового и рентгенографического контроля подтвердили соответствие качества всех сварных швов требованиям технических условий (ТУ). Металлографические исследования сварных образцов также не выявили наличия каких-либо дефектов в наплавленном металле и ЗТВ. Микроструктура и твердость всех образцов идентичны. Микроструктура основного металла состоит из феррита и перлита с перлитной полосчатостью, наплавленного металла — из сорбитообразного перлита и феррита столбчатого строения. Результаты замера твердости по Виккерсу представлены в табл. 1. Твердость измеряли по линиям 1—1, 2—2, 3—3 в соответствии с рис. 2.

Согласно ТУ, предел прочности сварного соединения должен быть не ниже предела прочности основного металла (470 МПа), статический угол изгиба — 80°, ударная вязкость KCU^{-50} на трех образцах — не менее 30 Дж/см². Допускается снижение ударной вязкости на одном образце до 25 Дж/см².

Результаты испытаний на разрыв и изгиб образцов для покрытий всех марок удовлетворяют требованиям ТУ.

При проведении механических испытаний на ударный изгиб установили, что покрытия отрицательно воздействуют на ударную вязкость. При сварке по грунтовке

Таблица 1

Линия	Твердость, HRC				
	Основной металл 09Г2С	ЗТВ	Сварной шов	ЗТВ	Основной металл 09Г2С
1—1	172—171— 171—168	183—180	168—168— 180—171— 168	171—180	168—168— 171
2—2	171—169— 175—168— 171	183—180	174—171— 168	182	171—175— 171
3—3	—	—	172—177— 186—171— 175	—	—

Таблица 2

Ударная вязкость KCU^{-50} , Дж/см ²			
Без покрытия	ВЛ-023	ЦВЭС-МО1	ЦВЭС-МО2
27,0	22,0	26,0	23,0
37,0	16,0	15,0	37,0
39,0	15,0	17,0	16,0
42,0	27,0	40,0	20,0
31,0	17,0	42,0	20,0
25,0	17,0	27,0	61,0

Таблица 3

Определяемый ингредиент	ПДК, мг/м ³	Концентрация вредных веществ при сварке, мг/м ³							
		Автоматическая под флюсом				Механизированная в СО ₂			
		ЦВЭС-МО1	ЦВЭС-МО2	ВЛ-023	Без грунтовок	ЦВЭС-МО1	ЦВЭС-МО2	ВЛ-023	Без грунтовок
Гидрофторид	0,5	<0,0029	<0,0029	22,8 ± 5,7	<0,0028	<0,0029	<0,0029	0,97 ± 0,3	—
Марганец в сварочном аэрозоле	0,6	0,06 ± 0,12	0,01 ± 0,12	0,094 ± 0,12	0,048	<0,049	<0,049	0,065 ± 0,12	0,12 ± 0,12
Триоксид дижелеза в сварочном аэрозоле	6,0	<2,1	<2,1	—	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,13
Кремния диоксид аморфный при содержании 0,41 %	3,0	3,15 ± 0,63	2,4 ± 0,6	2,87 ± 0,6	0,99	1,22 ± 0,6	3,9 ± 0,7	1,82 ± 0,6	1,49 ± 0,6
Фенолформальдегидные смолы (контроль по фенолу)	0,1	0,016 ± 0,004	0,011 ± 0,003	0,04 ± 0,025	—	0,015 ± 0,003	0,0164 ± 0,004	0,117 ± 0,029	—
Фенолформальдегидные смолы (контроль по формальдегиду)	0,05	0,036 ± 0,009	0,04 ± 0,01	0,062 ± 0,016	—	0,083 ± 0,02	0,083 ± 0,021	0,068 ± 0,017	—
Цинка оксид	1,5	0,54 ± 0,14	0,396 ± 0,099	<0,096	—	0,74 ± 0,19	0,64 ± 0,16	<0,096	—

ВЛ-023 проволокой Св-08ГА под флюсом АН-348А значения KCU^{-50} не удовлетворяют требованиям ТУ и составляют 50—60 % от результатов, полученных при сварке незагрунтованных образцов. При сварке по покрытиям ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 результаты снижаются на 15—20 % и также не удовлетворяют требованиям ТУ на изделие.

Результаты испытаний на ударный изгиб представлены в табл. 2.

При механизированной сварке проволокой Св-08Г2С в СО₂ значения ударной вязкости удовлетворяют требованиям ТУ при использовании покрытия всех марок¹.

Замер концентрации вредных веществ, выделяющихся при свар-

ке по покрытиям, проводили при наплавке на загрунтованные и негрунтованные пластины на режимах серийной технологии. Замеры² проводили при работающей вентиляции. Результаты замеров представлены в табл. 3.

По результатам замеров концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии с Р2.2.2006-05 установлено, что при автоматической сварке под флюсом и механизированной сварке в СО₂ по покрытиям ЦВЭС-МО условия труда на рабочем месте соответствуют 3-му классу 1-й степени, при сварке по покрытию ВЛ-023 — 4-му классу при сварке под флюсом

и 3-му классу 2-й степени при сварке в углекислом газе.

ВЫВОДЫ

1. Применение межоперационного покрытия при изготовлении котлов цистерн возможно при механизированной сварке в защитном газе. При этом рабочее место должно быть оборудовано местной вытяжной вентиляцией и средствами индивидуальной защиты органов дыхания типа респираторов РПГ, ЗМ и др.

2. При автоматической сварке под флюсом применение защитных покрытий ВЛ-023, ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 ведет к снижению показателей ударной вязкости и ухудшает состояние воздушной среды. В данном случае необходимо удалять покрытия со свариваемых кромок.

¹ Механические и металлографические исследования проводили в ЦИИМ ФГУП "ПО Уралвагонзавод".

² Замеры выполняли в промышленно-санитарной лабораторией ФГУП "ПО Уралвагонзавод".

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

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

Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление

Развитие современной техники характеризуется дальнейшей интенсификацией режимов работы машин, аппаратов, механизмов и др., что приводит к увеличению эксплуатационных температур, давлений, скоростей, т. е. повышению нагрузок на рабочую поверхность деталей, и особенно работающих в подвижном сопряжении. Это обстоятельство поднимает актуальность проблемы надежности и ресурса узлов и деталей машин и изделия в целом на более высокий уровень.

Известно, что основной причиной отказов в работе машин и других технических изделий является не их поломка, а износ рабочих поверхностей деталей.

Решение проблем повышения надежности и ресурса различного вида технических устройств на современном этапе развития науки и техники осуществляется по ряду направлений, в том числе [1—4] и др.:

- модернизация существующих устройств;
- повышение эксплуатационных характеристик (показателей качества) деталей за счет замены конструкционных материалов новыми с улучшенными химико-физико-механическими свойствами;
- создание принципиально новых конструкций изделий.

Повышение надежности и ресурса деталей путем замены конструкционных материалов обнаружило важное обстоятельство: материалы "старого типа" в условиях интенсивных режимов работы не обеспечивают высокие требования надежности. Такое положение сдерживает развитие новой техники, что в свою очередь вызывает необходимость проведения следующих работ [1, 3, 5]:

- разработку новых перспективных конструкционных материалов на базе модернизированных и принципиально новых металлургических процессов, новых типов смазок, новых типов защитных покрытий на рабочей поверхности деталей машин, в том числе антифрикционных, износостойких с использованием прогрессивных технологий;
- проектирование деталей композиционной структуры, у которых конструкционная основа изготовлена из недорогого, но обеспечивающего номинальную механическую прочность материала, поверх которого нанесен рабочий слой из материала, обеспечивающего заданные функциональные свойства рабочей поверхности. Функциональные

покрытия могут состоять из одного однородного или гетерогенного слоя, а также иметь многослойную структуру.

В современной промышленности способы нанесения функциональных покрытий группируют и классифицируют по определенному принципу, при этом имеет место взаимное внедрение одной классификации в другую, что заставляет глубже дифференцировать и интегрировать общие схемы способов покрытий.

Ниже приведена классификация функциональных покрытий [1, 5 и др.] и способы их нанесения:

- химико-термические диффузионные покрытия (из твердой, паровой фаз, конденсацией пара, из газовой и жидкой фаз и др.);
- электрохимические покрытия (из расплавов, водных растворов, газовой фазы и др.);
- химические покрытия (из растворов, газовой фазы и др.);
- термомеханические (адгезионные) покрытия (плакирование взрывом, окунание в расплав, плакирование механическое, металлизация в вакууме, газопламенное, плазменное, детонационное и др.).

Приведенные способы нанесения покрытий не являются исчерпывающими, однако охватывают обширную технологическую картину, а представленная структурная укрупненная классификационная схема допускает ее развитие.

В современной технологии упрочнения и восстановления деталей машин все большее применение находит метод нанесения газотермических покрытий, что обусловлено высокими технико-экономическими, санитарно-гигиеническими и экологическими параметрами процесса. К данному методу нанесения покрытий относятся газопламенное напыление, плазменное (дуговое, высокочастотное), электродуговое, детонационное (ГОСТ 28076—89).

Ниже приведен анализ данных способов газотермического нанесения покрытий.

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Способ газопламенного напыления покрытий основан на использовании термической и кинетической энергии высокотемпературной (около 3000 °С) газовой струи, истекающей из сопла специального устройства — горелки (пистолета). При этом напыляемый

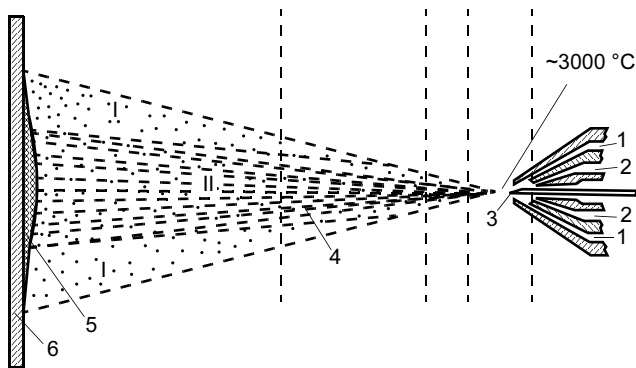


Рис. 1. Схема газопламенного напыления покрытий: 1 — сжатый воздух (защитный газ); 2 — горючий газ с кислородом; 3 — напыляемый материал; 4 — напыляемые частицы (0,02—0,04 мм); 5 — покрытие; 6 — субстрат (основа) (130—200 °С); I — наружная часть струи (частицы обладают плохой свариваемостью); II — центральная часть струи — ядро (частицы обладают хорошей свариваемостью)

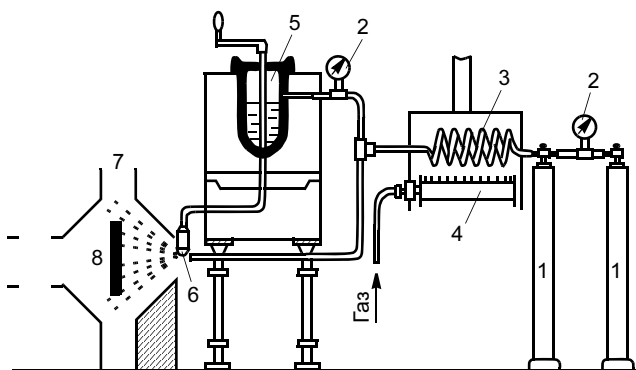


Рис. 2. Схема первой стационарной металлизационной установки: 1 — сжатый газ (углекислый); 2 — манометр; 3 — змеевик для подогрева газа; 4 — горелка; 5 — тигель для плавления металла; 6 — распылительное сопло; 7 — вентиляционная камера; 8 — напыляемое изделие

материал (порошок) подается специальным приспособлением в зону высокой температуры горячей газовой струи, где расплавляется (оплавляется) и увлекаемый высокотемпературным газовым потоком переносится на специально подготовленную рабочую поверхность детали, где, оседая, сцепляется с этой поверхностью и, быстро кристаллизуясь, образует гетерогенное многофазное пористое (2—30 %) покрытие. На рис. 1 приведена схема газопламенного напыления покрытия [6].

Первым изобретателем способа напыления металла на поверхность детали является М. Шооп. На рис. 2 приведена схема первой стационарной металлизационной установки М. Шооп (1910 г.) [6].

На рис. 3 приведена схема установки для газопламенного напыления [3].

Основные свойства горючих газов приведены в табл. 1 [6, 7 и др.].

Для решения технологических задач газопламенного напыления покрытий при упрочнении и восстановлении деталей машин практический интерес пред-

ставляет процесс горения различных горючих газов и паров в смеси с кислородом, а также равномерная подача напыляемого материала в высокотемпературную зону горения.

Горение происходит при определенном соотношении горючего газа и кислорода (воздуха) и определенной температуре воспламенения [5, 6 и др.].

В зависимости от скорости распространения пламени, которое представляет собой раскаленные до температуры свечения продукты горения, различают три вида горения:

- спокойное (не более 15 м/с);
- взрывчатое (сотни метров в секунду);
- детонационное (более 1000 м/с).

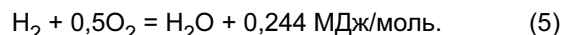
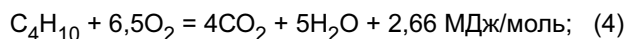
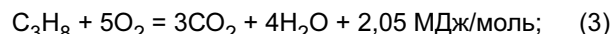
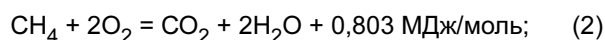
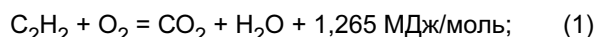
На скорость горения (скорость воспламенения, распространения пламени) влияют следующие основные факторы:

- состав газовой смеси (оптимальное соотношение в смеси горючего газа и кислорода — параметр β);
- давление газовой смеси;
- температура горючей смеси;
- размер каналов, в которых происходит горение.

К горючим газам (основным) относятся ацетилен C_2H_2 , Н-бутан C_4H_{10} , водород H_2 , метан CH_4 , оксид углерода CO , пропан C_3H_8 , этан C_2H_6 , метилацетилен-пропадиен C_3H_4 и др.

Физико-химические свойства горючих газов приведены в табл. 2 [5, 6 и др.].

Окисление (горение) горючих газов (углеводорода, водорода) на 1 моль горючего газа с выделением теплоты происходит по следующим реакциям [3]:



На рис. 4 приведены пределы и скорости воспламенения горючих газов [6 и др.].

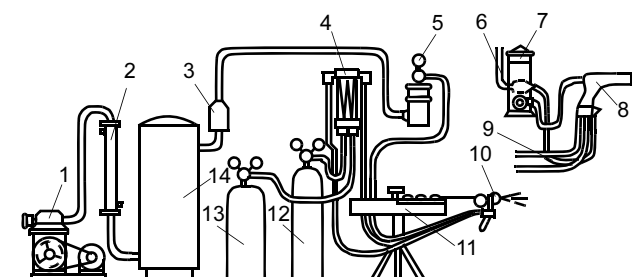


Рис. 3. Схема установки для газопламенного напыления проволоочного и порошкового материалов: 1 — компрессор; 2 — теплообменник; 3 — осушитель; 4 — расходомер; 5 — редуктор для регулирования подачи сжатого воздуха; 6 — подвод к регулятору подачи сжатого воздуха; 7 — бункер для порошка; 8 — горелка, напыляющая порошок; 9 — шланг к расходомеру; 10 — горелка, распыляющая проволоку; 11 — бухта проволоки; 12, 13 — кислородный и ацетиленовый баллоны; 14 — ресивер

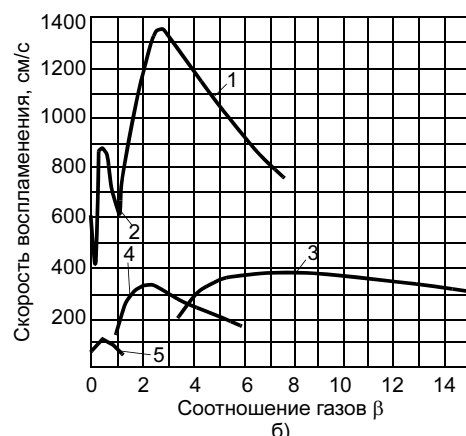


Рис. 4. Пределы воспламенения — объемное процентное содержание (а) горючего газа в смеси с воздухом (I) и кислородом (II) и зависимость (б) воспламенения от соотношения в смеси кислорода и горючего газа: 1 — ацетилен; 2 — водород; 3 — пропан; 4 — метан; 5 — оксид углерода

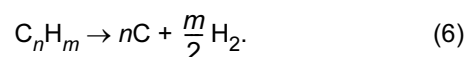
Строение пламени любых смесей углеводородных газов с кислородом одинаково и зависит в основном от состава горючей смеси (β).

Различают три вида пламени (рис. 5): нормальное (поз. а), окислительное (избыток кислорода) (поз. б) и науглероживающее (избыток горючего газа) (поз. в) [5—7 и др.].

Форма ядра пламени в зависимости от параметра β изменяется от конусообразной до цилиндрической с закругленной "крышкой".

Ядро пламени можно разделить на две части: внутреннюю и внешнюю (оболочка ядра). Во внутренней части находится смесь горючего газа и кислорода.

Температура здесь ниже температуры воспламенения горючей смеси, поэтому горение не происходит. Наружная часть ядра — тонкий слой, в котором происходит распад молекул углеводорода по следующей схеме [7, 8 и др.]:



В оболочке ядра неполностью сгорает углерод:



В процессе распада молекул углеводорода и сгорания углерода некоторое количество последнего оказывается свободным. Раскаленные частицы этого

Таблица 1

Газ	Плотность, кг/м ³	Температура, °C			Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	Температура пламени в смеси с кислородом, °C
		плавления	кипения	критическая		
Ацетилен	1,09	−81	−83,6	35,7	100,8	3100—3200
Н-бутан	2,54	−139	−0,6	152	111,2	2700—2900
Водород	0,084	−259,2	−252,8	−239,9	19,2	2400—2600
Метан	0,67	−182,5	−161,7	82,1	32,0	2400—2700
Оксид углерода	1,16	−205	−191,5	−140,2	12,2	2600—2800
Пропан	1,88	−189,9	−42,6	96,8	83,2	2700—2850
МАПП (метилацетилен-пропadiен)	1,78	—	—	120	83,2	2800—2900

Таблица 2

Параметр	C ₂ H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂
Относительная плотность по воздуху	0,91	0,56	1,57	2,10	0,07
Теплота сгорания, МДж/м ³	56,5	35,8	93,5	125,1	10,8
Теплота, выделенная на нейтральном сгорании, МДж/м ³	18,5	1,4	12,6	—	—
Поверхностная плотность теплового потока, Вт/м ²	448	—	108	—	140
Скорость распространения газового пламени в смеси с кислородом, м/с	13,5	3,3	3,7	—	8,9
Максимальная температура газового пламени в смеси с кислородом, К	3373—3473	2273—2373	2673—2973	2673—2973	2273—2773

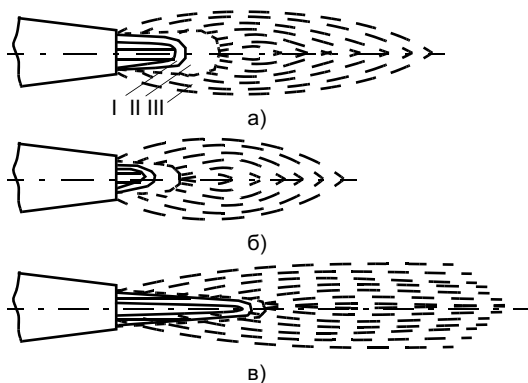


Рис. 5. Схема газового пламени: I — ядро; II — средняя зона; III — внешняя зона

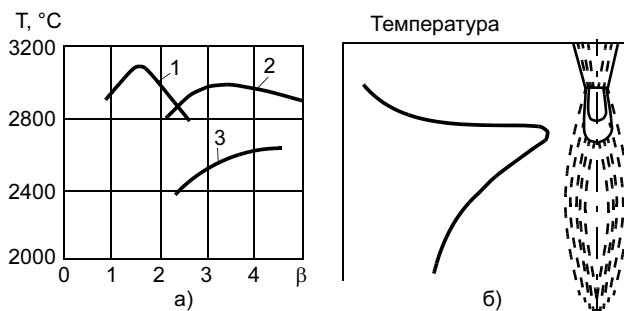


Рис. 6. Зависимость температуры пламени от параметра β (а) и распределение температуры вдоль оси пламени смеси горючего газа с кислородом (б): 1 — ацетилен; 2 — метилацетилен-пропадиен (МАПП); 3 — пропан

свободного углерода и дают яркое свечение оболочке ядра пламени.

Средняя зона, обволакивающая ядро, содержит продукты неполного сгорания углерода (CO), при этом она обладает более высокой температурой и восстановительными свойствами. Именно этой зоной пользуются при нагреве металла для последующего напыления покрытия из самофлюсующихся никелевых сплавов. Эту часть пламени называют "сварочной зоной".

В третьей зоне (наружный факел пламени) за счет кислорода окружающего воздуха происходит догорание продуктов неполного сгорания углерода и водорода при понижающейся температуре:

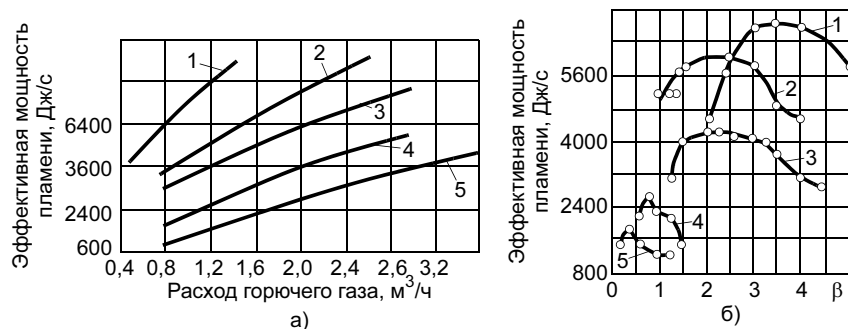
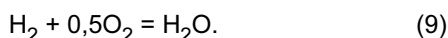
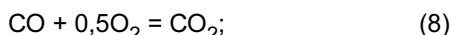


Рис. 7. Зависимость эффективной мощности пламени от расхода горючего газа (а) и параметра β (б) при расходе горючего газа 0,8 м³/ч: 1 — пропан-бутан (β = 3,5); 2 — ацетилен (1,15); 3 — метан (1,5); 4 — коксовый газ (0,5); 5 — водород (0,4)

Эта часть пламени имеет окислительный характер.

При воздействии пламени на металл окислительная зона окисляет металл и его низкий оксид, а науглероживающая — науглероживает. Нормальное пламя имеет резко очерченное ядро. При значительном избытке горючего газа в смеси в наружном факеле появляется свободный углерод, и пламя становится коптящим. На рис. 6 приведены зависимости температуры пламени от соотношения в смеси кислорода и горючего газа и распределение температуры вдоль оси пламени горючего газа с кислородом.

Основными тепловыми характеристиками пламени являются [5—7 и др.]:

- температура (максимальная), °C: C₂H₂ — 3200; CH₄ — 2700; C₃H₈ — 2800; C₄H₁₀ — 2900; H₂ — 2600; C₃H₄ (МАПП) — 2900;
- эффективная тепловая мощность (количество теплоты, передаваемой в единицу времени пламенем нагреваемому изделию) — зависит от расхода горючего газа в единицу времени, параметра β, скорости истечения горючей смеси из сопла горелки, толщины обрабатываемого металла, расстояния между срезом сопла и нагреваемой поверхностью, скорости перемещения пламени, угла оси пламени относительно нормали к нагреваемой поверхности — наибольшее влияние на эффективную мощность оказывают расход горючего газа и параметр β;
- распределение теплового потока по пятну нагрева.

На рис. 7 приведены зависимости эффективной мощности пламени от расхода горючего газа и параметра β.

Следует отметить, что зависимость эффективной мощности пламени различных горючих газов в основном определяется параметром β, при этом оптимальное соотношение кислорода к горючему газу близкое к стехиометрическому. Исключение составляет пропанобутановая смесь, для которой β_{опт} = 3,5 + 4,0, а стехиометрическое β_{стх} = 5 ÷ 6 (в зависимости от состава смеси).

В технологии газопламенного напыления покрытий при упрочнении и восстановлении рабочей поверхности деталей машин нагреваемый основной металл (подложка, основа) нагревается до "запотевания", а присадочный — до расплавления. В этом процессе широко применяются газы — заменители ацетилена (например пропанобутановые смеси).

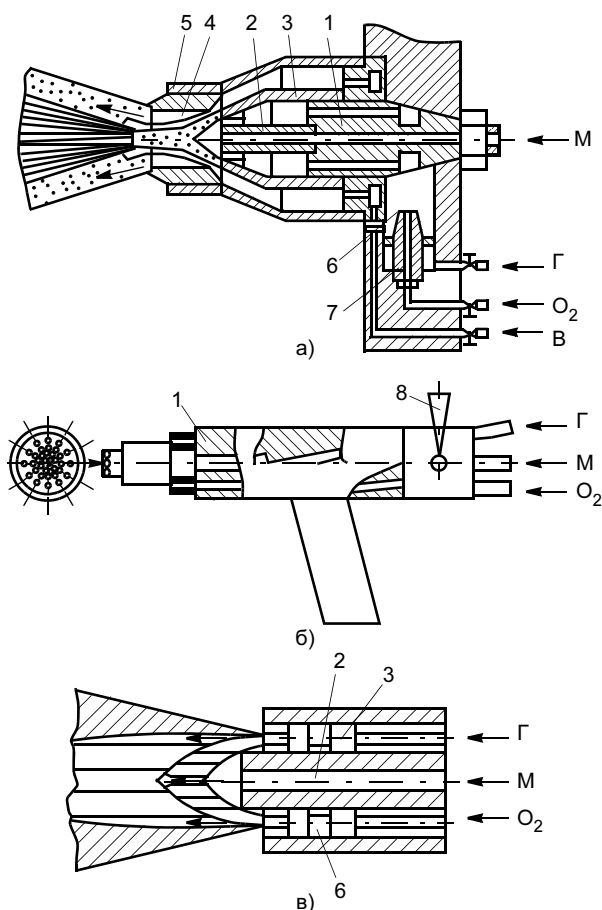


Рис. 8. Конструкция газопламенного инжекторного (а) и безинжекторного (б) распылителей (в — сопловая часть безинжекторного распылителя, М — распыляемый материал, Г — горючий газ, O₂ — кислород, В — воздух): 1 — корпус головки; 2 — центральный канал с наконечником; 3 — газовое сопло; 4 — воздушный канал; 5 — воздушное обжимное сопло; 6 — смесительная камера; 7 — инжектор; 8 — механизм управления

Технология газопламенного напыления покрытий на рабочую поверхность деталей машин при их упрочнении и восстановлении обусловлена рядом параметров, к основным из которых относятся конструктивные, энергетические, распыляемого материала, внешних условий, потока направляемых частиц, горючей смеси.

Конструктивные параметры (основные): диаметр газового сопла d_c ; диаметр периферийных отверстий; угол наклона оси периферийных отверстий к оси распылителя α ; размеры и профилирование сопла. Обычно конструктивные параметры оптимизируются экспериментально. На рис. 8 приведены конструкции газопламенного инжекторного и безинжекторного распылителей [5].

Режимно-энергетические параметры работы газопламенного распылителя (горелки): природа горючего газа, его давление на входе в распылитель (горелку) и расход; давление окислительного газа и его расход; параметр β . Наиболее высокая эффективность процесса напыления при использовании ацетилена или пропанобутановой смеси.

Обычно давление горючего газа $p_{г.г} = 0,03 \div 0,05$ МПа, при этом расход горючего газа $G_{г.г} = 1 \div 2$ м³/ч, $\beta = 1,1 \div 4,0$ (нижний предел — для ацетилена, верхний — для пропанобутановой смеси). Значение параметра β определяет физико-химические свойства пламени. Для газопламенного напыления используют стандартный кислород под избыточным давлением 0,35—0,45 МПа, расход которого составляет от 1 м³/ч и более. Для обжата пламени давление газа (воздуха) 0,3—0,4 МПа, а его расход 30—40 м³/ч. Влияние $G_{г.г}$ на теплофизические параметры газопламенной струи и производительность напыления $G_{н.м}$ при $\beta = \text{const}$ иллюстрирует рис. 9 [5].

Параметры материала покрытия: обеспечение заданных функциональных свойств покрытия, дисперсность порошковых частиц 0,01—0,10 мм; способ подачи порошка в газовую струю за счет сил гравитации в сочетании с инжектированием при избыточном давлении транспортирующего газа 0,1—0,2 МПа и его расходе 0,3—0,6 м³/ч; диаметр проволоки 1—5 мм, при скорости ее подачи 5—30 м/ч.

Параметры внешних условий напыления: дистанция напыления 100—200 мм, скорость перемещения пятна напыления 0,2—0,3 м/с.

Параметры газопламенной струи: температура пламени на срезе сопла 2273—3473 К; род горючего газа; параметр β ; скорость газопламенной струи 150—200 м/с; расход горючего газа; состав газового пламени; характер изменения температуры, энтальпии, скорости и состава по оси струи и в сечениях; длина высокотемпературной части газопламенной струи (зависит в основном от рода горючего газа и параметра β) 150—200 мм (ацетилен, пропанобутановая смесь) — максимальное тепловое воздействие C₂H₂ — O₂-пламени на напыляемую поверхность реализуется при дистанции около 200 мм, а поверхностная плотность теплового потока порядка 7,8 Вт/м².

Параметры потока напыляемых частиц: температура напыляемых частиц (материал напыления, порошок) на превышает 2473 К (при проволоочном материале — около 2923 К); скорость у поверхности напыления 15—50 м/с; плотность потока 10^3 — 10^5 частиц/(см² · с).

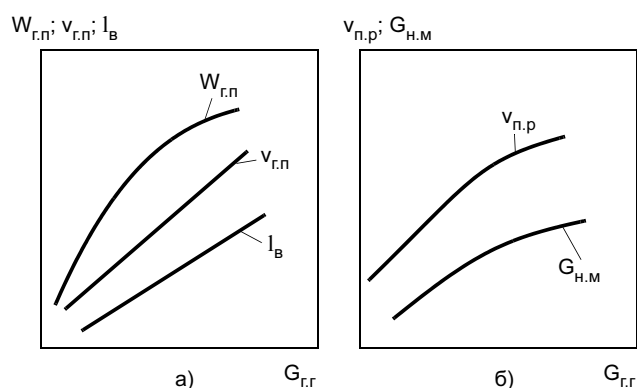


Рис. 9. Зависимость теплофизических параметров газопламенной струи (а) и производительности напыления (б) от расхода горючего газа

Установки и распылители (горелки) для газопламенного напыления покрытий

Отечественная промышленность выпускает ряд специализированных установок для газопламенного проволоочного и порошкового напыления покрытий, в том числе УПТР, Л5405, УГПТ, УГМ, технические характеристики которых приведены в табл. 3 [5].

Установки типа МГИ применяют для проволоочного напыления покрытий: вручную — из алюминия, цинка, а также для нанесения износостойких, антифрикционных и других покрытий.

В настоящее время фирма "СП Техникорд" разработала многофункциональную установку газопламенного напыления "Техникорд ТОП — ЖЕТ/2" для напыления покрытий из гибких шнуровых материалов диаметром от 3,0 до 5,0 мм и металлических проволок диаметром 1,5—5,0 мм (рис. 10) [5].

Техническая характеристика установки "Техникорд ТОП — ЖЕТ/2"

Габаритные размеры, мм:

пистолета-распылителя "ТНА ТОП-ЖЕТ/2" 265 × 90 × 260
пульта управления рабочими газами ПУ-99 460 × 125 × 330
стойки 480 × 450 × 950

Масса без шлангов (не более), кг:

пистолета-распылителя "ТНА ТОП-ЖЕТ/2" 2,5
пульта управления рабочими газами ПУ-99 6,4

Давление рабочего газа (не более), МПа:

кислорода 0,5
ацетилена 0,15
пропана 0,3
сжатого воздуха 0,6

Расход рабочего газа (не более), м³/ч:

кислорода 6,0
ацетилена 1,5
пропана 2,0
сжатого воздуха 40,0

Время непрерывной работы (не менее), ч 8,0

Производительность по распыляемому материалу, м²/ч на 100 мкм толщины покрытия проволоки ($D = 3,17$ мм):

алюминиевой 12,5
бронзовой 8,8
стальной (с 13 % Cr) 6,1

Таблица 3

Характеристика	УПТР	Л5405	УГПТ	УГМ-1
Расход, м ³ /ч:				
ацетилена	<0,9	1,4—1,8	<1,5	≤1,3
кислорода	≤1,75	2,3—2,9	≤3,0	≤2,5
сжатого воздуха	0,4—0,9	0,7—3,0	—	≤60
Рабочее давление, МПа:				
ацетилена	≤0,095	—	≤0,11	0,06—0,10
кислорода	≤0,15	—	≤0,60	0,20—0,45
сжатого воздуха	≤0,25	—	—	0,40—0,50
Грануляция порошковых материалов, мкм	30—160	5—80	—	—
Диаметр проволоки, мм	—	—	—	2—4
Производительность, кг/ч	≤9,6	1,5—8,0	2,2—12,0	≤23,0

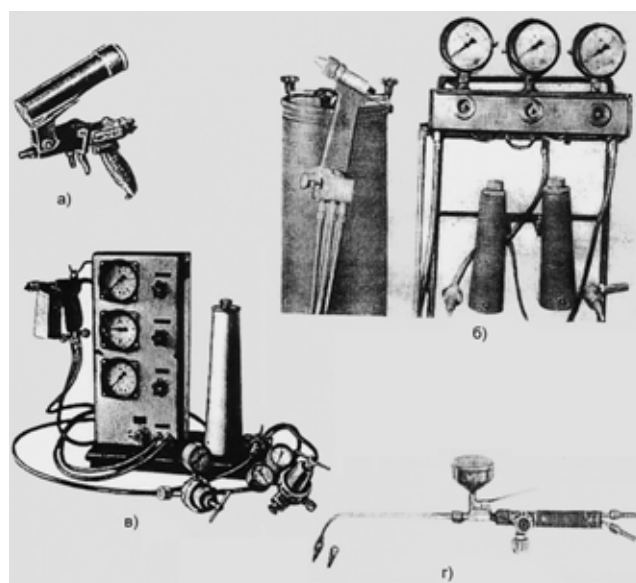


Рис. 10. Горелка для порошкового газопламенного напыления (а); газопламенная установка УГТП для ручного и механического нанесения газопламенных покрытий из тугоплавких порошковых материалов в любом пространственном положении (б); газопламенная установка УГТП для ручного нанесения покрытий из порошковых материалов с температурой плавления 800—1500 °С (в); горелка типа ГН (ГН-1, ГН-2, ГН-3) для наплавки гранулированных самофлюсующихся твердых сплавов на основе хром—бор—никель—кремний или других композиций с размером частиц 0,04—0,10 мм с целью упрочнения или восстановления рабочих поверхностей деталей машин (г)

Таким образом, технология газопламенного напыления покрытий может применяться для ряда целей, в том числе упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей машин широкой номенклатуры. Однако для каждой конкретной детали необходимо разрабатывать технологический процесс с учетом ее конструктивных особенностей. При этом в отличие от других методов газотермического напыления покрытий не требуется сложное и дорогое оборудование.

Важным показателем данной технологии является высокий коэффициент использования материала, особенно проволоочного.

Данный метод напыления покрытий отличают недостаточные технико-экономические и другие показатели [1, 2, 5, 6, 8 и др.]:

- низкая производительность процесса, особенно при порошковом напылении;
- наличие в газопламенной струе активных газов, взаимодействующих с металлическими и им подобными материалами;
- невысокая прочность сцепления покрытия с субстратом (основой) при напылении без оплавления покрытия;
- низкое значение эффективного КПД нагрева порошковых частиц ($\eta = 0,01 \div 0,15$) [1, 2, 5, 6, 8].

Наличие резервов для повышения технико-экономической, а также санитарно-гигиенической и экологической эффективности технологии газопламенного на-

пыления покрытий с заданными химико-физико-механическими функциональными свойствами рабочей поверхности деталей машин является условием для дальнейших научных и экспериментальных исследований в этой области с целью совершенствования технологии и расширения номенклатуры деталей машин под этот вид покрытий при упрочнении и восстановлении их рабочей поверхности.

Значительный вклад в теорию и практику технологии газопламенного напыления покрытий внесли отечественные и зарубежные ученые: Е. В. Антошин, Ю. С. Борисов, В. А. Вахалин, Е. А. Воловик, Л. А. Вулис, А. Е. Затока, А. С. Зенкин, Э. Кречмар, Б. Льюис, Н. В. Молодых, О. Моригаки, А. К. Нинбург, Г. Л. Петров, Н. Н. Рыкалин, А. И. Сидоров, А. Хасуй, В. И. Черноиванов, М. У. Шооп, Г. Эльбе и др.

ДЕТОНАЦИОННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Способ детонационно-газового напыления покрытий, применяемый в технологии упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий (машин, механизмов, аппаратов, приборов, устройств и др.), основан на использовании тепловой и кинетической энергии взрыва при химическом превращении взрывчатых веществ, когда взрыв, инициированный в стволе специального устройства — детонационной установки (рис. 11), распространяющийся со сверхзвуковой скоростью в газовой среде (около 3 км/с), вылетает из ствола в виде газопорошковой смеси, направленной на обрабатываемую рабочую поверхность детали, где порошок, оседая, быстро кристаллизуется, образуя покрытие.

Детонация представляет комплекс мощной ударной волны и следующей за ее фронтом зоны химического превращения вещества (так называемая детонационная волна). При расширении сжатых продуктов детонации происходит взрыв. Напыляемое вещество (порошок), находящееся во взрывной газовой смеси, выбрасывается из ствола установки с высокой скоростью на поверхность детали [3, 5, 9 и др.]. На рис. 12 приведена схема детонационного напыления покрытия [3].

Для процесса детонационного напыления покрытий (ДГНП) характерен высокий уровень шума (не менее 140 дБ), поэтому детонационные установки размещают в специальных звукоизолированных камерах (рис. 13).

При химическом превращении взрывной смеси происходит ее нагрев до высоких температур $(3-5) \cdot 10^3$ К; при этом резко увеличивается объем продуктов реакции — в 1000 раз и более и развивается давление до 1,5—3,0 МПа. Тепловая мощность детонационных газовых струй составляет около 10^4-10^7 Вт (наиболее высокая — для ацетиленокислородной смеси).

От скорости продуктов детонации зависит и скорость напыляемых частиц (800—1300 м/с). При скоро-

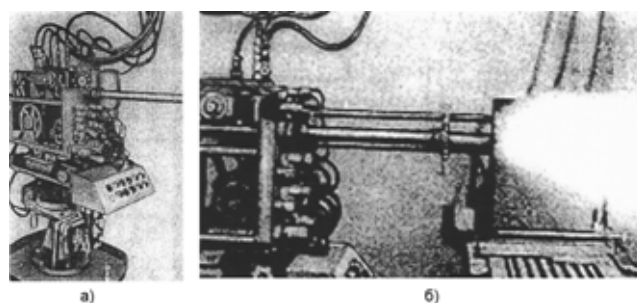


Рис. 11. Установка для детонационного напыления: а — внешний вид; б — установка в работе [3]

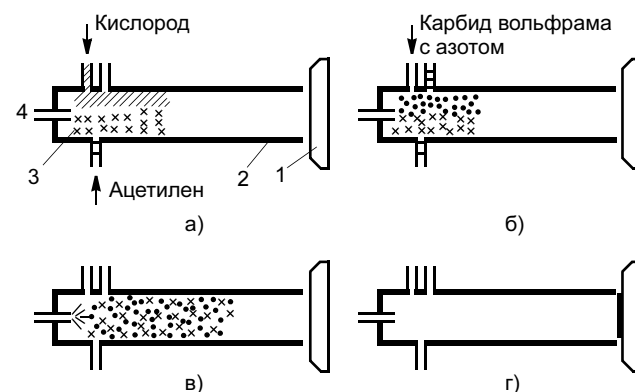


Рис. 12. Схема детонационного напыления: а — заполнение камеры рабочей смесью; б — подача порошка; в — взрыв рабочей смеси и разгон частиц порошка; г — образование покрытия; 1 — напыляемая деталь; 2 — водоохлаждаемый ствол; 3 — камера; 4 — электрический запал

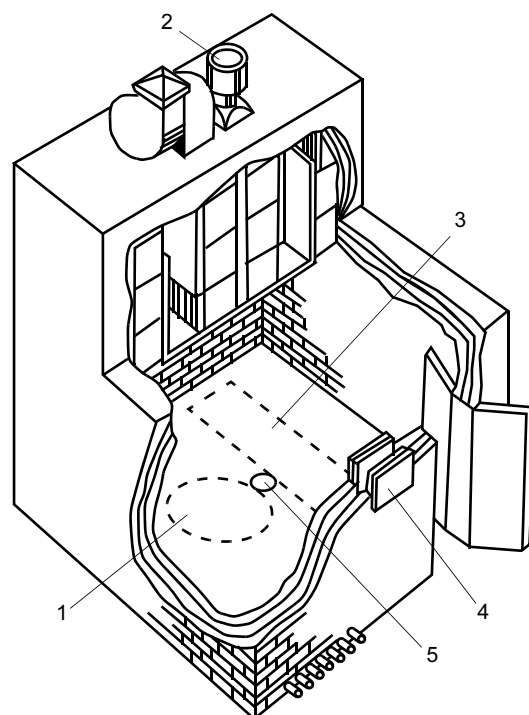


Рис. 13. Звукоизолированная камера для детонационной установки: 1 — установка для детонационного напыления; 2 — вытяжная вентиляция; 3 — устройство для установки обрабатываемой детали; 4 — смотровое окно; 5 — отверстие для слива воды

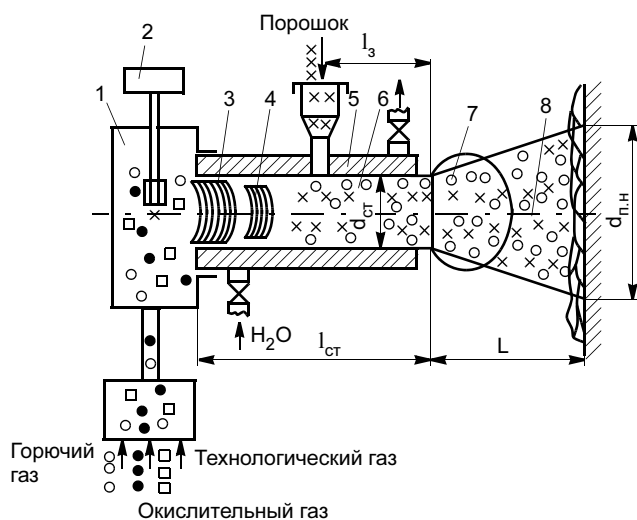


Рис. 14. Схема детонационно-газового напыления покрытий ($l_{ст}$ — длина ствола; $d_{ст}$ — диаметр ствола; L — дистанция напыления покрытия): 1 — камера зажигания; 2 — устройство, инициирующее взрыв; 3 — ударная волна; 4 — детонационная волна; 5 — ствол; 6 — газопорошковая смесь; 7 — дульное пламя; 8 — напыляемые частицы порошка

сти частиц $v_{ch} \approx 1000$ м/с возникает импульсное давление около 10 ГПа, что создает условия для термической активации субстрата и образования прочных связей покрытия с основой.

Энергетический КПД процесса обусловлен теплокинетическими факторами и составляет 0,10—0,15.

Способы детонационно-газового напыления характеризуются следующими признаками [3—5, 8]:

- типом детонирующей газовой смеси (C_2H_2 , CH_4 , C_3H_8 , CO , H_2 , продукты пиролиза бензина, керосина и др.);
- конструктивными особенностями газового температурного потока: предварительное форкамерное зажигание; непосредственное зажигание в стволе установки; применение стволов с постоянным и переменным сечением и др.;
- количеством детонационных камер — стволов (одноствольные, многоствольные).

На рис. 14 приведена обобщенная схема детонационного газового напыления покрытий [3, 5, 8, 10 и др.].

Процесс детонационного напыления состоит из трех циклов [5 и др.]:

$$\tau_{ц} = \tau_3 + \tau_в + \tau_п, \quad (10)$$

где τ_3 , $\tau_в$, $\tau_п$ — соответственно время заполнения камеры и ствола газовой смесью и порошком, время взрыва и выброса продуктов детонации и порошка и время продувки камеры и ствола, с.

За один цикл на поверхности детали оседает 30—40 мг распыляемого порошка, при этом диаметр пятна $d_{п.н} = 20 \div 30$ мм при толщине 0,01—0,03 мм. Рост толщины покрытия (в неподвижном пятне) составляет 0,02—0,50 мм/с. Время пластической деформации частиц 10^{-6} — 10^{-7} с. Импульсное давление при $v_{ch} = 1000$ м/с составляет около 10 ГПа.

В условиях импульсного давления и высоких скоростей частиц в области контакта частицы с подложкой кроме термической активации как в материале покрытия, так и материале субстрата образованию проч-

Таблица 4

Параметр	Материал			
	LW-1 (WC + 9 % Co)	LW-1N30 (WC + + (13—15) % Co)	LW-1N40 (WC + + (15—17) % Co)	LC-1C (Cr ₃ C ₂ + + 15 % Ni—Cr)
Твердость по Виккерсу, ГПа	12,5—14,0	11,0—12,5	10,5—12,0	10,0—12,0
Твердость по Роквеллу	—	71—72	70—71	—
Максимально допустимая температура в окислительной среде, °C	540	540	540	980
Температурный коэффициент линейного расширения 10^{-6} , 1/°C	2,2 (при 20—540 °C)	2,5 (при 20—540 °C)	2,6	3,6
Предел прочности, МПа	560	560—630	630—700	530
Прочность сцепления с базовым материалом, МПа	175,7	175,7	175,7	—
Пористость, %	0,5	0,5—1,0	0,7—1,2	0,5—1,0
Высота микронеровностей, мкм:				
после нанесения	—	3	—	—
после обработки	—	0,025	—	—
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·K)	0,202	0,227	0,235	0,533
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·K)	9,188	9,188	9,188	7,443
Плотность, г/см ³	14,2	13,4	13,2	6,5
Основные эксплуатационные показатели	Наиболее высокая износостойкость	Высокая износостойкость, повышенная стойкость против механических и термических воздействий	Высокая износостойкость, повышенная стойкость против механических и термических воздействий	Износостойкость при высоких температурах и в корродирующей среде; стойкость в струе пламени

Параметр	Материал					
	LCN-1		LC-4 (99 % Cr ₂ C ₃)	LC-5 (Cr ₂ C ₃ + + 20 % Al ₂ O ₃)	LC-9 (Cr ₂ C ₃ + + 40 % Al ₂ O ₃)	LA-2 (99 % Al ₂ O ₃)
	Cr ₃ C ₂ + + 35 % Ni—Cr	Cu + 41 % Ni + + 4 % In				
Твердость по Виккерсу, ГПа	7,00	3,00	13,50	9,25	9,50	11,0—12,0
Максимально допустимая температура в окислительной среде, °С	980	—	540	870	705	650—980
Предел прочности, МПа	—	—	140	105	—	150
Прочность сцепления с базовым материалом, МПа	126,5	77,3	—	—	63,2	70,0
Пористость, %	1,0	0,5—1,0	—	0,75—1,50	1,0	1,0—2,0
Высота микронеровностей, мкм:						
после нанесения	4	6	—	—	5	4
после обработки	0,05	—	—	—	0,05	0,05
Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К)	—	—	—	—	—	0,823
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	—	—	—	—	—	1,512
Плотность, г/см ³	6,5	8,4	5	4,77	—	3,45
Основные эксплуатационные показатели	Хорошее сопротивление при повышенных температурах износу и ударным нагрузкам	Хорошие смазывающие свойства	Хорошая стойкость против окисления, пониженная стойкость против ударных нагрузок	Отличное сопротивление износу, химическому воздействию и высоким температурам	Хорошее сопротивление износу при контакте с текстильными нитями; имеет полупроводниковые свойства	Отличное сопротивление износу, химическому воздействию и высоким температурам

ных связей покрытия с основой способствует интенсивное пластическое течение материала частиц и материала субстрата. На контактных поверхностях раздела — покрытие — основа — наблюдается возникновение, движение и выход дислокаций. При образовании прочных химических связей дислокации играют роль активных центров. Это обстоятельство заставляет применять для ДГНП материалы из твердых высокопластичных частиц, в то время как расплавленные частицы не обеспечивают условия прочной связи с основой [3—5, 8, 10 и др.].

В табл. 4 и 5 приведены основные физико-химические свойства и эксплуатационные показатели наиболее распространенных детонационных покрытий [9].

Технологический процесс ДГНП характеризуется следующими основными параметрами [5, 8, 9 и др.]:

- **конструкционные:** диаметр ствола $d_{CT} = 8 \div 40$ мм; длина ствола l_{CT} ; форма детонационного канала; отношение l_{CT}/d_{CT} ; скорострельность детонационного распылителя (зависит от d_{CT});
- **энергетические:** род газов, входящих в детонационную смесь; соотношение между горючим газом и окислителем (C₂H₂, реже пропан-бутан C₃H₈ + C₄H₁₀); расход газов, входящих в детонационную смесь (обычно расход ацетилена C₂H₂

0,2—6,0 м³/ч, а его давление — 0,05—0,15 МПа); добавление технологических газов (азота N₂, аргона Ar и др.); соотношение между горючим газом и кислородом (параметр β).

Стабильность процесса напыления зависит от точности дозирования взрывчатой смеси и конструкции дозирующих систем. На рис. 15 приведены зависимости теплоты реакции Q , скорости детонации v_d и равновесной температуры газовой смеси $T_{г.с.}$ за

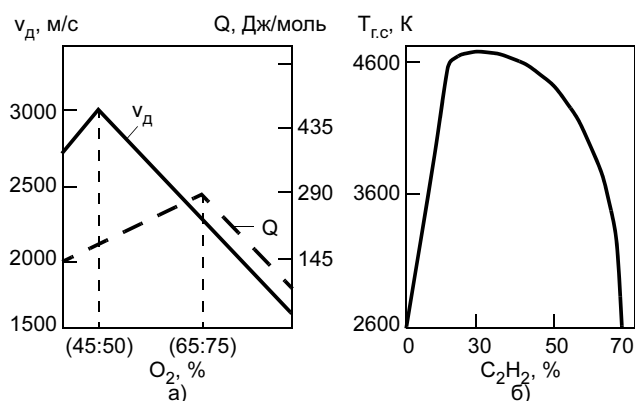


Рис. 15. Зависимость Q , v_d (а) и $T_{г.с.}$ (б) от параметра β

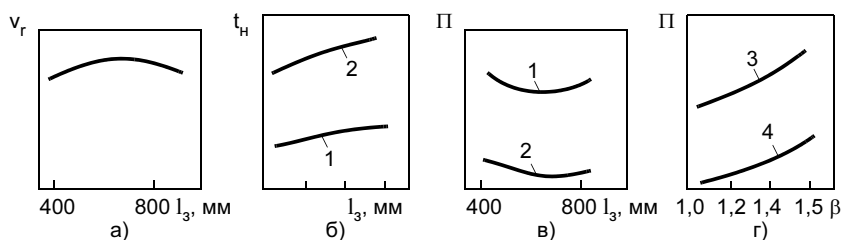


Рис. 16. Зависимость скорости частиц (а), температуры нагрева (б) и пористости покрытий (в, г) от заглубления I_3 (а—в) и параметра β (г) при подаче порошка в ствол установки: 1, 2 — максимальный и минимальный диаметры частиц соответственно; 3, 4 — I_3 равно 600 и 750 мм соответственно

фронтом детонационной волны от параметра β [5, 9 и др.].

К параметрам порошкового материала относятся: диаметр порошковых частиц (0,01—0,05 мм); плотность их материала, кг/м³; способ дозирования и подачи порошка в ствол установки (радиальный или осевой, непрерывный или импульсный); расход транспортирующего газа (азота, аргона и др.); скорость потока транспортирующего газ — порошок составляет 2—7 м/с. На рис. 16 приведены качественные характеристики детонационного напыления, связанные с порошковым материалом [3, 5, 8, 9 и др.].

Параметры внешних условий, влияющие на процесс детонационного напыления покрытия: способ фиксации детали в приспособлении; угол атаки газопорошковой струи (45—90°); дистанция напыления (50—200 мм); смещение пятна напыления (не более 0,5 диаметра пятна напыления); скорость перемещения пятна напыления; параметр шероховатости покрытий (Ra , Rz).

Параметры детонационной волны: температура детонационной волны не более 5700 К; энтальпия детонационной волны; скорость газового потока внутри канала ствола (800—1400 м/с); скорость газового потока на срезе сопла (2000—3000 м/с); давление газо-

вой смеси внутри канала ствола (0,20—0,75 МПа); температура потока напыляемых частиц вблизи поверхности напыления (1673—1873 К); скорость напыляемых частиц (800—1300 м/с); степень загрузки газового потока напыляемыми частицами (0,2—0,6 кг/м³); плотность потока напыляемых частиц по пятну напыления (подчиняется закону нормального распределения) (10^3 — 10^5 частиц/(см² · с)); коэффициент использования материала ($K = 0,3$ ÷0,6).

УСТАНОВКИ ДЛЯ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью установки для детонационно-газового напыления покрытий в зависимости от устройства и подачи рабочих газов делятся на три группы:

- с механическим клапанным механизмом;
- с электромагнитным клапанным механизмом;
- смешанного типа.

В табл. 6 приведены характеристики опытно-промышленных установок и комплексов для ДГНП [5].

Основные элементы детонационно-газовых установок для напыления покрытий:

- детонационно-газовые распылители (ствол постоянного или переменного сечения);

Таблица 6

Характеристика	АДК-1	ДНП-5	АДК "Прометей"	АДУ-СЛ
Объем ствола, см ³ ($L_{ст}$, м)	—	500—700 (0,45—1,0)	400	630(2,0)
Расход газа (не более), м ³ /ч:				
ацетилена	1,20—2,25	0,5—4,0	≤2,2	3,0
кислорода	1,20—2,25	—	≤2,6	5,0
азота	5,0—8,0	—	≤9,0	8,0
воздуха	20—25	—	≤25	—
Давление газа, МПа:				
ацетилена	0,15	—	0,1—0,12	—
кислорода	0,5	—	0,3—0,5	—
азота	0,3—0,8	—	0,3—0,8	—
воздуха	0,4	—	0,4—0,5	—
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч (давление, МПа)	1,0 (0,2)	—	1,0 (0,05—0,10)	—
Скорострельность, выстрел/с	2—4	2—15	4	4
Расход напыляемого порошка, г/выстрел	0,10—0,25	2—12	—	4—12
Производительность напыления, кг/ч	—	0,8—2,5	0,7—3,0	0,7—3,5
КИП	0,4—0,5	0,3—0,8	0,3—0,5	0,1—0,8
Электрическая мощность, кВт	0,35	—	0,3	—
Толщина покрытия за выстрел, мкм (площадь, см ²)	5—10 (3,2)	—	3—10	—

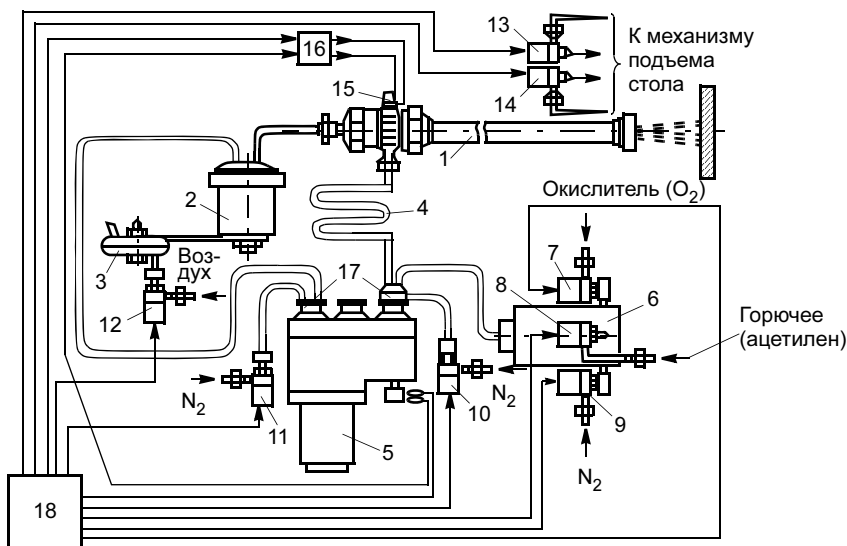


Рис. 17. Схема АДК "Прометей": 1 — взрывная камера; 2 — дозатор порошка; 3 — пневмовибратор дозатора; 4 — буферный змеевик; 5 — блок распределения золотниковый; 6 — блок смесеприготовления; 7—14 — электропневмоклапаны; 15 — искровая свеча; 16 — генератор импульсов высокого напряжения; 17 — газораспределительные каналы; 18 — блок управления

- камера смешения;
- система зажигания;
- устройство для предотвращения обратного удара;
- система автоматического управления и регулирования (ручной, полуавтоматический и автоматический режимы управления).

На рис. 17 приведена схема установки АДК "Прометей" для ДГНП.

Таким образом, детонационное напыление покрытий широко применяется в технологии упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей изделий (машин, механизмов, аппаратов, приборов и др.), при этом размеры и форма изделий не ограничены и в основном определяются техническими возможностями устройств и приспособлений для их перемещения в процессе напыления, а также рабочими внутренними габаритными размерами звукоизолированного бокса.

Этот метод напыления имеет ряд основных особенностей:

- твердость материала напыляемых изделий не более 60 HRC₃;
- толщина покрытия в пределах 0,05—1,50 мм, оптимальная — 0,1—0,5 мм;
- прочность сцепления покрытия с субстратом $\sigma_a = 40 \div 160$ МПа;
- пористость покрытия 1—2 %;
- за счет наклепа при напылении происходит увеличение усталостной прочности изделия;
- незначительный нагрев напыляемой поверхности — $T_u \leq 573$ К;
- высокая производительность процесса напыления — $G = 1 \div 10$ кг/ч;

- широкая номенклатура распыляемых порошковых материалов. Кроме перечисленных особенностей следует отметить и ряд ограничений:
- затруднено нанесение покрытий с высокой поверхностной твердостью более 60 HRC₃;
- трудно напылять покрытия из "легких" порошков (карбидов титана и др.);
- невозможно напыление внутренних поверхностей на глубину, превышающую диаметр входного отверстия;
- высокий уровень шума — 140 дБ и более;
- высокая стоимость детонационных установок;
- необходимость применения герметичных боксов и дистанционного управления процессом.

Несмотря на высокий уровень технологии и оборудования, данный метод напыления покрытий продолжает развиваться как в технологии упрочнения, так и восстановления рабочей поверхности деталей изделий.

Детонационно-газовому методу напыления покрытий посвящено значительное количество публикаций, в том числе следующих авторов: Е. А. Астахова, Г. В. Боброва, А. И. Зверева, Ю. А. Харламова, С. Ю. Шаривкера, А. П. Семенова, И. Х. Шоршорова, А. А. Ильина, А. Хасуй и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мчедлов С. Г. Совершенствование технологии изготовления поршневых колец на основе применения тангенциальной обработки свободным абразивом поверхности под упрочняющее плазменное покрытие: Дис. ... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ, 2002. 173 с.
2. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
3. Хасуй А. Техника напыления: Пер. с. яп. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
4. Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление: Пер. с. яп. В. Н. Попова / Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
5. Бобров Г. В., Ильин А. А. Нанесение неорганических покрытий. М.: Интермет Инжиниринг, 2004. 624 с.
6. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. М.: Машиностроение, 1966. 432 с.
7. Нинбург А. К. Газопламенная обработка металлов с использованием газов-заменителей ацетилена. М.: Машиностроение, 1976. 152 с.
8. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
9. Семенов А. П., Федько Ю. П., Григорьев А. И. Детонационные покрытия и их применение. М.: НИИМАШ, 1977. 67 с.
10. Хромов В. Н. Новые горелки для газопламенного напыления порошковых покрытий // Сварочное производство. 2005. № 8. С. 44—48.

Р. С. ГОЛОВ, канд. экон. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Конкурсные закупки как барьер реализации потенциала энергосбережения в бюджетной сфере

Энергоэффективность экономики — одна из ключевых проблем развития всех современных государств. Устойчивое энергосбережение — необходимое условие международной, экономической и социальной стабильности в целом. В своем ежегодном послании Федеральному собранию в 2006 г. Президент РФ В. В. Путин отметил: "Следует кардинально повысить эффективность потребления энергии". В настоящее время "эффективность использования энергии, даже со ссылкой на климатические условия, у нас в разы ниже, чем у прямых конкурентов России на мировых рынках". Повышение эффективности энергопотребления в РФ относится к первоочередным приоритетным задачам, что отражено в поручении Президента РФ от 7 июля 2006 г. № Пр-1141 о подготовке и внесении в установленном порядке программы "Повышение эффективности энергопотребления в Российской Федерации". Эта же проблема по инициативе президента РФ стала центральной в прошедшем году в период председательства России в "большой восьмерке". Только рациональное использование и экономное расходование энергоресурсов позволят обеспечить устойчивое развитие общества.

Современная российская экономика энергорасточительна. Важнейшим параметром, определяющим энергетическую эффективность национальной экономики, является энергоёмкость валового внутреннего продукта (ВВП). Энергоёмкость ВВП — это отношение суммарного энергопотребления к величине ВВП. На рис. 1 приведено

количественное сравнение значений энергоёмкости валового внутреннего продукта для разных стран.

Энергоёмкость ВВП России более чем в 3 раза превышает аналогичные показатели наиболее промышленно развитых стран. Кроме того, в последнее двадцатилетие в развитых странах наблюдался энергоэффективный экономический рост (на 1 % прироста ВВП приходилось в среднем лишь 0,4 % прироста топливно-энергетических ресурсов). В результате энергоёмкость ВВП в среднем в мире уменьшилась за этот период на 18 %, а в развитых странах — на 21—27 %. В отличие от этой глобальной тенденции в России из-за глубокого экономического кризиса энергоёмкость ВВП не снижалась, а увеличилась (в 1990—1998 гг. на 13 %). Лишь в последние годы по мере восстановления экономики она начала снижаться, составив в 2002 г. около 94 % уровня 1990 г. [1].

Однако достигнутых результатов явно недостаточно для решения масштабных задач, стоящих сейчас перед российским обществом. Прежде всего это касается планов удвоения ВВП, реализация которых невозможна без снижения его энергоёмкости. В соответствии с расчетными параметрами Энергетической стратегии России на период до 2020 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. № 1234-р, показатель удельной энергоёмкости ВВП, без реализации которого не может быть обеспечен прогнозируемый рост экономики страны, должен снизиться к 2010 г. по отношению к уровню 2000 г. на 26—27 % и на 45—55 % — к 2020 г. Это позволит при росте экономики за двадцать лет в 2,3—3,3 раза ограничиться ростом потребления энергии лишь в 1,25—1,4 раза, в том числе электроэнергии — в 1,35—1,5 раза. Электроэнергетическая отрасль является наиболее характерным примером, иллюстрирующим актуальность проблемы высокой энергоёмкости. В ближайшее время электроэнергетика может стать тормозом на пути развития российской экономики, так как уже сейчас она с трудом обеспечивает растущие потребности в своей продукции. В сентябре 2006 г. прирост электропотребления по России составил 4,8 % при среднем увеличении спроса на 1,7 % в предшествующий период. С учетом сохранения существующей динамики роста электропотребления, а также недостаточного темпа ввода генерирующих мощностей существует реальная угроза дефицита электроэнергии (рис. 2), ограничивающего экономический рост. Таким образом, энергосбере-

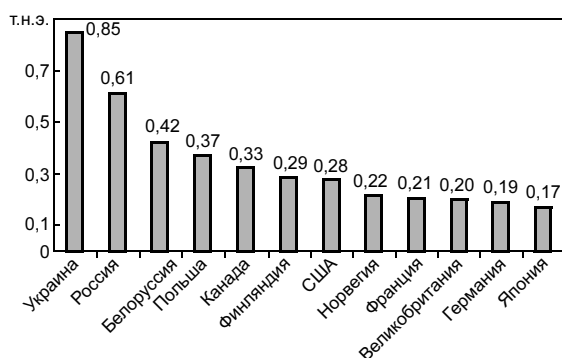


Рис. 1. Энергоёмкость ВВП (тонна нефтяного эквивалента (т. н. э.) на 1000 долл. США)

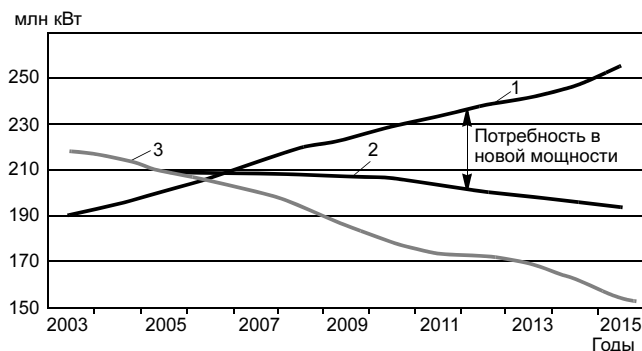


Рис. 2. Баланс установленной мощности (с учетом выбытия) и потребности в генерации: 1—3 — требуемая, действующая мощность и мощность с истекшим сроком службы соответственно

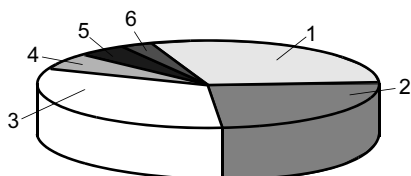


Рис. 3. Потенциал энергосбережения по отраслям (т. у. т.): 1 — энергоемкие отрасли промышленности (110—140); 2 — ЖКХ (95—110); 3 — ТЭК (120—135); 4 — транспорт (23—30); 5 — федеральная бюджетная сфера (18—22); 6 — сельское хозяйство (12—15)

жение и повышение энергоэффективности использования энергоресурсов определяют в настоящее время направление экономического развития России.

Российская экономика располагает значительным потенциалом энергосбережения. По оценкам, принятым в Энергетической стратегии России до 2020 г., существующий потенциал энергосбережения составляет 360—430 млн т условного топлива (т.у.т.). Это почти половина потребляемого в стране первичного топлива или суммарного энергопотребления таких развитых европейских стран, как Испания, Швеция, Норвегия, Дания, Бельгия. Согласно данным, представленным заместителем директора Департамента топливно-энергетического комплекса Минпромэнерго РФ С. Михайловым, на состоявшейся в Казани конференции по сотрудничеству европейских и российских энергетических агентств почти треть потенциала энергосбережения сосредоточена в топливно-энергетическом комплексе ТЭК, еще 35—37 % — в промышленности и 25—27 % — в жилищно-коммунальном хозяйстве. Значительный потенциал энергосбережения сосредоточен в бюджетной сфере. В абсолютном выражении он составляет 18—22 млн т.у.т. [2] (рис. 3).

Объекты бюджетной сферы являются довольно энергоемкими. По доле расходов на энергоресурсы и воду в себестоимости услуг они превосходят машиностроение, строительство, сельское хозяйство и даже цветную металлургию.

Анализ зарубежного опыта в области энергоэффективности также показывает, что сокращение потребления энергии на объектах федеральной бюджетной сферы является основной обобщенной задачей, решаемой в рамках национальных программ по эффективному ис-

пользованию и сохранению энергоресурсов, а также развитию энергоменеджмента.

Важнейшим необходимым условием реализации потенциала энергосбережения в бюджетной сфере является наличие соответствующей нормативно-правовой базы. Однако действующее законодательство не только не создает стимулов для энергосбережения, но в ряде случаев ставит барьеры, ему препятствующие. Прежде всего таким барьером является законодательство о госзакупках.

В Российской Федерации конкурсная система закупки продукции для государственных нужд практически начала формироваться с выходом Указа Президента Российской Федерации от 8 апреля 1997 г. № 305 "О первоочередных мерах по предотвращению коррупции и сокращению расходов при организации закупки продукции для государственных нужд". В дальнейшем конкурсная система была закреплена в законодательном порядке Федеральным законом от 6 мая 1999 г. № 97-ФЗ "О конкурсах на размещение заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных нужд". С 1 января 2006 г. вступил в силу Федеральный закон "О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд" от 21 июля 2005 г. № 94-ФЗ. Согласно ч. 2 ст. 22 данного закона, конкурсная документация должна содержать требования, установленные заказчиком, уполномоченным органом к качеству, техническим характеристикам товара, работ, услуг, требования к их безопасности, требования к функциональным характеристикам (потребительским свойствам) товара, требования к размерам, упаковке, отгрузке товара, требования к результатам работ и иные показатели, связанные с определением соответствия поставляемого товара, выполняемых работ, оказываемых услуг потребностям заказчика. В свою очередь, ч. 4 ст. 28 этого же закона устанавливает критерии оценки заявок на участие в конкурсе:

- функциональные характеристики (потребительские свойства) или качественные характеристики товара, качество работ, услуг;
- расходы на эксплуатацию товара;
- расходы на техническое обслуживание товара;
- сроки (периоды) поставки товара, выполнения работ, оказания услуг;
- срок предоставления гарантии качества товара, работ, услуг;
- объем предоставления гарантий качества товара, работ, услуг;
- цена контракта;
- другие критерии в соответствии с законодательством Российской Федерации о размещении заказов.

Как видно, требования по энергоэффективности в приведенном перечне критериев отсутствуют. Это означает, что реализация потенциала энергосбережения в бюджетной сфере в рамках действующего законодательства по регулированию государственных закупок сопряжена с очевидными рисками правового характера. В качестве примера можно привести результаты реализации федеральной целевой программы "Энергоэффективная экономика" на 2002—2005 гг. и на перспективу на 2010 г., в которой были определены основные направления работ по энергосбережению в энергоемких отраслях промыш-

ленности, сельском хозяйстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, на транспорте, в федеральной бюджетной сфере и в отраслях топливно-энергетического комплекса. Реальные результаты за 2002—2005 гг. как по выделенным инвестициям, так и экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) оказались в 1,5—2 раза ниже намеченных программой. Экономия ТЭР составила 116 млн т.у.т. вместо 150 млн т.у.т., запланированных программой. Разрыв между плановой и фактической экономией ТЭР объясняется, в том числе, отсутствием развитого рынка энергоэффективности (товаров, оборудования, технологий) и несовершенством стандартов энергоэффективности. Тем самым отсутствие унифицированных критериев энергоэффективности в системе оценки конкурсных заявок приводит либо к снижению эффективности закупок в рамках целевой программы, либо вынуждает заказчиков нарушать законодательство о госзакупках.

Законодательство о госзакупках ограничивает реализацию потенциала энергосбережения не только в рамках целевой программы "Энергоэффективная экономика", но и в общем объеме госзакупок, потому что многие из мероприятий, обеспечивающих освоение всего потенциала энергосбережения, являются сопутствующими, выполняемыми в процессе технического перевооружения базовых отраслей экономики и соответствующих инвестиционных программ развития. Это касается самых различных направлений расходования бюджетных средств: строительства зданий и сооружений, проведения работ по реконструкции и капитальному ремонту, приобретения разного рода энергоемкого оборудования, сооружения объектов генерации (котельных, тепловых пунктов) и др. В каждом из перечисленных случаев существует определенный потенциал энергосбережения, реализация которого требует определенных затрат, зачастую значительных. Однако в целях соблюдения законодательства в области госзакупок приоритет отдается конкурсным заявкам, пусть и с незначительными показателями по энергоэффективности, зато с наименьшими ценами. Таким образом, на этапе размещения заказов получается виртуальная экономия бюджетных средств. Виртуальность выражается в том, что впоследствии на бюджет ляжет дополнительная нагрузка по оплате потребленных энергоресурсов, которые можно было бы сэкономить в результате реализации энергоэффективных мероприятий. При этом в отличие от единовременного характера вложений в энергосбережение бюджетное финансирование генерируется в постоянный денежный поток, ежегодно индексируемый ростом тарифов на энергоресурсы. Оценить масштаб возможных финансовых потерь или экономии можно на основе следующих данных: в 2005 г. объем госзакупок с использованием конкурсных механизмов превысил 1 трлн руб., в 2006 г. — более 2,3 трлн руб., а в 2007 г. ожидается 20 %-ный рост объема закупок на конкурсной основе.

Подтверждение приведенных тезисов может быть проиллюстрировано конкретным примером. Значительную часть энергии потребляют здания, например в России — 40 %. В настоящее время на

1 м² отапливаемого помещения в России расходуется энергоресурсов в 3—4 раза больше, чем в государствах Европы. Главная причина такого положения состоит не в климатических условиях, а в том, что чрезмерно высоки потери тепла через наружные ограждающие конструкции: стены, крышу, двери и окна. Например, при эксплуатации традиционного многоэтажного здания через стены теряется до 18 % тепла, через окна — 40 %, подвал — 10 %, крышу — 18 %, вентиляцию — 14 % [3]. Эффективная теплоизоляция, использование современных технологий и материалов позволяют решить эту проблему. За счет реализации мер по повышению энергоэффективности при строительстве и модернизации зданий бюджетной сферы может быть сэкономлено до 100 млрд руб., что приблизительно на 30 млрд руб. превышает объем финансирования энергоснабжения объектов федеральной бюджетной сферы в 2005 г. [4].

Проблема энергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий за рубежом хорошо изучена и проработана, чего нельзя сказать о Российской Федерации. В настоящее время строительство энергоэффективных зданий широко осуществляется во всем мире. Особенно впечатляют успехи Западной Европы и Скандинавии. Суммарный эффект экономии тепла во вновь возводимых жилых и коммерческих зданиях здесь составляет 50—70 %. Таким образом, уменьшение теплопотерь является основным направлением энергосбережения, так как при высоких теплопотерях эффективность прочих энергосберегающих мероприятий резко снижается. Качественная оценка воздействия строительства энергоэффективных зданий на ВВП приведена в виде графа воздействий, демонстрирующего процесс изменения ВВП в результате развертывания широкомасштабного строительства энергоэффективных зданий (рис. 4).

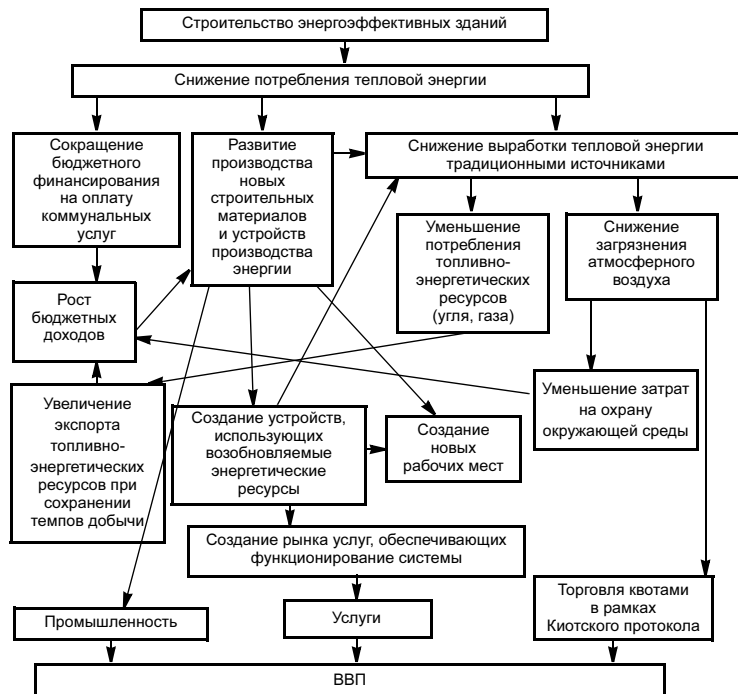


Рис. 4. Возможности роста ВВП за счет масштабного строительства энергоэффективных зданий

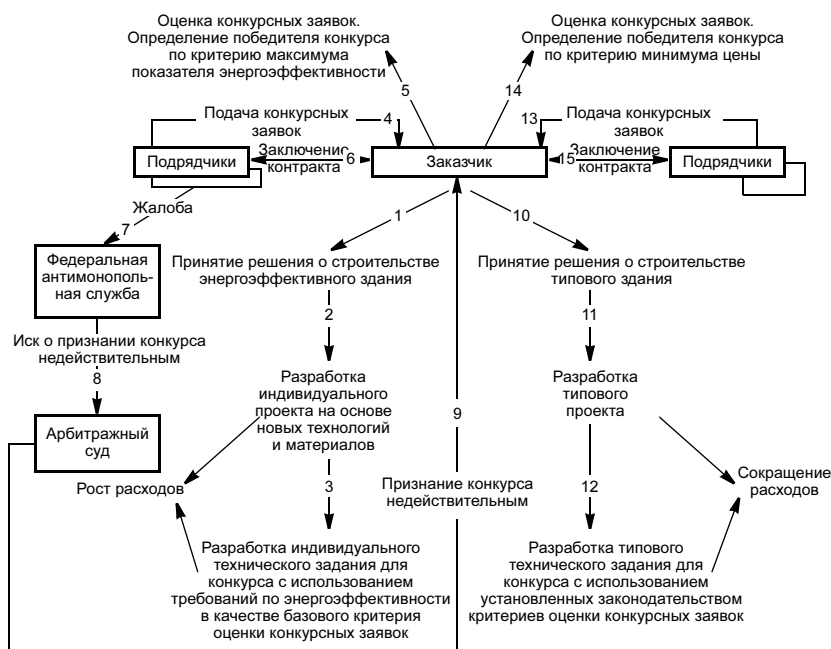


Рис. 5. Зависимость принятия решений о применении энергосберегающих технологий и материалов при строительстве зданий от требований российского законодательства о госзакупках

Однако, несмотря на ряд потенциальных эффектов, возникающих при строительстве энергоэффективных зданий, в некоторых случаях государственные и муниципальные заказчики вынуждены отказываться от применения энергосберегающих технологий в ущерб снижению теплопотерь из-за барьера, созданного законодательством о государственных закупках (рис. 5).

Строительство энергоэффективного здания подразумевает разработку индивидуального проекта на основе новых энергосберегающих технологий и материалов, что создает дополнительные расходы, связанные как непосредственно с проектированием, так и разработкой технического задания конкурсной документации (см. рис. 5). Согласно п. 14 ч. 4 ст. 22 Федерального закона от 21 июля 2005 г. № 94-ФЗ, конкурсная документация должна содержать критерии оценки заявок на участие в конкурсе. Естественно, что строительство энергоэффективного здания подразумевает разработку для подрядных организаций требований по теплотехнике здания. Например, в Московской области разработаны нормы теплотехнического проектирования гражданских зданий с учетом энергосбережения. Нормы предназначены для обеспечения основного требования — эффективного использования энергии при проектировании зданий путем выявления суммарного эффекта энергосбережения от использования архитектурных, строительных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов [5].

Таким образом, в качестве базового критерия оценки конкурсных заявок выступает наименьшая величина расчетного удельного расхода тепловой энергии системой теплоснабжения на отопление здания в сопоставлении с требуемой величиной удельного расхода энергии, устанавливаемой нормами. В связи с тем, что передовые энергосберегающие технологии и материалы значительно

удорожают стоимость строительства, то, как правило, выигравшая заявка по критерию энергоэффективности не является одновременно выигравшей по критерию наименьшей цены. Это означает, что другие участники конкурса с заявками, содержащими более низкие цены, в соответствии со ст. 57 Федерального закона от 21 июля 2005 г. № 94-ФЗ имеют право обжаловать действия заказчика по определению выигравшей конкурсной заявки как в уполномоченном на осуществление контроля в сфере размещения заказов федеральном органе исполнительной власти (Федеральная антимонопольная служба), так и в судебном порядке. В связи с тем, что ч. 4 ст. 28 Федерального закона от 21 июля 2005 г. № 94-ФЗ не содержит ссылок на возможность использования иных дополнительных критериев оценки заявок, кроме как в ней установленных, арбитражный суд скорее всего вынесет решение о признании конкурса недействительным. Следствием этого является необходимость организации и проведения нового конкурса на строительство здания.

При этом строгое соблюдение законодательства о госзакупках вынудит заказчика в процессе подготовки конкурса отказаться от использования новых перспективных энергосберегающих технологий и материалов при строительстве здания.

Рассмотренный пример характерен не только в части применения энергосберегающих технологий при строительстве и модернизации зданий бюджетной сферы, но и при закупках товаров, выполнении работ, оказании услуг для государственных и муниципальных нужд, содержащих потенциал энергосбережения.

На основании изложенного можно сделать вывод, что реализация значительного потенциала энергосбережения в бюджетной сфере, позволяющая перенаправить значительные объемы энергоресурсов в другие энергоемкие отрасли экономики для обеспечения и усиления динамики экономического роста, в России в настоящее время трудно осуществима. Основным барьером на пути к энергоэффективности — действующая система госзакупок. Для его преодоления требуется скорейшее принятие правовых мер, в том числе связанных с установлением требований по энергоэффективности, в действующее законодательство о госзакупках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов С. А. Государственная энергосберегающая политика // Энергоресурсосбережение в строительстве и жилищно-коммунальном комплексе. Ярославль, 2003.
2. Кравец М. От дешевой энергии придется отвыкать // Нефтегазовая вертикаль. 2003. № 2.
3. Мурыч А. В. Эколого-экономические проблемы создания энергосберегающих жилых зданий. Автореферат дис. ... канд. экон. наук. М., 2007.
4. Подгорный И. Энергосбережение в бюджетной сфере // Вестник энергосбережения Южного Урала. 2006. № 2 (20).
5. Волынский Б. Н. Конструктивные решения энергосберегающих зданий // Энергосбережение. 2001. № 3.

Н. П. БИРЮКОВА, канд. техн. наук, Г. П. БАТОВ, инж., И. Н. КОТОВА, инж.
ООО НУЦ "Качество" (Москва)

Программа подготовки и сертификации специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений

Напряжения, возникающие в материале объектов при их изготовлении, монтаже и эксплуатации, могут привести к существенному изменению прочности и риску трещинообразования. Оценка внутренних напряжений в строящихся и эксплуатируемых конструкциях является одной из актуальных задач, решение которой позволяет определить техническое состояние объекта в плане промышленной безопасности, предсказать остаточный ресурс, скорректировать технологический процесс, избежать в конечном итоге разрушения.

Этому вопросу в настоящее время уделяется все больше внимания, о чем свидетельствуют проведение конференций и семинаров, публикация статей и монографий. Большой практический интерес представляет разработка и совершенствование эффективных методов и средств исследования НДС как в области расчета, так и в экспериментальной части.

Для определения НДС используют различные методы неразрушающего контроля (НК), в том числе рентгеновскую дефектometriю, магнитный и вихретоковый методы, метод эффекта Баркгаузена, ультразвуковой метод, метод акустической эмиссии, методы определения физико-механических характеристик материалов, структуроскопию, тензометрию и др. Этот контроль проводят специалисты, сертифицированные (аттестованные) по соответствующему методу НК, однако специалисты, осуществляющие комплексную оценку НДС, до настоящего времени не проходили сертификацию. Таким образом, в комплексе задач, решаемых в ходе обеспечения безопасных значений напряжений, отсутствует одно из важных звеньев: наличие подготовленных и сертифицированных специалистов, обеспечивающих достоверную оценку фактического НДС конструкции и разработку мер по снижению сверхнормативных нагрузок.

В 2005 г. метод определения напряжений как один из основных методов НК, по которому специалисты подлежат сертификации, введен в международный стандарт ISO 9712—2005 "Классификация и сертификация персонала. Неразрушающий контроль", версия 2005 г. и в "Правила сертификации персонала в области неразрушающего контроля" "Системы добровольной сертификации персонала в области неразрушающего контроля и ди-

агностики РОНКТД", зарегистрированной в Госреестре Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в 2005 г.

С целью осуществления процедур сертификации персонала по определению НДС Научно-учебным центром "Качество" совместно с ЗАО "ДИГАЗ" при участии НТЦ "ДИА-ТЕКС" разработана "Программа подготовки специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений". Программа разработана в обеспечение реализации Федерального закона "О промышленной безопасности" в областях НК и экспертизы промышленной безопасности Единой системы оценки соответствия на объектах, подконтрольных Ростехнадзору".

Программа предполагает, что специалисты, претендующие на сертификацию, должны иметь высшее техническое образование, при этом им может быть присвоен II или III уровень квалификации. Программа отражает требования к специалистам II и III уровней.

Первому уровню квалификации по оценке НДС соответствуют специалисты, прошедшие аттестацию по методам НК и выполняющие контроль и измерения с помощью конкретных методов контроля.

Программа включает необходимый объем теоретических вопросов, программного обеспечения, методик расчетов, практических занятий по курсу, обзор нормативных и методических документов состоит из трех разделов:

- общего (соответствующего объему знаний по общему экзамену);
- специального;
- практического.

Первый раздел включает цели и задачи определения НДС как определяющего процедуры оценки технического состояния (диагностирования) и остаточного ресурса и предусматривает рассмотрение:

- общих физических принципов методов НК и измерения НДС;
- основных понятий курса "Сопротивление материалов", расчета напряжений и деформации, реакции конструкции на нагрузки и воздействия, влияния на НДС концентраторов напряжений, предельных состояний, критериев прочности;

- методов расчета остаточного ресурса;
- оценки влияния трещин и трещиноподобных дефектов;
- вопросов аналитических и численных методов определения НДС;
- ознакомление с примерами решения задач по оценке НДС различными программными средствами, принципами выбора расчетных средств.

Второй раздел предполагает изучение нормативных документов по расчету и определению НДС различных объектов, включая основы моделирования НДС, а также документов по оценке остаточного ресурса и продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования, сооружений на опасных производственных объектах. В этом разделе рассматриваются прикладные вопросы определения НДС конкретного типа объектов.

Специальный курс программы отражает вопросы промышленной безопасности, определения НДС и оценки остаточного ресурса магистральных, внутри-промысловых, распределительных трубопроводов; сосудов высокого давления и аппаратов. Область распространения программы может быть расширена на другие виды объектов путем дополнения специального курса.

Третий раздел — практический курс, который состоит из двух частей.

Первая часть — измерение НДС — включает демонстрацию приборов оценки НДС различными методами, а также непосредственное измерение НДС на специализированном стенде, разработанном и изготовленном фирмой "ДИГАЗ" для тестирования аппаратуры, применяемой для оценки НДС, а также для обучения персонала диагностических подразделений. Стенд представляет

собой трубопровод длиной 11,5 м, диаметром 530 мм и толщиной 8 мм, изготовленный из стали 17Г1С. На стенде можно реализовать два вида нагружения: внутреннее давление и силовой изгиб. Испытательный стенд оснащен тензометрической аппаратурой для измерения деформации. Стенд позволяет реализовать проведение контроля и измерений различными методами, а также проводить проверку практических знаний сертифицированных специалистов.

Вторая часть раздела — это решение конкретных задач по расчету НДС и сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Курс рассчитан на 80 ч. Курс программы содержит основные вопросы подготовки специалистов по определению НДС и расчету остаточного ресурса; сертификация специалистов по методу НДС проводится в соответствии с требованиями, изложенными в ПБ 03-440-02.

Очевидно, что сертификация по методу НДС может эффективно дополнить процедуру аттестации экспертов с правом оценки остаточного ресурса, экспертов высшей квалификации, поскольку в настоящий момент содержание курса и оценки квалификации эксперта не соответствует сложности его деятельности и ответственности.

Представленная программа согласована с ведущими специалистами ООО "Энергодиагностика", ООО "Интерюнис" и другими организациями. Разумеется, это первый вариант программы, она будет корректироваться и актуализироваться в процессе реализации.

Подготовку и сертификацию специалистов планируется начать с 2007 г.

В мире неразрушающего контроля, 2006, № 4

реклама

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА

ФОРСАЖ

INVERTER

НА ТОК

125 A
160 A
250 A
315 A
500 A

- ✦ **РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА (ММА)**
- ✦ **МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА (MIG/MAG)**
- ✦ **АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА (TIG)**

производим поставку оборудования, аттестованного НАКС

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РЯЗАНСКИЙ
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД



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



ТЕХНОЛОГИЯ
сварки **XXI**
века

Публикуется на правах рекламы

Российский национальный промышленный форум "Промышленные технологии для России"

С 29 мая по 1 июня 2007 г. в МВЦ "Крокус Экспо" проходил российский национальный промышленный форум "Промышленные технологии для России". Общая площадь экспозиции форума составила около 90 тыс. м². Свою продукцию и новейшие технологии представили более 1000 компаний из 23 стран. Ниже представлен только один раздел выставки — сварочное и резательное оборудование и технологии — краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, предложений предприятий разработчиков и сбытовых организаций, вызвавших наибольший интерес у специалистов.

ОАО "Автоваз" (Тольятти) демонстрировало на выставке *технологический комплекс УЗГ 04/22 ИЦ* для ультразвуковой сварки листовых пластмасс — малогабаритный компактный ультразвуковой генератор с комплектом устройств для клепки и точечной сварки деталей различной конструкции. Питающее напряжение комплекса 220 В, потребляемая мощность 0,85 кВт, рабочая частота 22 кГц. Габаритные размеры комплекса 285 × 360 × 180 мм, масса 0,8 кг. Комплекс прошел лабораторные и производственные испытания, удобен и безопасен в работе.

НПП "Технотрон" (Чебоксары) представило *аппарат ДС120П.33* для резки электропроводных материалов толщиной до 30 мм в цеховых условиях, в том числе для резки жаропрочных сталей и цветных металлов. Для подачи плазмообразующего газа задействован компрессор, в качестве плазмообразующего газа использован воздух или азот, подача газа регулируемая, давление контролируется манометром. Для работы при отрицательных температурах аппарат оснащен воздушным клапаном с подогревом. При отсутствии или низком

давлении плазмообразующего газа срабатывает блок защиты резака. При работе аппарата осуществляется легкое прожигание возможных загрязнений поверхности. Основная дуга (между катодом и разрезаемым материалом) зажигается при помощи косвенной (пилотной) дуги. Имеется возможность работы с ручным резаком или автоматическим в составе трубореза ТР-2 или других машин автоматической резки. Питающее напряжение аппарата 380 В, потребляемая мощность 25 кВт, плавно регулируемый ток резки 30—110 А. Диапазон рабочих температур аппарата —40—40 °С. Габаритные размеры 670 × 270 × 535 мм, масса 44 кг.

ЗАО "Псковэлектросвар" (Псков) демонстрировало новые разработки:

— *сварочный малогабаритный трансформатор 6ЮР.172.092* для установки в сварочные клещи промышленных роботов (ПР) и манипуляторов в качестве источника тока при контактной сварке. Трансформатор имеет водяное охлаждение. Его питающее напряжение 380 В, номинальная мощность (ПВ = 50 %) 23 кВт. Расход охлаждающей воды до 5,3 л/мин. Габаритные размеры трансформатора 120 × 180 × 320 мм, масса 20 кг;

— *сварочный трансформатор ТК-301* для работы в многоэлектродных машинах контактной сварки, а также в качестве источника сварочного тока. Охлаждение трансформатора водяное, мощность при ПВ = 50 % на максимальной ступени регулирования не менее 40 кВт, питающее напряжение 380 В. Расход охлаждающей воды 4 л/мин. Габаритные размеры 184 × 470 × 235 мм, масса 80 кг.

ОАО НПП "Газосварочные аппараты XXI век" (Москва) предложило потребителям новые сварочные аппараты:

— *сварочный комбайн "Москва-5Н"* для дуговой сварки и газопламенной обработки материалов. В аппарате совмещены сварочный инвертор и электролизно-водный генератор. Перевод с дугового на газопламенный режим работы осуществляется одним щелчком переключателя. Дуговая сварка выполняется постоянным током до 315 А. Сварочно-технологические характеристики источника питания дуги аппарата высокие, лучше, чем, например, у широко используемого выпрямителя ВДУ-305. Газовую сварку производят стандартной ацетилено-кислородной сварочной горелкой. Аппарат перекрывает весь диапазон расходов газа при работе с наконечником № 4 и часть диапазона при работе с наконечником № 5. Этого достаточно для газопламенной сварки и пайки стали, алюминия, латуни и меди толщиной до 5 мм, а также резки этих материалов толщиной до 5 мм. Мощность, потребляемая аппаратом, составляет 7 кВт, давление газовой смеси 0,5 МПа, питающее напряжение 380 В. Время выхода холодного аппарата на номинальную мощность при температуре 20 °С не более 15 мин. Продолжительность непрерывной работы без дозаправки не менее 3,5 ч. Габаритные размеры аппарата 360 × 850 × 680 мм, масса 75 кг. Рекомендуется для ремонтных работ, особенно, когда часть работы удобно выполнять дуговой сваркой, а часть — газопламенной, и может храниться и работать в заправленном состоянии при температуре ниже 0 °С;

— *аппарат "Москва-20"* (рис. 1) разработан для создания подогревающего пламени при машинной кислородной резке стали. Кислород подают из баллонов. Резаки — обычные, ацетилено-кислородные. Толщина разрезаемой листовой стали до 300 мм. Аппарат также может приме-



Рис. 1. Аппарат "Москва-20"

няться для порошкового напыления и питания двух и более постов сварки и пайки. Имеет выносной пульт дистанционного управления, водяной затвор также вынесен из аппарата, а блок питания собран в отдельном корпусе. Пульт управления и водяной затвор установлены на резательной машине вблизи от резака, а блок питания смонтирован в окне цеха, как бытовой кондиционер, чтобы вентилятор охлаждения не забрасывал цеховую пыль на электронику внутри блока. Потребляемая мощность аппарата 20 кВт, питающее напряжение 380 В, давление газовой смеси 0,5 МПа. Время выхода холодного аппарата на номинальную мощность при 20 °С не более 15 мин. Продолжительность непрерывной работы без дозаправки не менее 5 ч. Габаритные размеры аппарата: блока генератора — 360 × 1290 × 830 мм; блока питания — 520 × 270 × 370 мм; пульта управления — 235 × 190 × 110 мм; водяного затвора — 125 × 150 × 540 мм. Масса: сухого блока генератора — 115 кг; блока питания — 20 кг; пульта управления — 3 кг; водяного затвора — 4 кг.

Аппараты "Москва" взрывобезопасны при работе и хранении. Хранить их можно в любых помещениях, так как в неработающих аппаратах газ отсутствует. Процесс сварки такими аппаратами экологически чистый, жидкие и твердые отходы отсутствуют. Ацетиленовое пламя загрязняет воздух оксидами азота и углерода, а водородно-кислородное пламя создает только водяные пары. Это улучшает работу и самочувствие сварщика.

ФГУП комбинат "Электрохимприбор" (г. Лесной Свердловской обл.) демонстрировало на выставке газорезательное и сварочное оборудование:

— машину Ж65-Р258 (рис. 2) для резки труб в радиальном направлении с возможностью одновременного

образования фаски для последующей сварки, а также фаски на внутренней поверхности трубы диаметром 159—325 мм. Привод перемещения резака зубчатый, ручной, с усилием на рукоятке 13,5 Н. Ход резака в радиальном направлении 85 мм, вдоль оси трубы — 130 мм. Угол наклона резака в плоскости радиального сечения трубы ±25°; в плоскости осевого сечения трубы — ±45°. Тип резака СД091-000000. Габаритные размеры машины 550 × 565 × 370 мм, масса 11 кг;

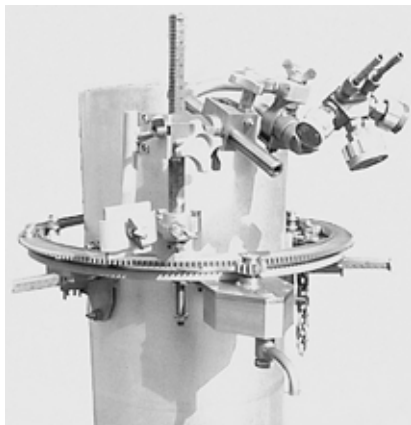


Рис. 2. Машина Ж65-Р258

— эксцентриковый центратор Ж08А8051 для сборки, центровки труб и рихтовки недопустимых смещений кромок при сварке труб. Диаметр собираемых труб 57—119 мм. Центратор эксплуатируется при температуре -50—40 °С, его масса 7 кг;

— устройство Ж46-Р167 для дистанционной приварки электродов к трубе. Применяется при производстве сварочных работ по приварке катодно-дренажных выводов электрохимзащиты на действующих магистральных газопроводах. Безопасность персонала гарантирована, так как сварочные работы проводятся на расстоянии 300—500 м. В состав устройства входят передатчик, формирующий кодовый радиосигнал и включающий в работу запал, и приемник, дешифрующий кодовый радиосигнал и включающий в работу запал. Мощность излучения передатчика не более 1 Вт. Питание устройства от батареи: передатчик — 12 В, приемник — 19 В. Число циклов срабатывания без замены батарей не менее 100.

Предприятие "Эласт" (Москва) представило на выставке универсальные электростатические фильтры для

улавливания сварочных и масляных аэрозолей:

— *складные кассетные фильтры типа ФСК* для очистки воздуха от пыли при сварке и сварке с одновременной зачисткой сварных швов, лазерной резке. Фильтры используются в системах приточной вентиляции и рециркуляции промышленных зданий и при повышенных требованиях к чистоте воздуха. Применение ФСК целесообразно при ремонтных работах, а также при необходимости очищать воздух от особо вредных веществ. Рекомендуемая концентрация пыли на входе не более 50 мг. Степень очистки до 99,995 %. Фильтры выпускаются как передвижные, производительностью 400—2000 м³/ч с вентилятором, так и стационарные, производительностью 400—40 000 м³/ч. В ФСК устанавливаются фильтрующие кассеты, например для сварки — кассета для улавливания газов СО, NO_x, HF.

Производственная компания "ТОР" (Москва) демонстрировала различные сварочные аппараты:

— *сварочный инверторный аппарат "Торус 200"* нового поколения, основанный на высокочастотном преобразователе напряжения сети, для дуговой сварки постоянным током. Диаметр сварочного электрода 1—5 мм, сварочный ток 200 А. В режиме короткого замыкания аппарат практически не потребляет тока сети, это свойство позволяет применять малогабаритные бензогенераторы для питания, а также использовать нестабильную бытовую сеть. Питающее напряжение аппарата 220 В. Габаритные размеры 115 × 185 × 280 мм, масса 5 кг;

— *ручной аппарат "ТОР"* (рис. 3) для соединения деталей из листового и профильного металла, а также



Рис. 3. Ручной аппарат "ТОР"

проволоки методом контактной точечной сварки. Питающее напряжение аппарата 220 В, мощность 2,2 кВт. Максимальная толщина свариваемости деталей 4 мм. Масса аппарата 8 кг.

Фирма BULAT (Москва) представила установку LRS100 для прецизионной лазерной сварки и наплавки (рис. 4) со сложным контуром сварных швов на малогабаритных и крупногабаритных деталях и узлах массой до 100 кг. Возможности широкого диапазона регулирования параметров излучения позволяют производить сварку и наплавку на конструкционных сталях, цветных металлах и сплавах. Отличительной особенностью установки является плавное вертикальное перемещение излучателя по координате $Z1 = 200$ мм в сочетании с трехкоординатным позиционированием свариваемых деталей — по двум координатам $X = 250$ мм и $Y = 150$ мм горизонтальным приводом стола и лифтом стола по координате $Z2 = 300$ мм в вертикальной плоскости. Такая компоновка расширяет инструментальную зону обработки и оперативность технологической перестройки под новые изделия. Средняя мощность излучения 100 Вт, энергия импульса излучения 40 Дж, длительность импульса излучения 0,2—20 мс, частота следования импульсов 0,5—20 Гц, диаметр сфокусированного луча 0,3—2 мм. Питающее напряжение установки 380 В, ее габаритные размеры 450 × 850 × 1100 мм, масса 150 кг. Наличие в составе уста-



Рис. 4. Установка LRS 100

новки контрольно-фокусирующей системы со стереоскопическим микроскопом позволяет производить тщательное визуальное позиционирование места сварки и контролировать формирование сварного шва. Тракт наблюдения оснащен устройством защиты глаз оператора от вспышки в момент сварки, что обеспечивает безопасность технологических операций и снижает фактор усталости при длительной работе на установке.

Компания "Вебер КоМеханикс" (Москва) предложила потребителям широкую гамму сварочного оборудования зарубежного производства:

— *портальный роботизированный комплекс Gantry-System* (рис. 5) для сварки в сложных производственных условиях. Его длина может достигать 26 м с позиционерами грузоподъемностью до 20 т. Системы большой грузоподъемности специально разработаны для надежной, точной сварки больших конструкций — экскаваторов, контейнеров и др.;

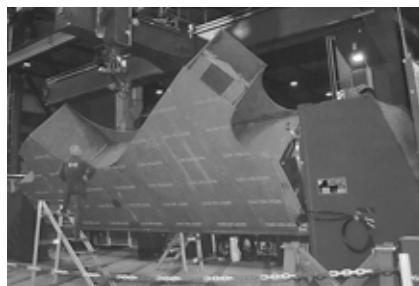


Рис. 5. Портальный роботизированный комплекс Gantry-System

— *координатный промышленный робот (ПР) CSR302* (рис. 6) для производства объемных сварных конструкций из проволоки и листового металла. Обеспечивается получение высококачественных сварных швов при присоединении заготовок из углеродистых и коррозионно-стойких сталей и алюминиевых сплавов. Поворотный стол обеспечивает непрерывность сварочных работ за счет одновременно осуществляемых операций сварки на одной стороне стола и укладки заготовок в кондуктор на другой стороне стола. Модульная конструкция ПР позволяет легко перестраивать его под новые технологические задачи. Рабочие режимы ПР — автоматический, обучающий, настройки и полуавтоматический — работают по 512 сварочным программам. Максимальная высота обрабатываемого изделия 400 мм, длина 2000 мм, ши-



Рис. 6. Координатный промышленный робот CSR 302

рина 1000 мм. Сварка по стальному прутку до 12 мм. ПР оснащен тремя сварочными цилиндрами. Угол поворота сварочной головки $\pm 90^\circ$. Сварочное усилие пневмоцилиндра 5 кН.

Промышленная группа "ДЮКОН" (Москва) продемонстрировала и предложила потребителям различное оборудование для резки и сварки, также разработанное за рубежом:

— *машину IK-12MAX3* нового поколения, которая может использоваться не только для газовой и плазменной резки, но и как сварочный трактор (каретка). Машина состоит из трех основных частей: каретки, сборного блока для резки и направляющих с набором дополнительных элементов. На каретку не влияют интенсивное тепловыделение и скачки напряжения в сети, механизм привода обеспечивает стабильное движение. Резак снабжен наконечником особой конструкции, спроектированным специально для резки больших толщин 100—300 мм. Скорость резания машины 80—800 м/мин. Управление скоростью осуществляет бесшаговая система. Питающее напряжение машины 110 или 220 В. Габаритные размеры 430 × 170 × 215 мм, масса 10 кг;

— *автоматическую портативную газорезательную машину CIR-CUT I/II* (рис. 7) для резки по окружности. Вырезку кругов можно производить в нижнем положении, на наклонном листе и вертикальной стене. Позиционирование машины осуществляется подвижным центром. Диаметры вырезаемых кругов 40—400 мм из листов толщиной до 30 мм, скос кромок под углом до 45° . Вырезка кругов на крутонаклоненных листах или вертикальных стенках осуществляется с помощью электромагнитного прижима. Мощность двигателя ма-

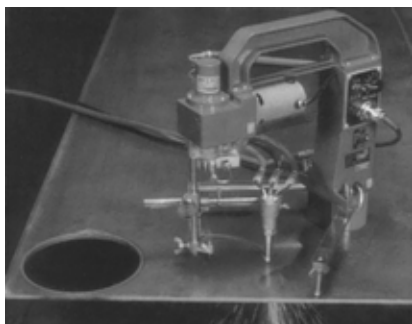


Рис. 7. Автоматическая портативная газорезательная машина CIR-CUT I/II

шины 15 Вт, ее габаритные размеры 410 × 450 × 395 мм, масса 12 кг;

— *многоцелевой сварочный трактор WEL HANDY MVLTI SERIES* (рис. 8) для сварки в горизонтальном и вертикальном положениях. Для увеличения производительности и снижения сварочных деформаций на тракторе установлены две горелки с расстоянием до 50 мм. Его корпус выполнен из алюминиевого литья, что делает трактор легким и надежным в эксплуатации. Низкое положение центра тяжести трактора обеспечивает его стабильное перемещение, он может легко пересекать другие сварные швы. Масса трактора с двумя горелками 16 кг, тянущее усилие (30 кг), создаваемое магнитной системой, легко отключается с помощью специального рычага, скорость перемещения сварочного трактора 150—1500 мм/мин, угол наклона горелки 45—55°. Ее регулирование производится по горизонтали и вертикали на 45 мм. Метод слежения за работой — с помощью направляющего

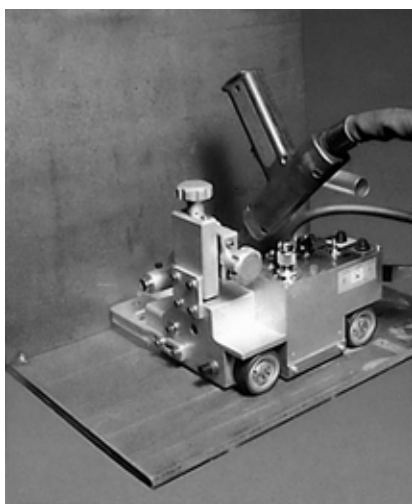


Рис. 8. Многоцелевой сварочный трактор WEL HANDY MULTI SERIES

ролика. Функцию автостопа выполняют концевые выключатели с выключением сварочной дуги. Габаритные размеры сварочного трактора 260 × 262 × 265 мм;

— *выпрямитель ВС-300Б* для механизированной дуговой сварки в защитном газе малоуглеродистых, низколегированных и легированных сталей постоянным током. Выпрямитель имеет жесткую внешнюю ВАХ, ступенчатое регулирование выходного напряжения (20 ступеней). Его тележка оснащена поворотными колесами, имеется площадка для установки баллона с защитным газом. Все это позволяет легко доставлять выпрямитель в любое удобное для работы место. Розетка на 36 В служит для питания подогревателя газа, имеются встроенный охлаждающий вентилятор, а также термозащита от перегрева трансформатора. Сварочный ток выпрямителя (ПВ 60 %) 350 А, питающее напряжение холостого хода 41 В, сетевое — 380 В, потребляемая мощность 18 кВт. Габаритные размеры 660 × 660 × 720 мм, масса 115 кг;

— *пистолет 3156* для выполнения точечной сварки пустотелых изделий, в которых сварка возможна только с одной стороны изделия (например, при сварке корпуса автомобиля или его ремонте). Усилие передается на электроды оператором от руки. Аппарат имеет держатели электродов специальной конструкции. При использовании прямых или изогнутых электродов можно изменять расстояние между ними до 38 мм. Номинальная мощность пистолета 7,9 кВт, свариваемые толщины 1 + 1 мм;

— *сварочный аппарат NOMARK 88* для приварки крепежа, используя принцип конденсаторного разряда. Электрическая энергия, накопленная в конденсаторной батарее силового блока, разряжается через выступающий кончик основания крепежного элемента и за счет образовавшейся дуги расплавляет основание крепежного элемента и металл под его основанием, после чего привариваемый элемент вдавливается в образовавшийся расплав, образуя прочное однородное соединение. Аппарат работает со сварочными пистолетами двух типов — подъемного G1 и контактного C1. Пистолет G1 предназначен для приварки крепежных элементов из алюминия, латуни, углеродистой и коррозионно-стойкой стали, а

сварочный пистолет контактного типа C1 — для приварки крепежа из углеродистой и коррозионно-стойкой стали, а также латуни. С помощью аппарата можно приваривать резьбовые шпильки М3 — М8 высотой до 80 мм, нерезьбовые шпильки диаметром 3—8 мм высотой также до 80 мм, резьбовые втулки с резьбой М3—М6 высотой до 40 мм, одинарные и двойные лепестки заземления, гвозди для крепления термоизоляции длиной до 225 мм. Цифровой вольтметр и светодиодные индикаторы режимов работы выведены на переднюю панель силового блока, имеющего термо- и электрическую защиту. Время сварки 0,001—0,003 с. Питающее напряжение аппарата 230 В. Габаритные размеры 195 × 265 × 400 мм, масса 13,5 кг;

— *универсальный стан X-2000A* (рис. 9) для сварки балок. Оптимальная скорость сварки достигается применением двусторонней сварки под флюсом способом тандем. На подающем конвейере происходит автоматическое центрирование заготовок стенки и полок. Установка оснащена правильным устройством, что исключает дополнительные затраты времени на операцию правки балки после ее сварки. Высота стенки балки 300—2000 мм, длина балки 6000—15 000 мм, ширина полки балки 200—800 мм, толщина стенки балки 6—30 мм, толщина полки балки 8—40 мм. Рабочая скорость технологической линии 400—1000 мм/мин плавно регулируется. Угол регулировки сварочной головки 45 ± 12,5°. Сварочный источник питания Lincoln Electric для сварки под флюсом с величиной сварочного тока 1000 А;



Рис. 9. Универсальный стан X-2000A

— *универсальный вращатель LM 35000* (рис. 10), позволяющий поднимать и поворачивать сложные конструкции и устанавливать их в наибо-



Рис. 10. Универсальный вращатель LM35000

лее удобную позицию для сварки. Управление вращателем осуществляется с пульта управления. Подъем, опускание и наклон осуществляет гидравлическая система. Вращение рабочего стола размером 2000 × 2000 мм также осуществляется гидросистемой и регулируется контрольной панелью. Вращатель рассчитан на нагрузку до 35 т.

Концерн "ЭСАБ" (Москва) предложил потребителям устройства, применяемые при сварочных рабо-

тах, также разработанные и изготовленные за рубежом:

— *устройство G-Tech* для быстрой, точной и правильной заточки вольфрамовых электродов, повышающей срок службы электрода, качество и стабильность горения дуги. Устройство оснащено цангами на различные диаметры электродов и электрододержателями. Заточка электрода должна производиться только вдоль его оси. Для больших токов требуется затупить электрод до диаметра площадки 0,1—0,2 диаметра электрода. Питающее напряжение устройства 220 В;

— *балансир* — пружинную подвеску, позволяющую уравновесить подвешенную сварочную головку, дрель или шлифовальную машинку массой 5—9 кг. Максимальная регулируемая длина троса подвески 2,7 м;

— *принтер* для регистрации режимов сварки. Он используется с программируемыми источниками Prowelder 160; 250; 320 и Protig 450. Принтер фиксирует заданные и реальные параметры, отображает скорости подачи и сварки, сварочного то-

ка, напряжения и т. п. для каждого сектора кольцевого шва отдельно. Указываются тип сварочного источника, время, дата, номер прохода и общее время сварки;

— *программное обеспечение Weldoc WMS'400*, устанавливаемое на ПК и позволяющее следить за сварочными параметрами, а также фиксировать их, в том числе с записью параметров, внесенных до начала сварки. ПК, оснащенный программой Weldoc WMS'400, может быть использован совместно с источниками Prowelder 160; 250; 320 или Protig 450.

Выставка прошла с большим успехом, ее посетили многие специалисты из различных отраслей промышленности. В рамках выставки были организованы конференции для машиностроителей "Рынок машиностроительной отрасли в Америке" и "Передовые машиностроительные технологии Великобритании для автомобильной, аэрокосмической и других отраслей промышленности".

А. Н. ИВАНОВ, инж.



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РАСКРОЯ МЕТАЛЛА



Оборудование для дуговых способов сварки



Установки для контактной сварки



Установки для плазменной резки



Машины для лазерной резки



Машины для термической резки



Машины для лазерной резки

Разработка комплексных решений для Вашего производства. Демонстрационные залы. Лизинг

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

Ждем Вас на WWW.DUKON.RU

Публикуется на правах рекламы

С 1 по 8 июля 2007 г. в г. Дубровник (Хорватия) состоялся юбилейный, 60-й конгресс МИСа. В рамках форума были проведены главные мероприятия, определяющие стратегию развития сварочных и родственных сварке технологий на ближайшее пятилетие:

- Генеральная ассамблея МИСа;
- Генеральная ассамблея ЕФС;
- заседание Комиссии ТК-44 ISO совместно с комиссиями МИС и ЕФС;
- рабочие заседания комиссий МИСа;
- Международная конференция "Сварка и материалы. Технические, экологические и экономические аспекты".

Важнейшие вопросы повестки дня Генеральной ассамблеи МИСа:

- рекомендации по выбору нового состава руководства МИСа;
- исполнение и планирование бюджета МИСа;
- прием новых стран в состав МИСа (преимущественно развивающихся);
- утверждение плана будущих генеральных ассамблей и конгрессов МИСа, а также планов региональных конгрессов МИСа;
- концептуальный и стратегический планы и задачи МИСа на 2007—2011 гг.

В работе конгресса приняли участие более 500 делегатов из 42 стран Европы, Азии, Америки, Австралии и Новой Зеландии. Самыми многочисленными были делегации наиболее промышленно-развитых стран: Японии (70 делегатов), Германии (53), США (42), Франции (32), Швеции (27). Далее по численности делегатов следуют Россия (23), Венгрия (19), Великобритания и Словакия (по 18), Австрия (16), Румыния и Украина (по 14), Канада (13) и т. д. Принимающая сторона — Хорватия — была представлена 32 делегатами.

На церемонии открытия ассамблеи были торжественно вручены премии и награды МИСа участникам, внесшим в течение последних лет значительный вклад в развитие технологии сварки, принимавшим активное участие в работе МИСа, а также достигшим выдающихся успехов в карьере.

По поручению Французского института сварки премия Г. Гранжона, учрежденная для награждения молодых специалистов по трем категориям А, В и С за выдающиеся исследовательские работы, была вручена:

- в категории А ("Соединения и производственные технологии") — М. Велговски (Польша) за работу "Исследование слабого излучения дуги при сварке в защитных газах вольфрамовым электродом для мониторинга процесса";
- в категории В ("Свариваемость материалов") — д-ру Ф. М. Диесу (США) за работу "Создание поля сжимающих остаточных напряжений в корневой зоне шва за счет фазового превращения";
- в категории С ("Проектирование и сварные конструкции") — д-ру И. Миками (Япония) за работу "Цифровой анализ коробления сварных швов исходя из влияния фазовых превращений".

Награды А. Смита по поручению делегации Великобритании был удостоен д-р Д. Котеки (США) за активную долготлетнюю работу в МИСе.

За выдающиеся достижения в области фундаментальных исследований по сварке и родственным технологиям по поручению японской делегации награда Й. Арата вручена проф. Х. Серджаку (Австрия), члену Совета директоров МИСа.

Медаль Эдстрема по поручению шведской делегации была вручена проф. д-ру Д. фон Хофе (Германия), выдающемуся деятелю МИСа.

От имени американской делегации д-ру Д. Шекельтону (Великобритания) вручена Медаль Томаса за существенный вклад в области международной стандартизации.

В университете г. Дубровник проходила работа 16 комиссий МИСа по различным технологиям сварки — дуговой, лучевой, давлением, контактной; пайке, склеиванию, включая смежные процессы; по металлургии сварки, контролю качества сварных конструкций; усталости сварных конструкций; проектированию, анализу и производству сварных конструкций; обучению, экологии, охране труда и безопасности, терминологии, стандартизации; сосудам, работающим под давлением, котлам и трубопроводам.

В рамках работы комиссий по сварке давлением был организован однодневный семинар "Последние достижения в сварке трением и смежных процессах". На этом семинаре 12 из 14 докладов были посвящены сварке трением с перемешиванием (СТП). Девять из них касались металлургии и технологии, два — контроля качества и мониторинга процесса сварки и один — роботизации СТП.

Интересные доклады были представлены в комиссии XII по физике и технологии сварки плавлением (дуговой, лазерной, электронно-лучевой, плазменной), а также на объединенном семинаре Комиссий III, VIII и XII "Здоровье и безопасность при сварке". Следует особо отметить сообщения о разработках и исследовании гибридных, преимущественно — лазерно-дуговых, процессов сварки.

Пленарное заседание конференции открыл д-р В. Крубистик (Хорватия) Portevin-лекцией "Эксплуатационная прочность сварных алюминиевых конструкций, влияния и аттестация". На 12 секциях конференции были заслушаны 90 докладов.

Члены российской делегации, возглавляемой заслуженным деятелем науки и техники РФ, д-ром техн. наук О. И. Стекловым, приняли участие в работе Комиссий II—V, IX—XII и секций конференции по соответствующим направлениям. Большой интерес вызвали доклады В. Ф. Чабуркина, В. Канавкина и О. И. Стеклова, посвященные вопросам диагностики и ремонтным технологиям магистральных трубопроводов.

Активное участие в заседаниях секций принимала украинская делегация, возглавляемая акад. НАНУ К. А. Ющенко. На объединенном заседании Комиссий III, VIII и XII им (с содокладчиками) были сделаны два доклада: "Феноменологическая модель существования и взаимодействия системы активированной дуги с жидким металлом в сварочной ванне при дуговой сварке вольфрамовым электродом" и "Возможности гибридных процессов малой мощности Nd:YAG-лазер + микроTIG/A-TIG-процесс при сварке коррозионно-стойких сталей".

Анализ представленных на секциях и комиссиях докладов показал, что около половины сообщений были посвящены разработкам и исследованию дуговых процессов сварки, лазерной и электронно-лучевой (около 12 %), гибридной (лазерно-дуговой) (около 12 %), трением с перемешиванием (около 16 %) и др. (взрывом, контактной, давлением, микросварке, плазменной и электрошлаковой, адгезионному соединению) (10 %). Наблюдается некоторое снижение доли работ по дуговым процессам сварки в общем объеме работ (несколько лет назад она составляла более 60 %). По-видимому, это связано с появлением новых альтернативных процессов, таких как, например, сварка трением с перемешиванием, гибридных и др.

Проведение следующего конгресса МИСа намечено на 6—11 июля 2008 г. в г. Граце (Австрия).

С решениями Генеральной ассамблеи и комиссий МИСа можно ознакомиться на сайте МИСа.

М. М. ШТРИКМАН,
д-р техн. наук (ОАО "НИАТ")

Международная конференция по сварочным материалам

18—21 июня 2007 г. в пос. Агой Краснодарского края состоялась IV Международная конференция по сварочным материалам стран СНГ, в работе которой приняли участие более 70 ведущих специалистов — разработчиков, производителей и потребителей сварочных материалов. Собранные заслушали приветствия от Администрации Краснодарского края, РНТСО, НК по сварке РАН, ИЭС им. Е. О. Патона.

Во вступительном слове инж. В. М. Дзюбы (ООО НПЦ "Сварочные материалы", Краснодар) были охарактеризованы основные направления деятельности организации — разработка и производство электродов, а также разработка оборудования для производства электродов.

Подробный анализ состояния производства сварочных материалов в странах СНГ представил в своем докладе исполнительный директор Ассоциации "Электрод" П. В. Игнатченко, а инж. В. К. Беляев (ОАО "Спецэлектрод", Москва) проанализировал опыт работы общественных организаций в области сварки.

Основные положения доклада "Новые разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области металлургии сварки и сварочных материалов", подготовленного акад. НАНУ, д-ром техн. наук И. К. Походней, представили канд. техн. наук И. Р. Явдошин и д-р техн. наук В. Н. Шлепаков (ИЭС им. Е. О. Патона).

Об организационно-технических мероприятиях по развитию предприятий рассказали инж. Н. Б. Кораблев (ОАО "Северсталь-Метиз", Череповец), д-р экон. наук Ю. В. Кусков (ОАО "Спецэлектрод", Москва), инж. П. Н. Погребной (ОАО "Сумской НПО "Машпром" им. М. В. Фрунзе"), инж. П. И. Моисеенко (завод ОАО "Северсталь-Метиз", Орел), инж. Н. А. Солей (ГПО ЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона) и инж. С. А. Шанин (ОАО "Межгосметиз-Мценск").

В ряде докладов содержалась информация о разработке новых электродов. О перспективном направлении улучшения свойств основных электродов при использовании в покрытии оксидов кальция, алюминия и титана, находящихся в составе минеральных сплавов (миналов) сообщил в докладе инж. И. М. Лившиц (ООО "Инстрэл", Ижорский филиал, С.-Петербург). Характеристики, особенности изготовления и применения электродов для сварки трубопроводов (сталей повышенной прочности, с целлюлозным покрытием, низководородистых для сварки в различных пространственных положениях) были рассмотрены в докладах канд. техн. наук В. Г. Лозового (ООО НПЦ "Сварочные материалы", Краснодар).

На базе тщательного анализа литературных данных и собственных экспериментов разработана серия низководородистых электродов, о чем сообщено в докладе канд. техн. наук И. Р. Явдошина (ИЭС им. Е. О. Патона) "Повышение хладостойкости сварных швов за счет оптимизации систем легирования и микролегирования при сварке покрытиями электродами низколегированных сталей повышенной и высокой прочности". Сотрудник того же института канд. техн. наук Н. В. Скорина доложил об электродах для сварки алюминиевых бронз.

Опытом применения российских электродов при капитальных ремонтах магистральных трубопроводов поделился инж. Е. В. Снесарев (ЗАО "Кубаньгазстрой", Краснодар).

О разработке и совершенствовании технологии изготовления сварочных порошковых проволок рассказал д-р техн. наук В. Н. Шлепаков (ИЭС им. Е. О. Патона), а опытом применения порошковых проволок для сварки и наплавки поделился инж. А. Билюнец ("ООО "Велтек", Киев). В докладе инж. А. В. Баранова (ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей", С.-Петербург) содержались данные о сварочной проволоке для сплавов МНЖМц 11—1,1—0,6.

В докладах канд. техн. наук М. Ф. Гнатенко (ООО "Велма", Киев) "Механизм формирования экструзионно-опрессовочных свойств обмазочных масс" и "Методика оценки технологических свойств обмазочных масс" были рассмотрены

технологические вопросы электродного производства, а в докладе инж. И. П. Зверевой ("ОАО "ММК-Метиз", Магнитогорск) — прогнозирования коэффициента массы электродного покрытия. Анализ причин появления ржавчины на проволоке типа Св-08 в процессе изготовления электродов содержался в докладе инж. Д. В. Арсюкова (ЗАО "Электродный завод", С.-Петербург).

В докладе д-ра техн. наук А. А. Чулариса (ДГТУ, Ростов-на-Дону) были убедительно показаны методические недостатки руководящего документа (РД 03-613-03), нормирующего процедуру аттестации сварочных материалов для подконтрольных Ростехнадзору объектов, особенно в части свойств покрытых электродов.

В докладе д-ра техн. наук З. А. Сидлина (ООО "Техпром", Москва) "Качество электродов: глазами изготовителя и потребителя" было показано, что при достигнутом улучшении свойств отечественных электродов по ряду показателей остается актуальным вопрос обеспечения стабильности их качественных характеристик, а на ведущее место выходят проблемы, связанные с фальсификацией продукции.

Несомненный интерес вызвал доклад д-ра техн. наук М. В. Карасева (ЗАО НПФ "ИТС", С.-Петербург) "Новое оборудование и материалы для сварки неповоротных стыков труб", в котором характеристики сварочного оборудования и сварочных материалов были рассмотрены во взаимосвязи.

Группа докладов была посвящена по-прежнему злободневной теме сырьевых ресурсов: о перспективном титаносодержащем, магнийкальций-содержащем и алюмосиликатном минеральном сырье Мурманской области (д-р техн. наук А. Б. Николаев, ИХТР ЭМС КНЦ РАН, г. Апатит); о слюдяных сланцах и вулканическом пепле Северной Осетии — Алании (канд. техн. наук Г. В. Рухлин, СКГМИ, Владикавказ), о титановом концентрате, получаемом по новой технологии, (канд. техн. наук И. Р. Явдошин, ИЭС им. Е. О. Патона). Результаты сравнительных испытаний образцов германской и российской электродной целлюлозы были представлены в докладе канд. техн. наук Н. В. Скорины (ИЭС им. Е. О. Патона), а опытом производства порошков ферросплавов поделился инж. А. В. Давыдов (ЗАО "Ферросплав", Челябинск). В докладе инж. И. М. Лившица (ЗАО "Свама", С.-Петербург) были рассмотрены проблемы поставок сырья для производства высоколегированных электродов.

Участники конференции заслушали также доклады, сделанные инж. И. М. Лившицем "О влиянии различных факторов на ударную вязкость металла, наплавленного электродами ЭА-898/21Б" и "О резервах улучшения отделимости шлаковой корки плавящихся сварочных флюсов при ленточной наплавке антикоррозионного покрытия", инж. А. В. Барановым "Возможности легирования азотом аустенитно-ферритного металла швов через электродное покрытие", канд. техн. наук Г. В. Рухлиным "Поверхностные процессы при стресс-коррозионном повреждении металла и сварных соединений магистральных трубопроводов", инж. А. Г. Кузнецовым (ООО "Ротекс", Московская обл.) об электрообмазочном агрегате с вертикальным прессом. С краткими сообщениями выступили также представители металлургического завода "Электросталь", Армавирского стекольного завода, ООО "Метмаш".

По заслушанным докладам и сообщениям прошла оживленная дискуссия.

Во время работы конференции состоялось очередное отчетно-выборное собрание Ассоциации "Электрод", на котором президентом был избран И. М. Лившиц.

Труды конференции опубликованы в сборнике докладов "Сварочные материалы. Разработка. Технология. Производство. Качество. Конкурентоспособность".

д-р техн. наук **З. А. СИДЛИН**
(ООО "Техпром", Москва)

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 75, N 8, 2006, Япония)

Furukawa K. Высокоскоростная сварка тонколистового металла с холодным переносом (cold metal transfer process). Р. 5.

Специальный выпуск

Новые технологии нанесения покрытий

Fukumoto M. Современное состояние и направления развития новых технологий наплавки и физического осаждения частиц. Р. 7—11.

Wada T. Новые разработки в области плазменного напыления. Р. 12—16.

Kuroda S. Новые направления развития технологии высокоскоростного газопламенного напыления. Р. 17—21.

Sakaki K. Основные направления исследований и разработок технологии холодного напыления. Р. 22—29.

Akedo J. Явление ударного отверждения керамических частиц при комнатной температуре и его использование в процессе осаждения аэрозолей. Р. 29—37.

Ohta T. et al. Разработка способа лазерного облучения наружных поверхностей для улучшения их напряженного состояния. Р. 38—42.

Sakuma M., Asai S. Цифровая система визуализации мастерства сварщика на базе видеосенсоров. Р. 43—47.

Tanaka T. Оценка долговечности лопаток газовых турбин теплоэлектроцентралей. Р. 48—51.

(Vol. 76, N 1, 2007, Япония)

Sango T. Сварочные материалы из никелевых сплавов. Р. 4.

Специальный выпуск

Уровень знаний и интеллекта в японской промышленности

Mita T. et al. Прогресс в технологиях сварки и соединениях, разработанных на основе новых идей и подходов. Р. 5. СИ 07.03.397.

Maruyama M. Контроль производственных возможностей — особенность Японии. Р. 6—9.

Sugitani Yu. История развития японских технологий по пути оригинальности и новаторства. Р. 10.

Hirata Yo. Организация специальных знаний, необходимых для рационализации промышленных технологий, включая сварку и соединения. Р. 13—16.

Matsui H. Уровень сварочных технологий в автомобильной промышленности. Р. 17—21.

Nakazawa Yu. Производственные возможности сварочных цехов в вагоностроении. Р. 22—25.

Fukushima A. Производственные возможности сварочных цехов в аэрокосмической отрасли. Р. 26—29.

Omata K. Производственные возможности сварочных цехов в судостроении. Р. 30—34.

Yamamoto H. Уровень сварочных технологий в производстве строительной техники. Р. 35—38.

Yasuda O., Nagaki H. Уровень сварочных технологий в мостостроении. Р. 39—43.

Iijima T., Nishimura Yo. Уровень сварочных технологий в производстве танкеров для природного сжиженного газа. Р. 44—47.

Asai S., Ogawa T. Уровень сварочных технологий в производстве оборудования для энергетики. Р. 48—54.

Ueyama T. Новые подходы к разработке сварочных источников и оборудования. Р. 55—60.

Koshiishi F. Перспективные сварочные материалы. Р. 61—64.

Satoh T. Перспективные защитные газы. Р. 65—67.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (An. LVIII, N 6, 2006, Италия)

Costa G. Очередной конгресс Международного института сварки в Канаде. Р. 777—787.

Pandolfo A. Аттестация сварщиков и сертификация технологий сварки алюминия и его сплавов. Р. 789—798.

Valentini E. et al. Разработка автоматизированной системы для измерения остаточных напряжений с помощью высверливания отверстий. Р. 801—807.

Fersini M. et al. Лазерная сварка облегченных кузовов трамвайных вагонов из коррозионно-стойкой стали. Р. 809—814.

Colombo F. Эргономика и организация труда. Р. 817—822.

Ancona A. et al. Исследование, определение характеристик и диагностика в реальном масштабе времени процесса лазерной сварки облегченных алюминий-магниево-сплавов. Р. 825—835.

Anderson T. Влияние молибдена на микроструктуру сварных соединений из коррозионно-стойкой стали. Р. 839—850.

Новейшая методика предупреждения водородного раскисления: стандарт UNI EN 1011-2. Р. 853—859.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 1, 2007, Германия)

Flegel H. Вступительное слово профессора доктора Генриха Флегеля, с 1 января 2007 г. президента DVS. С. 1.

4-й Международный симпозиум "Орбитальная сварка". С. 9.

Новая технология плазменного напыления улучшает качество, сокращает затраты и время. С. 10—13.

Dilthey U. Гибридная сварка (лазер + МИГ) алюминия и магниевых сплавов. С. 16—22.

Wohlfahrt H. Внутренние напряжения сварных соединений. Ч. 2: Оценка внутренних напряжений. С. 23—32.

Доклады конференции в Аахене (20—22 сентября 2006 г., изданы в сборнике "DVS-Bericht" 240). С. 37—45.

Комиссия МИС XVI "Соединение полимеров и технология склеивания". С. 45—46.

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).

Комиссия МИС XIII "Вибрационная прочность сварных компонентов и структур". С. 46—48.

Комиссия МИС II "Дуговая сварка и присадочные материалы". С. 49—50.

Комиссия МИС V "Неразрушающий контроль и обеспечение качества". С. 51.

Комиссия МИС IX "Поведение металлов при сварке". С. 51—52.

TWI CONNECT

(Issue 146 (January/February), 2007, Англия)

Соединение тканей лазером прокладывает невидимые строчки — новый проект в Уэльсе. Р. 1.

Главное сотрудничество Британского института сварки. Р. 2.

Снижение затрат на простой робота благодаря использованию автономного программирования. Р. 3.

Расходуемые сварочные материалы. Ч. 5. Сплошные и порошковые проволоки для МИГ/МАГ-сварки. Р. 4—5.

Преимущества волоконного лазера для резки кромок. Р. 8.

WELDING AND CUTTING

(N 1, 2007, Германия, Англия, Франция) Англ. яз.

Коррозионное повреждение в процессе эксплуатации и его оценка. Р. 15—16.

70 % экономии времени благодаря использованию программной оптимизации по технологии сварки. Р. 17—21.

Перестройка стальных конструкций с целью удовлетворения современным требованиям к панелям, применяемым в судостроении. Р. 24—26.

Thomas W. et al. Технология сварки трением с перемешиванием — предварительные исследования разных технологий. Ч. 2. Р. 32—36.

Staubach M. et al. Измерение и сведение к минимуму деформаций, вызванных сваркой между сечениями тавровых соединений. Р. 41—44.

Shackleton D. Снижение риска разрушения в сварных компонентах. Р. 45—49.

WELDING JOURNAL

(Vol. 86, N 2, 2007, США)

Joaquin A. et al. Снижение усадочных раковин в точечных сварных соединениях. Р. 24—27.

Hamburger R. O. et al. Новое дополнение к норме Американского сварочного общества AWS D1.8 по сварке строительных конструкций в сейсмических условиях. Р. 28—31.

Hirsch R. B. Повышение безопасности контактной точечной сварки. Р. 32—37.

Reichert C., Peterson W. Контроль электродов и сварных швов, выполненных контактной точечной сваркой, с помощью лазерного формирования изображений. Р. 38—45.

Scotchmer N. Сокращение затрат на процесс контактной сварки. Р. 47—49.

Okui N. et al. Процедура прогнозирования формы зоны плавления. Р. 35-s—43-s.

Furuya H. et al. Новое предложение по методу оценки вязкости ЗТВ. Р. 44-s—50-s.

DuPont J. N., Kusko C. S. Технический комментарий: Образование мартенсита в сварных соединениях из разнородных аустенитных / ферритных сплавов. Р. 51-s—54-s.

УДК 621.791(088):16

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

Устройство для термической резки труб содержит основание, перемещаемую по закрепленным на основании рельсам тележку с парой установленных на валах приводных ходовых колес и жестко установленной на ней стойкой, на которой с возможностью изменения положения смонтирован резак, и привод перемещения тележки. Отличается тем, что тележка снабжена установленными на предусмотренных консолях валов пары приводных ходовых колес с их внешней стороны зубчатыми шестернями, взаимодействующими с зубчатыми рейками, закрепленными на основании па-

раллельно рельсам, при этом диаметр делительной окружности зубчатых шестерен равен наружному диаметру приводных ходовых колес. 2278769 (C2). О. М. Фартушной (RU), Б. И. Самохин (RU), В. В. Машечков (RU) и др. ОАО "Электростальский завод тяжелого машиностроения" (RU). [18].

Устройство автоматического управления положением сварочной горелки содержит источник питания дуги, шунт в сварочной цепи, сварочную горелку, датчик сварочного тока, первый аналоговый коммутатор, первую — одиннадцатую аналоговые памяти, первое — двенадцатое устройства сравнения, первую — одиннадцатую постоянные аналоговые памяти, первый и второй сумматоры, первый, второй и третий компараторы, первый и второй аналоговые ключи, усилитель привода управления высотой, привод управления высотой и привод движения сварочной горелки поперек стыка для управления движением сварочной горелки. Отличается тем, что дополнительно введены первое и второе отключающие устройства, третий, четвертый и пятый сумматоры, регулируемый усилитель амплитуды колебаний электрода, задатчик колебаний, четвертый и пятый компараторы, первый и второй триггеры, первый — третий умножители, масштабирующий усилитель и источник питания приводов. 2278770 (C1). Э. М. Соколов (RU), В. М. Панарин (RU), Н. И. Воронцов (RU) и др. Тульский государственный университет (RU). [18].

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

Обозначения: С — патент РФ, выданный вместо ранее не публиковавшегося а. с. СССР на оставшийся срок; С1 — патент, выданный без предшествующей публикации сведений о заявке; С2 — патент, выданный с предшествующей публикацией сведений о заявке; А1 и А2 — авторское и дополнительное авторское свидетельства СССР, ранее не публиковавшиеся; У1 — свидетельство РФ на полезную модель.

Способ дуговой сварки неподвижным плавящимся электродом включает установку между свариваемыми поверхностями металлических изделий электрически изолированного от них посредством прослоек из диэлектрического материала толщиной Δ неподвижного плавящегося электрода, ширина которого не меньше толщины соединяемых изделий, подключение плавящегося электрода и изделий к различным полюсам источника питания, при этом электрод подключают к соответствующему полюсу источника питания при помощи токоподводов, и формирование сварного соединения после зажигания электрической дуги между электродом и изделиями за счет самоустанавливающегося процесса перемещения распределенной по высоте стыка сварочной ванны и охлаждения расплавленного металла. Отличается тем, что электрод формируют из M пластин толщиной δ и длиной, не превышающей произведения скорости сварки на интервал времени, соответствующий нагреву сварочным током каждой пластины до заданной допустимой температуры, пластины располагают последовательно друг за другом с продольным зазором длиной $l_1 = (1 \div 4)\Delta$ между обращенными друг к другу торцами рядом расположенных пластин и по всей длине зазора между соединяемыми изделиями, пластины дополнительно электрически изолируют друг от друга диэлектрическим материалом толщиной, равной длине продольного зазора l_1 , причем каждую пластину подключают к соответствующему полюсу источника питания с помощью соответствующего токоподвода, который устанавливают на расстоянии $l_2 = (1 \div 6)\delta$ от ее хвостового торца, а электрическую дугу зажигают между нижней частью переднего торца первой пластины и изделиями. 2278771 (С1). В. О. Бушма (RU), Д. В. Калашников (RU). [18].

Способ изготовления режущего инструмента с припаянной режущей пластинкой включает формирование лунок на поверхности режущей пластинки, припайвание ее к корпусу-державке и охлаждение. Отличается тем, что на поверхности корпуса-державки в месте припайки режущей пластинки формируют лунки, диаметр которых равен $0,1\text{--}0,2$ толщины режущей пластинки, а глубина равна величине зазора между деталями. 2279338 (С1). А. Н. Тарасов (RU), В. Н. Тилипалов (RU), В. А. Макаровский (RU). Калининградский ГТУ (RU). [19].

Способ сварки открытой дугой, сварной шов и расходный электрод. Способ сварки открытой дугой включает подачу в место сварки трубчатого расходного электрода с азотсодержащим сердечником для получения шва, содержащего азот. Отличается тем, что используют электрод с содержанием хрома в сердечнике в пределах $17\text{--}30\%$ и азота до $0,3\%$. 2279339 (С2). С. Этамерт (GB), В. К. Стекли (GB), Ж.-Л. Скаенделла (FR). "Велдинг Эллойз Лимитед" (GB). [19].

Флюс для сварки сталей, покрытых алюминием, содержит плавиковый шпат, никель, цирконовый концентрат. Отличается тем, что дополнительно содержит криолит при следующем соотношении компонентов (%): $7,1\text{--}11,8$ цирконового концентрата; $22,9\text{--}37,6$ никеля; $9\text{--}12,6$ плавикового шпата; $41\text{--}57,4$ криолита. 2279342 (С2). А. И. Ковтунов (RU), В. П. Сидоров (RU), В. А. Лабзин (RU), Т. В. Чермашенцева (RU). НОУ "Технический учебный центр "Спектр" (RU). [19].

Высоковольтный источник электропитания электронно-лучевой пушки содержит последовательно соединенные трехфазный мостовой выпрямитель, импульсный преобразователь понижающего типа, фильтр, инвертор повышенной частоты с системой управления, трансформаторно-выпрямительный блок и микропроцессорную систему управления. Отличается тем, что дополнительно содержит первый и второй датчики напряжения, систему управления импульсным преобразователем понижающего типа, блок обратной связи, блок ограничения тока, систему управления блоком ограничения тока, датчик тока, узел сравнения. 54549 (U1). В. Д. Семенов (RU), В. В. Русанов (RU), В. А. Федотов (RU), К. Ф. Матвеев (RU). ООО "НПП "ЭЛИОН" (RU). [19].

Способ электрошлаковой наплавки прокатных валков в вертикальном положении включает наведение кольцевой шлаковой ванны между наплавляемой поверхностью и охлаждаемым кристаллизатором, содержащим по крайней мере две секции, нижнюю — формовочную, верхнюю — токоподводящую, имеющую вертикальный паз, в котором устанавливают изолирующую прокладку, и токоподводящий поддон, причем к одному концу токоподводящей секции на границе с пазом осуществляют токоподвод от одного полюса источника питания, а от другого — к нижнему торцу вала через токоподводящий поддон, поддержание нижнего уровня шлаковой ванны ниже нижнего края верхней токоподводящей секции, плавление наплавочного материала в шлаковой ванне, перемещение кристаллизатора относительно вала, поддержание скорости вращения шлаковой ванны в установленных пределах. Отличается тем, что в токоподводящей секции кристаллизатора выполняют дополнительные вертикальные пазы, в которых располагают изолирующие прокладки, разделяющие токоподводящую секцию на секционные элементы равной длины, источник питания выполняют многофазным, при этом делают число его фаз равным числу секционных элементов, к одному концу каждого из секционных элементов осуществляют токоподвод от одного полюса одной фазы многофазного источника питания, порядок следования фаз устанавливают в соответствии с порядком расположения секционных элементов по периметру вала, которые полюса многофазного источника питания соединяют в общую точку и подключают к токоподводящему поддону, на каждый из секционных элементов от источника питания поочередно подают импульсы напряжения, чередуя их с бестоковой паузой. 2279954 (С2). И. С. Сарычев (RU), В. Н. Мещеряков (RU), В. П. Меринов (RU). [20].

Способ образования стыковых сварных швов на трубах при производстве трубных шпилек включает подготовительные операции на соединяемых трубах к сварке, их сборку и аргодуговую сварку неплавящимся электродом. Отличается тем, что сборку труб выполняют, достигая контакта по торцам, симметрично контактной поверхности на внешней поверхности сопрягаемых концов труб размещают промежуточный элемент в виде втулки из присадочного материала, производят холодный обжим соединяемых элементов путем приложения радиального сжимающего усилия к внешней поверхности втулки, формируя контактное остаточное напряжение между соединяемыми элементами, сплавляют материал втулки с материалом труб, после чего горячий стык подвергают радиальному обжиму на оправке с окончательным формированием внутренней поверхности стыка операцией дорнования, для чего после сплавления в полость образуемую трубами, вводят дорн. 2279955 (С1). С. И. Козий (RU), Г. А. Батраев (RU), С. С. Козий (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU). [20].

Способ изготовления штампа холодного деформирования включает наплавку на рабочую часть штампа сварочного материала, содержащего углерод, кремний, марганец, хром, кобальт, неизбежные примеси и остальное — Ре, механическую обработку наплавленной рабочей части для формирования заданной геометрии и последующую обработку холодом наплавленного металла. Отличается тем, что для наплавки используют сварочный материал, дополнительно содержащий ванадий и молибден при следующем соотношении компонентов (%): $0,5\text{--}1,5$ С, $0,2\text{--}2,0$ Si, $0,3\text{--}6,0$ Mn, $0,3\text{--}10$ Cr, $0,3\text{--}10$ Co, $0,3\text{--}2,0$ V и $5,0\text{--}10,0$ Mo, неизбежные примеси и Fe — остальное, наплавленный металл охлаждают со скоростью выше критической скорости закалки в температурном интервале $A_{r1} - 600^\circ\text{C}$, а после обработки холодом наплавленный металл подвергают отпуску. 2279956 (С1). Е. Н. Зубкова (RU), Н. С. Зубков (RU), А. А. Золотов (RU), Д. В. Булкин (RU). Тверской ГТУ (RU). [20].

Припой на основе меди для пайки разнородных соединений бериллия с конструкционными сплавами. Отличается тем, что дополнительно содержит бериллий, марганец, титан, железо, алюминий, кремний, магний, никель при следующем соотношении компонентов (%): 1,65—2,0 бериллия; 0,5—0,7 марганца; 0,3—0,5 титана; 0,2—0,4 никеля; 0,15—0,25 железа; 0,1—0,2 магния; 0,1—0,15 алюминия; 0,1—0,15 кремния; остальное — медь. 2279957 (C1). Е. Н. Каблов (RU), А. Н. Фоканов (RU), В. С. Каськов (RU) и др. ФГУП "ВИАМ" (RU). [20].

Универсальный стенд для сборки под сварку плоских решетчатых металлоконструкций содержит поддон, в котором установлены ложементы из легкоплавкого сплава, нагреватели, соединенные с источником тока и размещенные в основании поддона. Отличается тем, что между ложементами из легкоплавкого сплава установлены биметаллические пластины для приподнятия металлоконструкции над затвердевшим легкоплавким сплавом и дополнительные нагреватели, соединенные с источником тока, для нагрева указанных биметаллических пластин. 2279958 (C2) А. А. Котельников (RU), Т. В. Алпеева (RU). Курский ГТУ (RU). [20].

Установка для крепления теплообменных труб в трубной доске по а. с. 635773. Отличается тем, что для упрощения технологии изготовления и повышения экономичности камера дополнительно содержит зеркало, установленное в ее днище и имеющее выемки, симметричные осям труб для дополнительной фокусировки луча. 790889 (A2). А. Г. Котенев, М. М. Милько. [20].

Установка для лазерной обработки содержит лазер и установленные вдоль его оптической оси аксикон, афокаль-

ную насадку, фокусирующий объектив и рабочий стол. Отличается тем, что для повышения производительности путем удаления продуктов из зоны обработки она снабжена регулируемым генератором магнитного поля, один из полюсов которого выполнен в виде наконечника, расположенного соосно оптической оси лазера, и соединен с рабочим столом, а другой расположен над рабочим столом и синхронизатором импульсов магнитного поля и лазерного излучения. 1515551 (A1). А. В. Фабриков, В. А. Газин, В. Г. Братякин. [20].

Установка для лазерной обработки материалов содержит лазер и установленные последовательно на оптической оси лазера афокальную систему, средства фокусировки и преобразования сфокусированного излучения в световой пучок кольцевой формы, включающие выполненные в виде моноблока линзу и конический аксикон, расположенные соосно и снабженные средствами перемещения вдоль оптической оси, и устройство для двухкоординатного перемещения обрабатываемого изделия. Отличается тем, что для повышения производительности средства фокусировки и преобразования сфокусированного излучения выполнены в виде пластины из прозрачного материала с коническими углублениями или выступами, образующими конические аксионы с одной стороны, и со сферическими выступами, образующими линзу с другой стороны, при этом пластина установлена на устройстве для двухкоординатного перемещения обрабатываемого изделия с возможностью перемещения вдоль оптической оси лазера и поворота относительно плоскости, перпендикулярной этой оси. 1497874 (A1). А. В. Фабриков, В. М. Кирсанов. [20].

Н. В. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 669.017:621.791

Статистический термодинамический анализ структурного состава сварных соединений аустенитных сталей. Феклистов С. И. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 3—9.

На основании представлений статистической термодинамики обратимых процессов и использования многомерного распределения Пуассона предлагается прикладной метод флуктуационного анализа для оценки структурных образований на примере коррозионно-стойких аустенитных сталей, их сварных соединений и наплавленного металла. Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. 16.

УДК 621.791.36:546.831

Пайка сплавов циркония аморфным быстрозакаленным ленточным припоем. Калинин Б. А., Мамедова Т. Т., Федотов В. Т. и др. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 10—14.

Для соединения циркония и его сплавов разработан быстрозакаленный ленточный сплав-припой системы $Zr-Fe-Nb-Be-Cu-Sn$. Разработан способ изготовления паяных полномасштабных дистанционирующих решеток ВВЭР-440 с использованием ленточного сплава-припоя. Исследования паяных соединений ячеек циркониевых дистанционирующих решеток, в том числе реакторные испытания под облучением, показали возможность использования пайки аморфным быстрозакаленным припоем при конструировании элементов активных зон ядерных реакторов. Ил. 8. Библиогр. 12.

УДК 621.793.18

Механизм формирования единичного участка вакуумного несплошного покрытия. Матвеев Н. В. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 15—19.

Экспериментально установлен и аналитически обоснован равнообъемный "чашечный" механизм формирования единичного участка несплошного покрытия, получаемого в вакууме при помощи танной стальной сетки. Показано, что основой указанного механизма является эффект "подпыления" покрытия под проволоку, из которой изготовлена сетка.

Даны рекомендации по конструкции перфорированной ленты и характеру закрепления ее на подложке при формировании несплошного покрытия по приведенному механизму. Ил. 4. Библиогр. 6.

УДК 621.791.4

Применение порошкообразных прослоек при контактной сварке металлов с высокой электропроводностью. Федянин В. С. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 20—22.

При контактной сварке металлов с высокой электропроводностью для изменения физических и металлургических условий предложено размещать в контактной зоне прослойку из сложного легированного самофлюсующегося $Cr-Ni$ -порошка с высоким удельным электросопротивлением, что повышает контактное сопротивление, способствующее расплавлению прослойки с последующим ее вытеснением, и интенсифицирует конвективный разогрев основного металла в зоне сварки. При этом обеспечивается получение качественного соединения металлов с высокой тепло- и электропроводностью, в том числе меди, на серийном сварочном оборудовании, с меньшими энергозатратами. Ил. 3. Библиогр. 6.

УДК 621.791.927.6

Особенности электроконтактной приварки стальной ленты к нормализованным и цементованным деталям. Левин Э. Л., Сайфуллин Р. Н. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 23—24.

Приведены результаты исследования влияния размеров детали, ее предварительной механической обработки и режимов электроконтактной приварки на образование трещин в металлопокрытии цементованных и нормализованных деталей. Установлено, что на образование трещин большее влияние оказывает содержание углерода в основном металле детали, чем структурное состояние поверхности основного металла. Ил. 2. Библиогр. 2.

Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор). В 3 ч. Ч. 2. Штрикман М. М. — Сварочное производство. 2007. № 9. С. 25—32.

В обзоре сообщается в основном о зарубежных разработках и промышленном использовании процесса сварки трением линейных соединений (сварка трением с перемешиванием) в разных областях техники за последние пять лет. Наибольшее внимание уделено термомеханическим процессам при сварке (ч. 1), совершенствованию сварочного инструмента и технологической схемы процесса (ч. 2), а также промышленному применению процесса сварки (ч. 3). Ил. 8. Библиогр. 33.

УДК 621.791.92

Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений. Степанов Ю. А., Вахрушев О. В., Трофимова А. Н. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 33—34.

Приведены результаты исследований по определению влияния защитных покрытий ВЛ-023, ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2

на механические свойства сварных соединений и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны при производстве цистерн. Табл. 3. Ил. 2.

УДК 621.791:621.795.4

Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление. Мchedlov С. Г. — Сварочное производство. 2007. № 10. С. 35—45.

Приведено описание методов газопламенного и детонационного напыления покрытий, основные физико-химические свойства применяемых горючих газов, параметры газопламенной струи, установок для напыления покрытий и основные эксплуатационные показатели процесса. Сделан вывод о наличии резервов для повышения технико-экономической, санитарно-гигиенической и экологической эффективности технологии. Табл. 7. Ил. 17. Библиогр. 10.

Abstracts of the articles published in “Svarochnoe proizvodstvo”, 2007, № 10

Statistical thermodynamic analysis of the austenitic steel welded joints structural makeup. Feklistov S. I. P. 3—9.

Basing on the concepts of statistical thermodynamics of reversible processes and on usage of Poisson's multidimensional distribution, an applied approach of fluctuation analysis is suggested to evaluate structural formations by the example of rust-resisting austenitic steels, welded joints and added metal.

Zirconium alloys soldering by amorphous quick-quenched belt solder. Kalin B. A., Mamedova T. T., Fedotov V. T., Sevryukov O. N., Isayenkova M. G., Perlovich Yu. A., Timoshin S. N., Sinelnikov L. P., Kuznetsov V. R. P. 10—14.

A quick-quenched belt alloy-solder for the Zr—Fe—Nb—Be—Cu—Sn system is developed to joint zirconium and its alloys. A production technique is engineered for soldered full-scale ББЭР-440 spacer grids using belt solder alloy. Tests of the zirconium spacer grid cells soldered joints, including reactor testing under irradiation, showed that it is possible to conduct amorphous quick-quenched soldering at designing core components of nuclear reactors.

Vacuum non-continuous coating single area formation mechanism. [Matveyev N. V.] P. 15—19.

Various in space “cup-shaped” formation mechanism of a non-continuous coating single area, obtained in vacuum using cloth steel mesh, is established by experiment and confirmed analytically. It is shown that described mechanism is based on the effect of coating sputtering under the wire of the mesh.

Recommendations are given on the punched tape construction and on its fixing nature on the base at non-continuous coating formation by the mechanism under consideration.

Usage of powder-like interlayers at contact welding of high-electroconductive metals. Fedyanin V. S. P. 20—22.

Aimed at changing physical and metallurgical conditions at high-electroconductive metals contact welding, it is suggested to place interlayer bearing complex-alloyed self-fluxing Cr—Ni powder with high specific resistance, which increases contact resistance, enabling interlayer fusion and its further dislodgment, and intensifies convective heating of the parent metal in the weld zone. As a result

high-grade metal joints with high heat- and electroconductivity are ensured, including copper, by production welding equipment with less power inputs.

Special features of steel belt electrocontact welding to standard and cemented components. Levin E. L., Sayfoolin R. N. P. 23—24.

Research results of a component dimensions, its pre-machining and conditions of electrocontact welding effect on crack formation in metal coating of the cemented and standard components are covered. It is established that temper in the parent metal of a component affects crack formation stronger than structural condition of the parent metal surface.

State and progress of the leaner joints friction welding process: A Review. Part 2. Upgrading of tooling and welding process flowsheet. Shtrikman M. M. P. 25—32.

Generally the review considers foreign developments and industrial application of the leaner joints friction welding process (stirring friction welding) in different fields of technology for the last five years. The most attention is paid to thermomechanical processes at welding (Part 1), to upgrading welding accessories and process flowsheets (Part 2), as well as industrial application of welding (Part 3).

Protective coatings effect on the welded joints' properties. Stepanov Yu. A., Vakhrushev O. V., Trofimova A. N. P. 33—34.

Test results of the ВЛ-023, ЦВЭС-МО1 and ЦВЭС-МО2 protective coatings effect determination on the welded joints' mechanical properties and contents of hazardous substance in the working area air at cistern production.

Gas-thermal coating in machine components strengthening and reconditioning processes: A Review. Part 1. Flame and explosion spraying. Mchedlov S. G. P. 35—45.

Methods of flame and explosion coating spraying, basing physical-and chemical properties of the used burning gases, parameters of the gas-flame blast, spraying machines and main operating characteristics of the process are described. It is deduced that there are reserves for increasing feasible, health and ecological efficiency of the processes.

Исполнилось 80 лет известному ученому, академику Академии проблем качества РФ, заслуженному деятелю науки Кубани, почетному работнику высшего профессионального образования РФ, проф., д-ру техн. наук Дмитрию Леонтьевичу Поправке.

Д. Л. Поправка родился 25 сентября 1927 г. в с. Кузнецово-Михайловке Тельманского р-на Донецкой обл.

С 1945 по 1984 гг. служил в Вооруженных силах СССР на различных должностях, где прошел путь от рядового до полковника. После окончания инженерного факультета Военной академии бронетанковых войск в 1959 г. служил на заводах по производству и ремонту военной техники, принимал активное участие в разработке и модернизации автомобильной и танковой техники. В 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1979 г. — докторскую. В 1981 г. ему присвоено ученое звание профессора кафедры "Технология производства и ремонта машин". С 1965 по 1984 гг. работал в высших военных инженерных училищах, где прошел путь от преподавателя до заместителя начальника по научной и учебной работе Краснодарского высшего военного инженерного училища ракетных войск. После увольнения в запас в 1984 г. работал ведущим научным сотрудником Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института по креплению скважин и буровым растворам (ВНИИКРнефть) в Краснодаре, а с 1991 г. является профессором кафедры "Машиностроение и автомобильный транспорт" Кубанского ГТУ.

Д. Л. Поправка — высококвалифицированный педагог и крупный ученый в области сварочного производства. Под его руководством подготовлено более 600 инженеров машиностроительного производства, две докторских и 15 кандидатских диссертаций. Он автор более 300 трудов, имеет восемь патентов и девять авторских свидетельств на изобретения.

Основным направлением деятельности Д. Л. Поправки является разработка научных основ повышения качества производства и ремонта изделий дуговой сваркой в различных условиях с уче-

том климатических, технологических и конструкторских факторов, теоретических основ технологических процессов производства и ремонта военной техники, теории и математических моделей расчета сварочного оборудования для защиты зоны сварки при выполнении работ на открытых площадках.

Дмитрий Леонтьевич разработал способ восстановления нефтяных и газовых скважин сварными металлическими пластырями, новое оборудование и технологические процессы его ремонта. Этот способ, позволяющий перекрывать дефектные участки обсадных колонн длиной до 50 м, широко применяется на Кубани, Ставрополье и в других регионах РФ, странах ближнего и дальнего зарубежья.

В настоящее время под руководством Д. Л. Поправки разрабатываются сварочные материалы для сварки высоколегированных коррозионно-стойких аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях.

Д. Л. Поправка является членом научно-координационного совета ИЭС им. Е. О. Патона, учебно-методического объединения по машиностроению при Московском государственном станкостроительном университете, научно-технического совета ОАО "Научно-исследовательский институт по монтажным работам" (Краснодар).

Плодотворная военная, научная и педагогическая деятельность Д. Л. Поправки отмечена орденом Красной Звезды, двумя орденами КНР и четырнадцатью медалями.

Дмитрий Леонтьевич является высококвалифицированным ученым, пользуется заслуженным авторитетом у сотрудников и студентов.

Сердечно поздравляем Дмитрия Леонтьевича с юбилеем, желаем здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

ОАО "НИИМонтаж",
кафедра "Машиностроение
и автомобильный транспорт" КубГУ,
ООО НПЦ "Сварочные материалы",
редколлегия и редакция журнала
"Сварочное производство"

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 14.08.2007. Подписано в печать 18.09.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,905. Уч.-изд. л. 10,44. Заказ 19/07.

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

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

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