



Сварочное производство

12 (889)
Декабрь

2008

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

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

Редакционная коллегия:

Гл. редактор В. А. Казаков

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

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

Адрес редакции:

127015, Москва,
ул. Большая Новодмитровская, 23.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01,
Издательский центр
"Технология машиностроения".

Телефоны:

гл. редактор — (495) 796 2491;

редакция — (495) 748 0142.

Факс: (495) 748 0142.

Бухгалтерия: 8 910 414 9184.

E-mail: svarka@ic-tm.ru

Http://www.ic-tm.ru

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

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

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

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

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

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Федоренко Г. А., Андреев Г. М. — Эффективность газовой защиты при сварке
соединений с глубокими узкими разделками _____ 3
- Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. — Формирование зоны сплавления при плаз-
менной порошковой наплавке _____ 8
- Ботвинников А. Ю., Нейфельд О. И., Ефименко Л. А., Капустин О. Е. — Влия-
ние термической обработки на структуру и свойства сварных соединений при
изготовлении штампосварных деталей из стали 10Г2ФБЮ _____ 13
- Коробов Ю. С., Белозерцев А. А., Филиппов М. А., Шумяков В. И. — Модель
нагрева порошковой проволоки при дуговой металлизации и анализ структуры
покрытия _____ 15
- Драгунов В. К., Гончаров А. Л., Слива А. П. — Пространственные параметры
электронного пучка при взаимодействии с намагниченной мишенью _____ 20
- Меньшиков Г. А., Антонов В. Г., Сагитов Ю. Х. — К вопросу изучения механиз-
ма перемешивания жидкого металла в ядре при контактной сварке _____ 24

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Волобуев Ю. С., Потапов Н. Н., Старченко Е. Г., Волобуев О. С. — Состояние
и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в оте-
чественной промышленности _____ 29
- Машрабов Н. — Устройство для подачи вращающейся наплавочной проволоки _____ 33
- Штрикман М. М. — Сварка линейным трением _____ 35

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Дубровский В. А., Зезюля В. В., Столяров И. В. — Расчет прямых затрат на
электроконтактную наварку проволокой оплавлением _____ 41

ИНФОРМАЦИЯ

- Иванов А. Н. — 10-я Международная выставка "Металлообработка — 2008" _____ 45
- Палиевская Е. А., Сидлин З. А. — Семинар электродчиков _____ 50

* * *

- К 90-летию В. Н. Богданова _____ 51

БИБЛИОГРАФИЯ

- Содержание зарубежных журналов по сварке _____ 52
- Патенты РФ на изобретения в области сварки _____ 53
- Алфавитный указатель статей за 2008 г. _____ 54
- Рефераты опубликованных статей _____ 59



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

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

Editorial board:

V. A. Kazakov Editor-in-Chief

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

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

Address of the editorial office:
B. Novodmitrovskaya, 23, Moscow.
For correspondence:

Publishing Centre
"Tekhnologiya Mashinostroeniya"
P.O.B.01, Moscow, 129626, Russia.
Phones:
(495) 796 2491 — Editor-in-Chief;
(495) 748 0142 — Editorial office.
Fax: (495) 748 0142.
Book-keeping: 8 910 414 9184.
E-mail: svarka@ic-tm.ru
<http://www.ic-tm.ru>

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

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

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

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

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

Registration certificate 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

- Fedorenko G. A., Andreyev G. M.** — Gas protection efficiency at welding deep narrow grooved joints _____ 3
- Isakayev E. Kh., Mordynsky V. B.** — Fusion zone forming at plasma-jet powder hard-facing _____ 8
- Botvinnikov A. Yu., Neyfeld O. I., Yefimenko L. A., Kapoostin O. Ye.** — Thermal treatment effect on structure and properties of the 10Г2ФБЮ steel pressed-and-welded components welds _____ 13
- Korobov Yu. S., Belozertsev A. A., Filippov M. A., Shumyakov V. I.** — Flux cored wire heating model at arc metallization and coating structure analysis _____ 15
- Dragunov V. K., Goncharov A. L., Sliva A. P.** — Cathode ray spatial characteristic at magnetized target interaction _____ 20
- Menshikov G. A., Antonov V. G., Saguitov Yu. Kh.** — On the problem of liquid metal nucleus mixing mechanism study at contact welding _____ 24

PRODUCTION SECTION

- Volobuyev Yu. S., Potapov N. N., Starchenko Ye. G., Volobuyev O. S.** — State and prospect of the industry development and welding fluxes application in home industry _____ 29
- Mashrabov N.** — Revolving surfacing wire feeding device _____ 33
- Shtrikman M. M.** — Linear friction welding _____ 35

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Doobrovsky V. A., Zezyulya V. V., Stolyarov I. V.** — Factor cost estimating on electrocontact build-up wire welding by open joint method _____ 41

INFORMATION

- Ivanov A. N.** — The 10th International exhibition "Metalworking-2008" _____ 45

BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding _____ 52
- RF patents** for the inventions in the field of welding _____ 53
- Alphabetic** index of the articles published in 2008 _____ 54
- Abstracts** of the published articles _____ 60

УДК 621.791.754

Г. А. ФЕДОРЕНКО, канд. техн. наук
(С.-Петербургский институт машиностроения),
Г. М. АНДРЕЕВ, инж.
(ООО "ОМЗ — Литейное производство")

Эффективность газовой защиты при сварке соединений с глубокими узкими разделками

Исследование эффективности газовой защиты при сварке существенно активизировалось после появления работы [1]. В это время существовали два направления разработки горелок для сварки соединений с глубокими узкими разделками. В первом случае сопла горелок располагались над поверхностью кромок, а защитная струя, затекающая в щель, обеспечивала эффективность на глубине порядка $(0,8—0,9)D$ (D — диаметр выходного отверстия на срезе сопла). Во втором случае сопла горелок вводились в разделку и обеспечивали эффективную газовую защиту только в непосредственной близости от сварочной ванны. Это создавало трудности в процессе их эксплуатации, сокращало ресурс машинного времени и ухудшало надежность [2, 3].

Согласно работе [4], защитной струей называется начальный участок затопленной струи, содержащий ядро исходной концентрации и окружающий это ядро пограничный слой края струи. Именно ядром и обеспечивается эффективная газовая защита, а изменение его параметров приводит к изменению параметров газовой защиты.

При натекании струи на твердую поверхность в точке пересечения оси струи с поверхностью образуется критическая точка, скорость в которой $U = 0$, а статическое давление p возрастает на величину динамического напора [5]:

$$\Delta p = \frac{\rho U_0^2}{2},$$

где ρ — плотность газа струи; U_0 — скорость струи на срезе сопла.

На рис. 1, а приведен график изменения этого давления в радиальном направлении $\bar{r}$ по твердой поверхности от критической точки ($\bar{r}$ — безразмерный радиус, равный $\frac{r}{D}$; r — радиус, отсчитываемый от критической точки) [5] для струй, удаленных от твердой поверхности на разное расстояние, при этом для защитных струй будет характерен график с индексами в виде черных точек). Благодаря существованию области повышенного давления движение затопленной струи деформируется, вектор

ее скорости изменяет свое направление, и она плавно переходит в распространяющуюся по твердой поверхности радиальную (веерную) пристеночную струю. Одновременно с этим на твердой поверхности под воздействием отрицательного градиента давления возникает ламинарный пограничный слой, который перемещается в радиальном направлении на периферию от критической точки струи. Этот процесс в целом называется ударом струи о твердую поверхность. На рис. 1, б приведена схема защитной струи, затекающей в узкую разделку. При этом возникают два места удара струи: о дно разделки и ее кромки. Под действием избыточ-

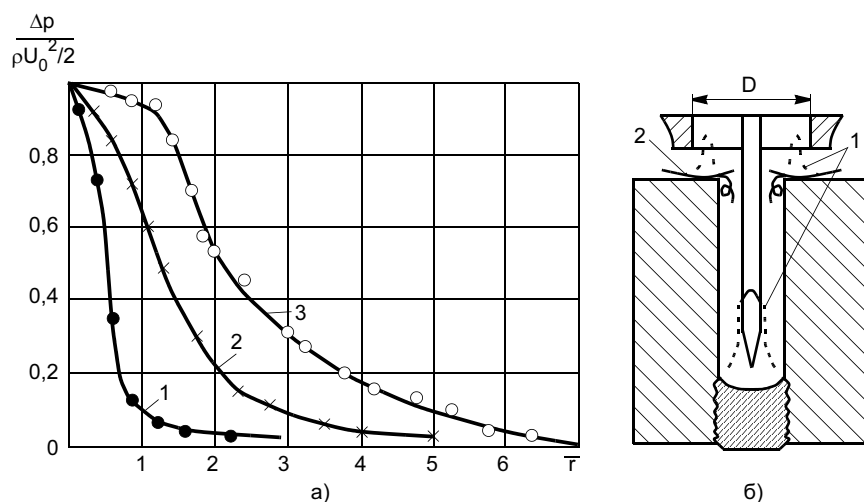


Рис. 1. Изменение статического давления на твердой поверхности: а — в зоне критической точки при скорости набегающей струи $U_0 = 39$ м/с, диаметре сопла $D = 21$ мм и удалении сопла от твердой поверхности H , равном 50 (1), 350 (2) и 600 (3) мм; б — схема изменения давления в глубокой узкой разделке и на ее кромках; 1 — эюра давления; 2 — поверхностный пограничный слой

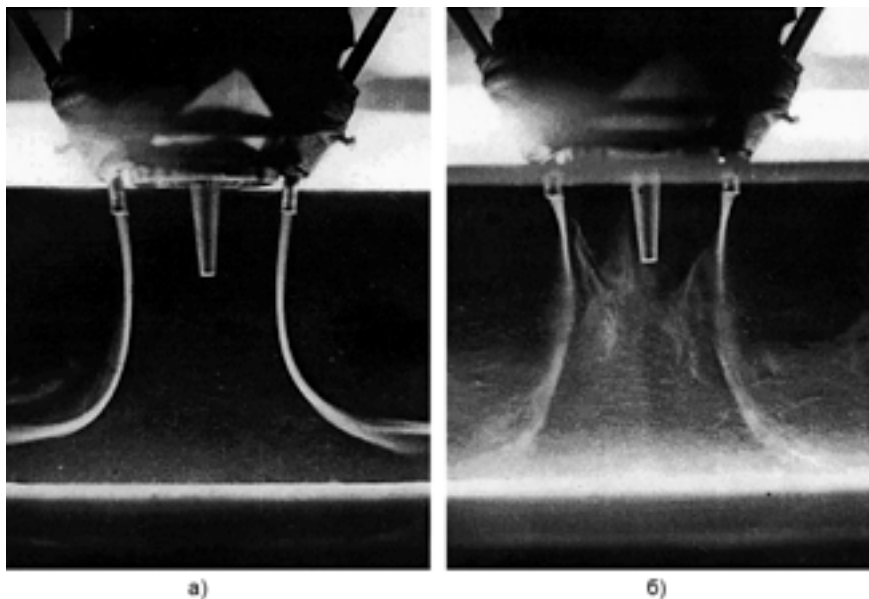


Рис. 2. Течение струи в щелевом зазоре: а — при затекании через острые кромки; б — при затекании через реальные кромки с горизонтальным основанием

ного давления Δp часть газа, набегавшего на кромки струи, изменяет направление своего движения в сторону разделки, куда также движется часть пристеночного пограничного слоя, возникшего на поверхности кромок. Векторы скоростей движения этих потоков (части газа струи и пристеночного пограничного слоя) направлены под углом к вектору скорости потока газа, затекающего в узкую разделку, из-за чего на кромках разделки образуется область вихревых возмущений. Размеры этой области при возникновении сопоставимы с диаметром электрода или мундштука, входящего в разделку, однако в потоке, движущемся вниз по разделке, она образует след, клиновидно расширяющийся внутри течения ядра. Когда границы следа разрастаются до границы ядра и пограничного слоя, из-за турбулизации течения ядра начинается активный перенос газа пограничного слоя, содержащего воздух, в ядро струи. Это подтверждается результатами работы [6], в которой впервые исследовали "кромочный эффект" нарушения газовой защиты при затекании защитной струи в узкую разделку (рис. 2).

На рис. 2 струя затекает в стеклянный П-образный короб, обращенный открытой стороной к соплу горелки, а кромки вертикальных пластин короба с открытой стороны заточены под острым углом. Для визуализации картины движения пограничный слой

края струи подкрашивается струйками дыма, вытекающими из трубок, укрепленных на сопле горелки в плоскости продольной симметрии короба. При затекании дымовых струек в глубокую узкую разделку через острые кромки никакого изменения в движении струи не наблюдается (см. рис. 2, а).

Для имитации реальной узкой разделки к вертикальным стенкам короба с открытой стороны пристыковывали горизонтальные стеклянные экраны, которые отчетливо видны на рис. 2, б. При установке экранов струйки дыма начинали интенсивно размываться, затягиваясь в ядро струи, на расстоянии $0,7-0,8D$ от среза кромок. Это расстояние необходимо для того, чтобы расширение следа турбулентных возмущений достигло границ ядра.

Установление природы "кромочного эффекта" позволило предложить два технических решения для его нейтрализации. В первом случае предлагается на кромки разделки устанавливать тонкие вертикальные пластины или угловые профили заподлицо с внутренними поверхностями кромок, которые запрещают движение газа в сторону разделки¹. Во втором случае в сопло сварочной горелки устанавливают две пластины², вводящиеся в разделку таким обра-

¹ А. с. 477798 (СССР).

² А. с. 614914 (СССР).

зом, чтобы зазор между пластинами и кромками разделки составлял порядка 2 мм и менее. Вихри, попадающие в такой зазор, вырождаются пока движутся по нему.

В ЛПИ им. Калинина по заказу ЦНИИ КМ "Прометей" изучали движение защитных струй в узких глубоких разделках [7].

Работу выполняли на макете, состоящем из двух вертикальных параллельных стенок из оргстекла размером 400×400 мм. Между вертикальными стенками располагалось подвижное дно, которое было дренировано для отбора газовых проб. Кромки вертикальных стенок макета сверху были заострены. Изменение глубины разделки достигалось перемещением ее дна. Как и в предыдущем случае, имитация сварочной разделки достигалась посредством установки на вертикальные кромки горизонтальных экранов. В процессе опытов через верхний горизонтальный зазор макета в разделку затекала затопленная струя, а через боковые вертикальные зазоры вводились зонды термоанемометров и заборники проб газа. Измеряли поля скоростей и поля концентрации защитной струи. Прозрачные стенки макета позволяли визуально контролировать положение точек, в которых производили измерение.

Затопленные струи истекали из двух сопел, одно из которых представляло цилиндрическую трубу — насадок с внутренним диаметром 44 мм и длиной 180 мм. Второе сопло имело форму конфузора, образующая которого была построена по кривой Витошинского. Во входном сечении конфузор имел форму круга диаметром 80 мм, а на выходе — форму овала длиной 40 мм и шириной 20 мм. Длина конфузорного сопла составляла 100 мм. Таким образом, кроме основных направлений, изучали возможность замены цилиндрических сопел на овальные для горелок, располагавшихся над кромками глубоких узких разделок. Целесообразность такой замены очевидна, так как только та часть газа, которая затекала в разделку, осуществляла газовую защиту, а остальной газ круглой струи, натекающий на горизонтальную поверхность, растекался по ней, не выполняя никаких функций. В то же время возможность замены круглой струи

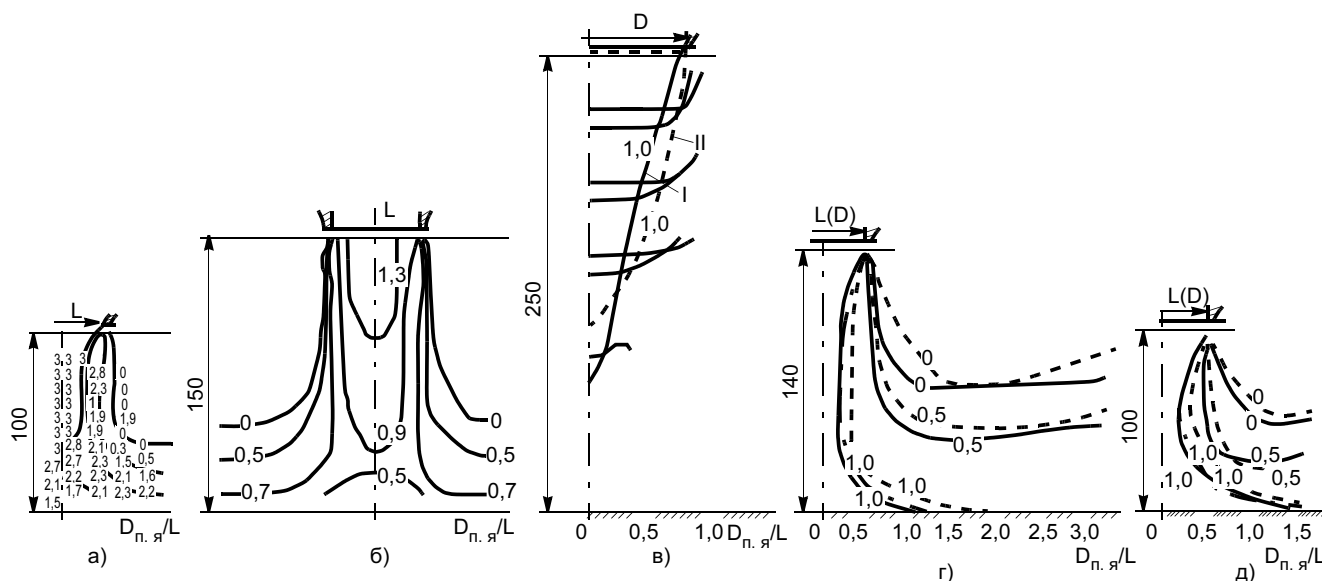


Рис. 3. Поля скоростей (а, б) и концентраций (в—д) затопленных струй, вытекающих из цилиндрического насадка (индекс D) и конфузторного сопла (индекс L) в глубокие узкие разделки с различными скоростями: в—д — 0,75 м/с

на вытянутую необходимо было экспериментально обосновать.

Измерение полей скоростей в разделках осуществляли термоанемометрами ТА-1 и АТА-1. Относительная погрешность измерений достигала 10 %. В качестве защитных газов использовали воздух или смесь воздуха с диоксидом углерода (CO_2), которая производилась в процессе опытов. Поля концентрации измеряли газоанализатором ГХП-3М по стандартным методикам. Абсолютная погрешность измерения концентрации примесей в точке (порог чувствительности) составляла 1,3 %. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Основные параметры: для цилиндрического насадка D — диаметр внутреннего отверстия на срезе сопла, конфузторного — L — длина отверстия овала сопла на срезе. Вертикальные параметры струй и разделок выражены в размерных единицах, горизонтальные — в относительных, как отношение протяженности пятна ядра $D_{п.я}$ к длине овала L или диаметру насадки D .

На рис. 3, а приведена половина сечения замеров поля скоростей затопленной струи, вытекающей из конфузторного сопла в разделку. Точки с одинаковыми значениями скоростей, но без определения их направления соединены линиями, которые называются изотопами. На рис. 3, б приведена картина движения струи в узкой разделке, визуализированная

посредством изотопов, на каждой из которых указано значение ее скорости.

Видно, что движение струи в продольной плоскости симметрии разделки симметрично. Подобная картина получена и на цилиндрическом насадке. Поэтому при изучении полей концентрации защитных струй измерения производили только на половине сечения струи в плоскости симметрии зазора макета разделки. Точки, в которых избыточная концентрация газа примеси (CO_2) имела одинаковые значения, соединяли между собой линиями, на которые наносили величины относительной концентрации C/C_0 (C_0 и C — соответственно избыточная концентрация примеси CO_2 на срезе сопла C_0 и в точке замера C (см. рис. 3, в—д). Естественно, границе ядра соответствовало $C/C_0 = 1,0$, а в пограничном слое — $C/C_0 < 1,0$.

На рис. 3, в показаны границы ядер затопленных струй, вытекающих из насадка в разделку с острыми кромками (сплошная линия) и установленными на кромках экранами (штриховая).

На рис. 3, г, д показаны линии границы ядра и пограничного слоя затопленных струй, вытекающих из конфузторных сопел в разделки с острыми кромками (сплошная линия) и установленными на кромках экранами (штриховая), а также из цилиндрического насадка в разделку с острыми кромками (штрихпунктирная).

Результаты исследований, приведенные на рис. 3, показывают, что характер движения затопленных струй, вытекающих из цилиндрических насадков и сопел с овальным срезом, совершенно идентичны. Параметры ядер струй, затекающих в узкие разделки, одинаково зависят от диаметра круглого насадка или длины овала на срезе сопла (см. рис. 3, г, д). Размеры пятна ядра струи $D_{п.я}$ на поверхности дна разделки одинаковы у обеих струй, если глубина разделок одинакова (см. рис. 3, г, д, штрихпунктирные и сплошные линии). Таким образом, экспериментально показано, что замена круглых сопел на овальные с длиной овала, равной диаметру круглого сопла, и шириной овала, превосходящей ширину зазора на кромках, через которые втекает струя, приводит к получению одинаковых результатов.

Протяженность ядра струи, вытекающей из круглого насадка и затекающей в разделку с круглыми кромками, составляет 180 мм, что в безразмерном виде по отношению к диаметру насадка $H/D = 4,1$ (см. рис. 3, в, сплошная линия). В то же время протяженность ядра струи, вытекающей из такого же насадка и затекающей в ту же щель, но с установленными экранами, составляет 146 мм, т. е. $H/D = 3,3$ (см. рис. 3, в, штриховая линия). В реальных условиях при сварке в щелевую разделку титанового сплава горелкой, диаметр сопла

которой больше ширины щели и расположенной над ней, цвета побежалости на шве появляются при глубине щели $H = 0,8D$ и более. Такое расхождение в экспериментах и на практике объясняется, вероятно, порогом чувствительности концентрации. При сварке титанового сплава в струе аргона, защищающей шов от воздуха, увеличение содержания кислорода в аргоне до 0,01 % приводит к появлению цветов побежалости, которые свидетельствуют о нарушении газовой защиты. В то же время в приведенном эксперименте порогом чувствительности являлось изменение содержания CO_2 в смеси с воздухом на 1,3 %.

В общем случае формирование пятна ядра на дне разделки (а следовательно, и зоны газовой защиты при горении дуги) может происходить только в том случае, если дальнобойность ядра струи соответствует глубине разделки или превосходит эту глубину. Дальнобойность струй, затекающих в разделку с острыми кромками и экранами на кромках, приведена на рис. 3, в. На рис. 3, г, д представлено формирование защитных струй, глубина которых меньше дальнобойности струй. Характер движения в этих разделках можно охарактеризовать следующим образом. Ядро струи, затекающей в разделку, сначала сужается, а затем его границы становятся параллельными оси симметрии струи и, наконец, на некотором расстоянии от дна разделки начинают расширяться, оканчиваясь зоной пятна ядра (т. е. поверхностью дна разделки, омываемой газом исходной концентрации струи — например, аргонном высшего сорта по ГОСТ 10157—79) (см. рис. 3, г, д). Размеры пятна ядра на дне разделки, выраженные в относительных единицах как $D_{\text{п.я}}/L$ (см. рис. 3), зависят как и у струй с неограниченными стенками от двух параметров: глубины дна разделки H и длины овального сопла L или диаметра насадка D . При увеличении H значение $D_{\text{п.я}}/L$ уменьшается (так, при $H/L = 2,5$, $0,5D_{\text{п.я}}/L = 1,5$; при $H/L = 3,5$, $0,5D_{\text{п.я}}/L = 1$, см. рис. 3, г, д). Таким образом, в изотермических условиях в разделках, у которых глубина меньше длины ядра струи, размеры пятна ядра (и зоны газа исходной концентрации над ним) достаточны не только для эффективной газовой за-

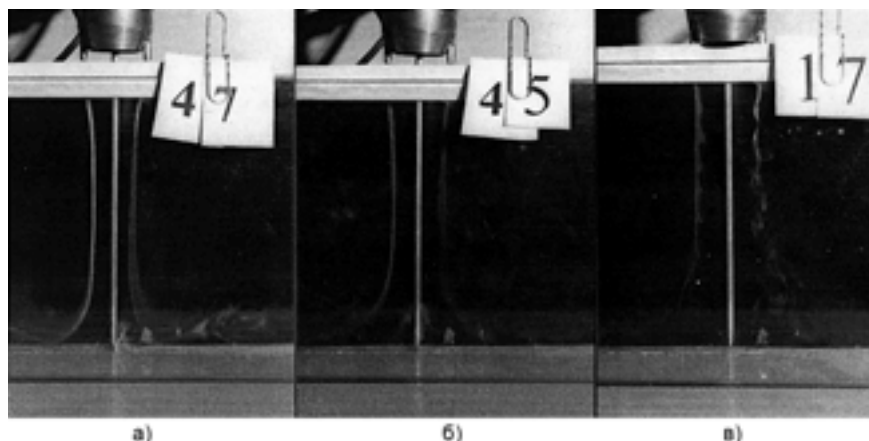


Рис. 4. Движение защитных струй с ламинарным пограничным слоем, затекающих в узкую разделку глубиной 150 мм: а — $Re = 647$; б — $Re = 1177$; в — $Re = 2471$

щиты сварочной ванны, но и поверхности остывающей части шва.

Выполняли сварку соединений с глубокими щелевыми разделками [8]. Исследования проводили на горелках, оборудованных сетками, за которыми устанавливали сопла, образующую которых выполняли по кривой Витшинского, а сечения выходного и входного отверстий имели форму овала. Длина выходных отверстий овала сопел составляла 55, 80, 100 и 130 мм при ширине овала 24 мм, ширина щелевых разделок — от 10 до 18 мм. Защитный газ — смесь аргона с 5 % кислорода или 10 % CO_2 . Образцы выполняли из стали 15Х2НМФА толщиной до 200 мм, использовали проволоку Св-08ГСМА диаметром 3 мм. На кромках вместо установки тонких планок протрагивались канавки [8]. Сваривали несколько серий образцов с глубиной разделок $50 \leq H \leq 200$ мм. Сварные образцы контролировали рентгеновским методом и УЗД, после чего разделяли на поперечные шлифы. В проволоке, основном металле и металле шва на некоторых шлифах методом изотопного разбавления определяли содержание азота. Основной дефект сварных соединений — мелкая пористость, которая возникала при глубине разделки более $1,5H/L$. При содержании азота в проволоке от 0,01 до 0,011 %, основном металле — от 0,011 до 0,013 % в металле шва с порами его количество достигало 0,037—0,044 %. Таким образом, пористость сварных соединений возникала из-за того, что в защитную струю в незначительных количествах поступал воздух, когда ее протяженность превышала $1,5H/L$ (у горе-

лок с длиной овала 130 мм эта протяженность составляла $H/L = 1$ [8]).

После публикации работы [8] сложилось представление о разграничении сфер применения горелок для сварки глубоких узких разделок на две области — при глубине разделок до 100 мм сопла должны располагаться над щелью, а свыше — сопла вводятся в разделку [3, 9]. Однако из-за ненадежности последних горелок сварка в защитных газах больших толщин не развивалась.

Природа эффекта сокращения протяженности защитных струй в узкой разделке [8] подтверждена результатами исследований в работе [4], когда появилась нестабильность в получении положительных результатов при больших вылетах электрода. Ранее этот эффект возникал и устранялся без каких-либо его фиксаций. Поэтому с 2006 г. возобновились работы по изучению эффективности газовой защиты в глубоких узких разделках. На первом этапе изучали защиту струями с ламинарным пограничным слоем. Горелки оснащали сетками, за которыми устанавливали цилиндрические сопла с диаметром выходного отверстия $D = 27$ мм и длиной $1D$ и $5D$. Экспериментальные исследования производили на трех стеклянных макетах с глубиной разделки 150, 200 и 300 мм при ширине разделок у дна 6 мм и на входе 12 мм.

На кромках разделок устанавливали пластины толщиной 0,1 мм и высотой 10—12 мм. Сопла горелок и макеты оснащали трубками, через которые осуществлялась подкраска картины движения защитной струи и торoidalного вихря дымовыми струйками.

Основные параметры оборудования и часть экспериментов приведены в работе [10]. На рис. 4 приведены картины движения защитных струй, иллюстрирующие результаты исследований. Основные фрагменты движения идентичны приведенным в работе [7]. При выходе из сопла и затекании в разделку линии тока струи претерпевают сужение, затем двигаются параллельно оси симметрии струи и, наконец, на некотором расстоянии от дна разделки начинается связанное с ударом струи растекание ядра, которое заканчивается пятном ядра на дне разделки. На рис. 4 это зафиксировано при глубине разделки $H/D = 5,5$. При этом на рис. 4, в зафиксирована турбулизация течения в пограничном слое вплоть до стенок сопла, т. е. в соответствии с данными работы [4] ядро заканчивается непосредственно у кромок. Таким образом, диапазон существования струи с ламинарным пограничным слоем, затекающих в узкие разделки глубиной до 150 мм, ограничен верхним пределом чисел $Re < 2400$.

В производственных условиях газовая защита у защитной струи длиной 150 мм, истекающей из сопла диаметром 27 мм, при $Re \sim 2000$ существовать не сможет, поэтому дальнейшие исследования производили на защитных струях, протяженность которых не зависит от чисел Re , т. е. на струях с турбулентным пограничным слоем, истекающих из конфузорных горелок. Образующая сопла строилась по плавной параболической кривой, конец и начало которой асимптотически стремились к прямым, параллельным оси струи. Входное и выходное сечения сопла имели форму овала. Длина овала выходных отверстий составляла 60, 90 и 120 мм при ширине 24 мм. Струи втекали в макеты узких разделок глубиной 150, 200 и 300 мм. Описания разделок приведены выше и в работе [10]. Предварительно была оформлена заявка на изобретение по техническому решению, исключающему возможность сокращения длины ядра защитной струи. Поэтому в данной работе этот вопрос не рассматривается.

Эксперименты производили по методике работы [11]. На дно макета устанавливали датчик, чувствительным элементом которого являлась тонкая титановая проволока из сплава ВТ1 диаметром 0,8 мм. Горелку уста-

навливали на расстоянии 2,5–5,0 мм от тонких пластин, укрепленных на стеклянных кромок макета. В разделку из горелки затекала струя, состоящая из аргона высшего сорта (ГОСТ 10157–79) и после продувки в течение 30 с на концы проволоки из сплава ВТ1 подавали напряжение. Проволока разогревалась до начала плавления, после чего ток отключался, и проволока остывала в струе аргона в течение 45 с. Положительный результат характеризовался отсутствием цветов побежалости (т. е. поверхность проволоки имела блестящий серебристый, белый цвет) и на рис. 5 обозначался в виде светлого кружка при длине овала среза сопла 60 мм, светлого квадрата при длине сопла 90 мм и светлого треугольника при длине сопла 120 мм. При отрицательном результате поверхность проволоки имела цвета побежалости от коричневых до серых и на рис. 5 обозначалась теми же значками, но зачерненными. При промежуточных результатах на проволоке появлялись цвета побежалости от соломенных до слабо-коричневых, а на рис. 5 они обозначались значками, наполовину зачерненными.

Исследования проводили в два этапа — изучение протяженности за-

щитных струй в глубоких узких разделках и протяженности пятен ядер на дне разделок в зависимости от их глубины. В первом случае горелку устанавливали соосно с датчиком, расположенным в центре дна разделки. В процессе опытов варьировали двумя величинами H и Re , т. е. оценивали функцию

$$\frac{H}{L} = f(L, Re).$$

Исследования проводили на трех макетах с применением горелки с длиной сопла 60 мм. Макет с глубиной разделки 300 мм дважды наращивали пластинами толщиной 0,1 мм до высоты 330 и 360 мм. Остальными горелками выборочно проверяли результаты, полученные на первой.

Во втором случае горелку устанавливали вертикально на некотором расстоянии от датчика. От опыта к опыту удаление горелки от датчика увеличивалось. Это перемещение прекращалось после получения отрицательного результата. Таким образом, устанавливались половинные размеры пятна ядра на дне узкой разделки.

$$\frac{1}{2} \frac{D_{п.я}}{L} = f\left(\frac{H}{L}, Re\right).$$

Результаты, приведенные на рис. 5, а, б в безразмерном виде, по-

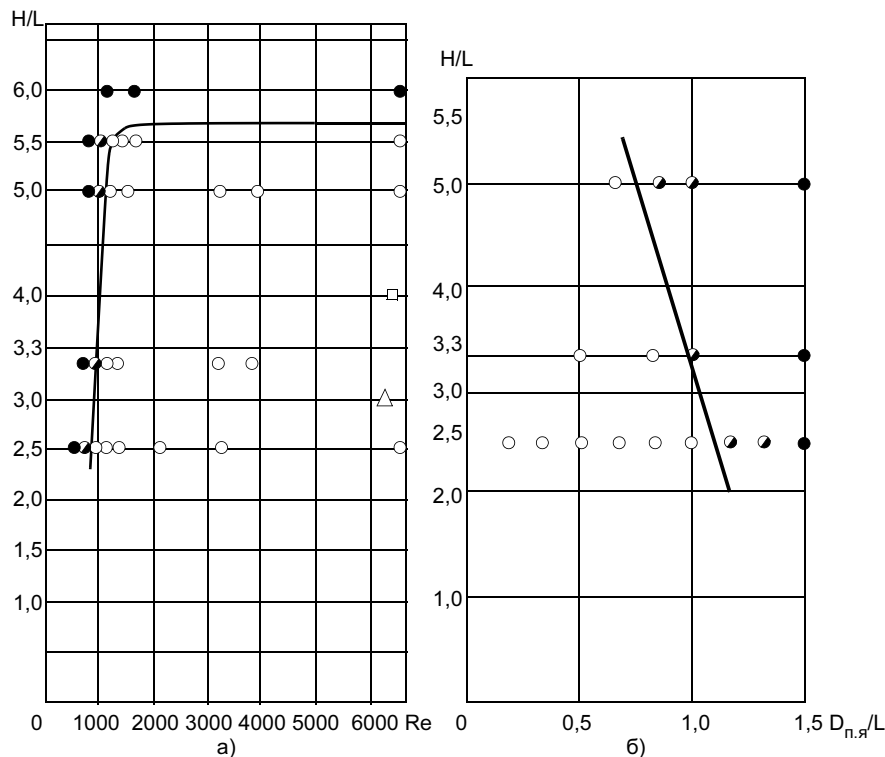


Рис. 5. Основные параметры защитной струи в глубокой узкой разделке: а — протяженность ядра защитной струи; б — размеры протяженности пятна ядра на дне разделки

казывают, что дальноточность защитных струй в глубоких узких разделках

достигает $\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 5,5$. При этом по-

лудлина пятна ядра на дне разделки составляла от 0,7L при $H/L = 5$ до 1,2L при $H/L = 2$. Такие большие размеры пятна ядра на дне разделки должны гарантировать не только эффективную защиту сварочной ванны, но и остывающей части шва. Последнее можно весьма перспективно использовать при сварке титана, где над остывающей частью шва специально располагается газозащитное устройство.

В размерном виде величины, приведенные выше, могут превратиться как в разделки глубиной 500 мм, так и 1000 мм и более. Действительно, при сопле с длиной овала $L = 250$ мм разделка с глубиной 1000 мм в безразмерном виде представляется как $H/L = 4$.

Результаты, представленные выше, являются только началом освоения новых технологических процессов. С точки зрения газовой защиты многие элементы в них — это белые пятна, решение которых предстоит осуществить в процессе разработки. Однако уже сейчас можно сказать, что при подготовке кромок шероховатость поверхности не должна превосходить сотых долей миллиметра,

должны быть запрещены продольные колебания электрода или мундштука внутри разделки, не должны применяться поперечные перегородки разделки, отрицательно влияющие на эффективность газовой защиты.

ВЫВОДЫ

1. Впервые в отечественной и зарубежной практике показана возможность обеспечить эффективную газовую защиту в узких разделках глубиной до 5,5 длины овольного сопла или диаметра круглого сопла горелкой, расположенной над поверхностью этой разделки.

2. Показана возможность разработки технологических процессов сварки в защитных газах с разделками кромок шириной 10—15 мм и глубиной до 1000 мм и более, не прибегая к высокопогонным процессам сварки, существенно влияющим на свойства основного металла и требующим дополнительных затрат на промежуточную и окончательную термическую обработку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтевски Э. Узкощелевые соединения толстостенных изделий // Автоматическая сварка. 1969. № 7. С. 14—18.
2. Бурашенко И. А. Мундштук для сварки в защитных газах соединений с узким зазором // Автоматическая сварка. 1981. № 9. С. 75—76.

3. Горелка для сварки в защитных газах в узкий зазор сталей толщиной более 100 мм / А. Т. Назарчук, В. Д. Ковалев, В. П. Косяков, В. Ю. Стукин // Автоматическая сварка. 1985. № 2. С. 74—76.

4. Федоренко Г. А., Яшин И. М. Протяженность защитных струй при дуговой сварке // Сварочное производство. 2005. № 5. С. 3—7.

5. Юдаев Б. Н., Михайлов М. С., Савин В. К. Теплообмен при взаимодействии струй с преградами. М.: Машиностроение, 1977. 248 с.

6. Федоренко Г. А., Бурашенко И. А. Причины нарушения струйной защиты при сварке по щелевому зазору // Сварочное производство. 1975. № 11. С. 35—37.

7. Акатнов Н. И. Разработка аэродинамических методов повышения эффективности струйной газовой защиты применительно к условиям сварки со щелевой разделкой. Л.: ЛПИ им. Калинина, 1974. 88 с.

8. О закономерностях газовой защиты при сварке соединений без разделки кромок со щелевым зазором / Г. А. Федоренко, И. А. Бурашенко, В. В. Ардентов, Л. В. Грищенко // Сварочное производство. 1978. № 5. С. 10—12.

9. Назарчук А. Т., Стеренбоген Ю. А. Сварка в узкий зазор в среде защитных газов и некоторые ее особенности // Автоматическая сварка. 1984. № 5. С. 57—62.

10. Федоренко Г. А., Трофименко О. В. О формировании тороидального вихря и его влиянии на эффективность газовой защиты // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 3.

11. Федоренко Г. А. О влиянии размеров электрода или круглого мундштука на характеристики газовой защиты при газозащитной сварке // Вопросы судостроения. Сер. Сварка. 1973. Вып. 3. С. 168—172.

УДК 621.791.927.55

Э. Х. ИСАКАЕВ, д-р техн. наук, В. Б. МОРДЫНСКИЙ, канд. техн. наук
ОИВТ РАН (Москва)

Формирование зоны сплавления при плазменной порошковой наплавке¹

Плазменную порошковую наплавку (ППН) применяют для повышения срока службы широкой номенклатуры деталей для разнообразных условий эксплуатации [1—5]. Получение требуемых свойств обеспечивается применением различных порошковых материалов. Получаемые при ППН биметаллические детали, как

правило, состоят из значительно отличающихся по своему химическому составу материалов, в переходной области между которыми возможно существенное изменение свойств и, следовательно, служебных характеристик при эксплуатации.

На формирование свойств наплавленного слоя влияют характер физико-химического взаимодействия на границе раздела в условиях термического цикла на разных его стадиях, а также температура и длительность

выдержки при термической обработке [6, 7]. Известно, что наблюдаемая в зоне сплавления (ЗС) разнородных сталей структурная неоднородность является определяющим показателем качества биметалла [2, 8, 9]. Таким образом, для избежания преждевременных разрушений, вызванных охрупчиванием металла переходной области, изучение закономерностей образования наплавленных слоев является актуальным.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 05.08.18027, 08.08.00047).

Цель данной работы — исследование влияния некоторых технологических параметров ППН и последующей термической обработки на формирование, строение и свойства ЗС самофлюсующих никелевых сплавов с углеродистыми сталями применительно к обеспечению работоспособности уплотнительных элементов задвижек фонтанной арматуры для эксплуатации в коррозионных средах, содержащих 25 % сероводорода и углекислого газа, при давлении 70 МПа [4, 6].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве основного присадочно-го материала использовали порошок ПГ-СР3 (ГОСТ 21448—75) следующего химического состава (%): 0,78 С; 3,5 Fe; 3,27 Si; 2,16 В; 14,2 Cr; Ni — основа. Наплавку пластин различной толщины (4—12 мм) и размеров из сталей 20 и 30ХМА порошками ПГ-СР2—ПГ-СР4 в один, два или три прохода выполняли на установках УПН-303 и А-1105 конструкции ИЭС им Е. О. Патона с предварительным подогревом до 200—400 °С в печи или плазменной дугой током 80 А. В зависимости от количества проходов изменяли только ток дуги, который при наплавке первого слоя составлял 180—140 А, а последующих — 140—100 А. Скорость наплавки 4—6 м/ч, расход порошка 2—3 кг/ч, частота колебаний 15—34 мин⁻¹, плазмообразующий, транспортирующий и защитный газ — аргон. После наплавки пластины охлаждали в сухом песке. Термическую обработку для снятия остаточных напряжений проводили непосредственно после наплавки при 550, 600 и 650 °С с последующим охлаждением деталей с печью или в сухом песке. В ряде случаев при наплавке валика на пластины их охлаждали в песке, затем разрезали на заготовки размером 12 × 12 × 70 мм, из которых изготавливали образцы. Последние подвергали термической обработке по приведенным режимам в течение 2 ч или при температуре 720 °С в течение 1 ч. В некоторых случаях образцы вырезали из натурных деталей толщиной 40 мм.

Металлографические исследования шлифов проводили на микроскопах МИМ-8 и "Неофот" при различных

увеличениях. Твердость определяли по Виккерсу при нагрузке 100 Н и Роквеллу (шкала "С"), микротвердость отдельных структурных составляющих измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,1 и 0,5 Н. Травление наплавленного металла осуществляли насыщенным раствором хлорного железа в соляной кислоте, а стали — 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Микрорентгеноспектральный анализ проводили "по точкам" в различных характеристических излучениях с помощью анализатора "Камебакс", диаметр зонда 1—2 мкм. Образцами сравнения служили химически чистые железо, никель, хром и синтетический силикат диопсид, относительные интенсивности пересчитывали по программе CORREX на мини-ЭВМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микроструктура ЗС отличается неоднородностью строения и свойств (рис. 1). Вдоль границы раздела отчетливо видны изменения структуры и характерные прослойки: со стороны наплавленного слоя так называемая "белая полоска", получившая условное название кристаллизационной прослойки (КП), и в основном

металле — диффузионная (ДП) прослойка [8]. Основными структурными составляющими слоя являются мелкие первичные кристаллы карбидов и боридов хрома, зерна пересыщенного раствора никеля и сверхтонкая эвтектика боридов никеля в матрице твердого раствора, причем с увеличением содержания бора и диаметра гранул состав сплавов может претерпевать существенные изменения [10]. Твердость наплавленного металла после отпуска практически не изменяется по сравнению с исходным состоянием после наплавки (рис. 2, 3) и составляет для порошков ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 соответственно 44—47, 50—54 и 56—63 HRC, хотя при измерениях твердости по Виккерсу обнаруживается некоторое выравнивание свойств в переходной области с повышением температуры (см. рис. 3). Отметим изменение твердости по высоте валика, особенно вблизи и в самой ЗС, размеры которой можно легко определять по колебаниям этой характеристики. Интегральные показатели свойств при измерении твердости по Роквеллу (HRC) и Виккерсу (HV) применяли в основном на стадии выбора технологических параметров процесса ППН (ток, расход порошка, скорость наплавки, частота колебаний плазмотрона, темпе-

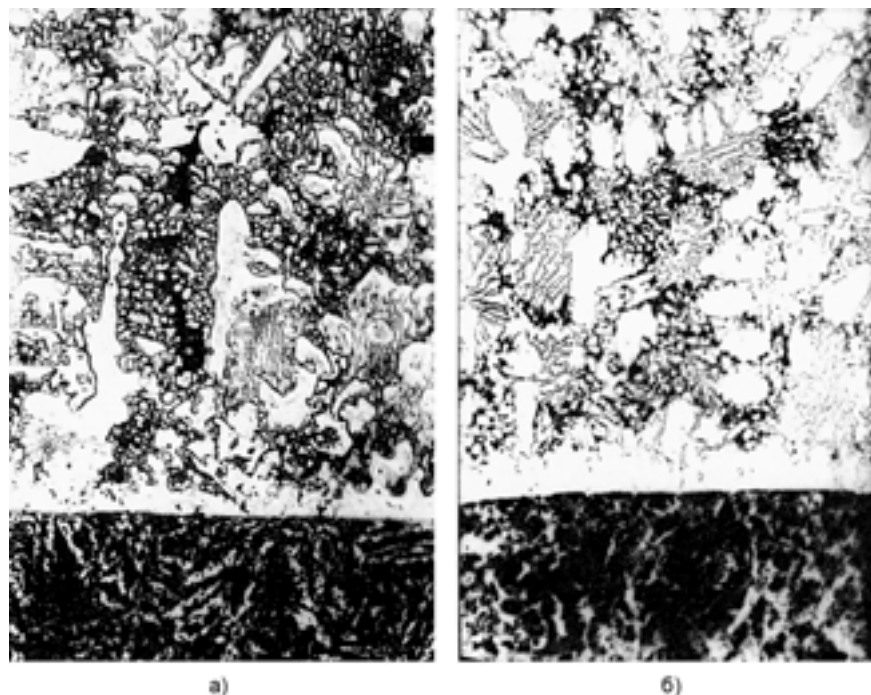


Рис. 1. Строение ЗС при однослойной (а) и двухслойной (б) наплавке порошком ПГ-СР3 на сталь 30ХМА

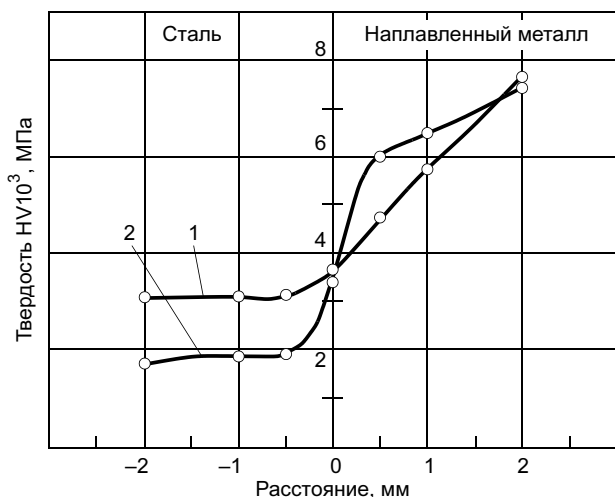


Рис. 2. Распределения твердости в наплавленном порошком ПГ-СР2 металле: 1 — сталь 20; 2 — сталь 30ХМА

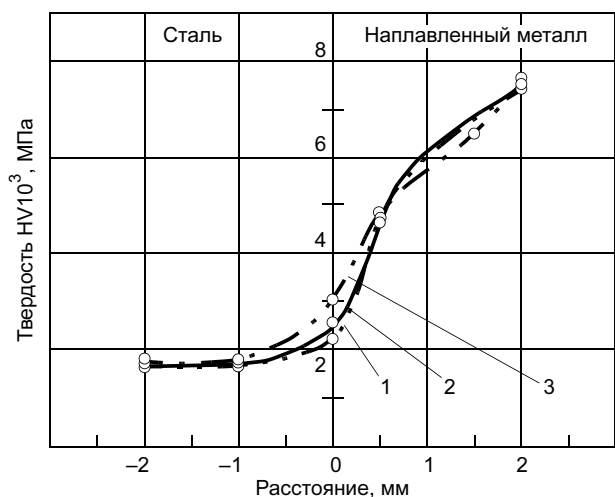


Рис. 3. Распределение твердости в наплавленном порошком ПГ-СР3 металле после отпуска при 600 (1) и 650 °С (2) в течение 2 ч и после наплавки (3)

ратура и продолжительность отпуска). Неоднородность свойств и их изменение в указанной зоне должны влиять на служебные свойства биметалла, что подтверждается экспериментально при ударных нагрузках и статических испытаниях [7], а также при испытаниях на сероводородное коррозионное растрескивание (СКР) [6].

На основании изложенного можно заключить, что в ЗС при ППН происходят сложные обменные процессы, приводящие к формированию характерных областей, которые определяют служебные характеристики биметалла. В работе [6] отмечалась условность термина "граница сплавления" [2, 8], хотя в действительности область сплавления исследуемых материалов при оптимальных режимах наплавки имеет вид четко выраженной линии (границы) раздела между подложкой и наплавленным порошком (см. рис. 1). Видно, что со стороны слоя к ней примыкает КП γ -твердого раствора на основе никеля толщиной 5—20 мкм. В работе [6] показано, что при отпуске ее толщина существенно не изменяется, а микро-

твердость возрастает вследствие распада твердого раствора, но все же остается невысокой. Так, при наплавке порошком ПГ-СР2 эта характеристика изменяется от 1580 ± 310 МПа в исходном состоянии до 2760 ± 500 МПа после отпуска при 730 °С в течение 12 ч.

С учетом существующих представлений и практики сварки разнородных сталей [2, 8, 9] для обоснованного назначения параметров технологического процесса в данной работе исследовали особенности строения и свойств, связанных с формированием ЗС при ППН, а также возможность изменения состава и структурного состояния металла этой зоны и прилегающих участков при эксплуатации, термической обработке и в процессе охлаждения после наплавки. Установлено, что отпуск влияет на свойства рассматриваемой области биметаллического соединения (рис. 4). Размеры КП практически не изменяются (см. рис. 4, область 0—15 мкм), зафиксировано некоторое изменение ее ширины при увеличении числа слоев (см. рис. 1, а, б), а микротвердость заметно снижается (см. рис. 4, кривые 1, 4) с повышением температуры отпуска, что не согласуется с приведенным характером изменения данного свойства и его уровнем. Зависимость микротвердости от температуры отпуска наглядно демонстрирует выравнивание свойств зоны и плавный пе-

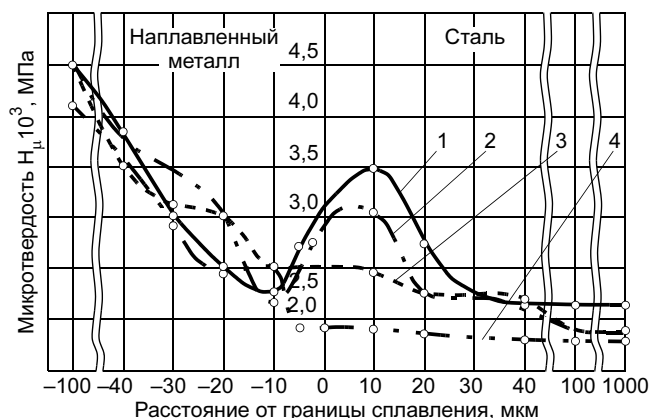


Рис. 4. Распределение микротвердости в ЗС после наплавки (1) и отпуска при 600 °С, в течение 2 ч (2), 650 °С, 2 ч (3) и 720 °С, 1 ч (4)

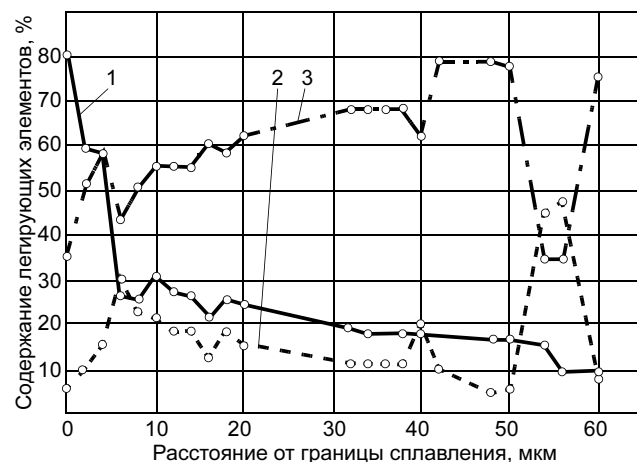


Рис. 5. Распределение железа, никеля и хрома в ЗС при наплавке порошком ПГ-СР3

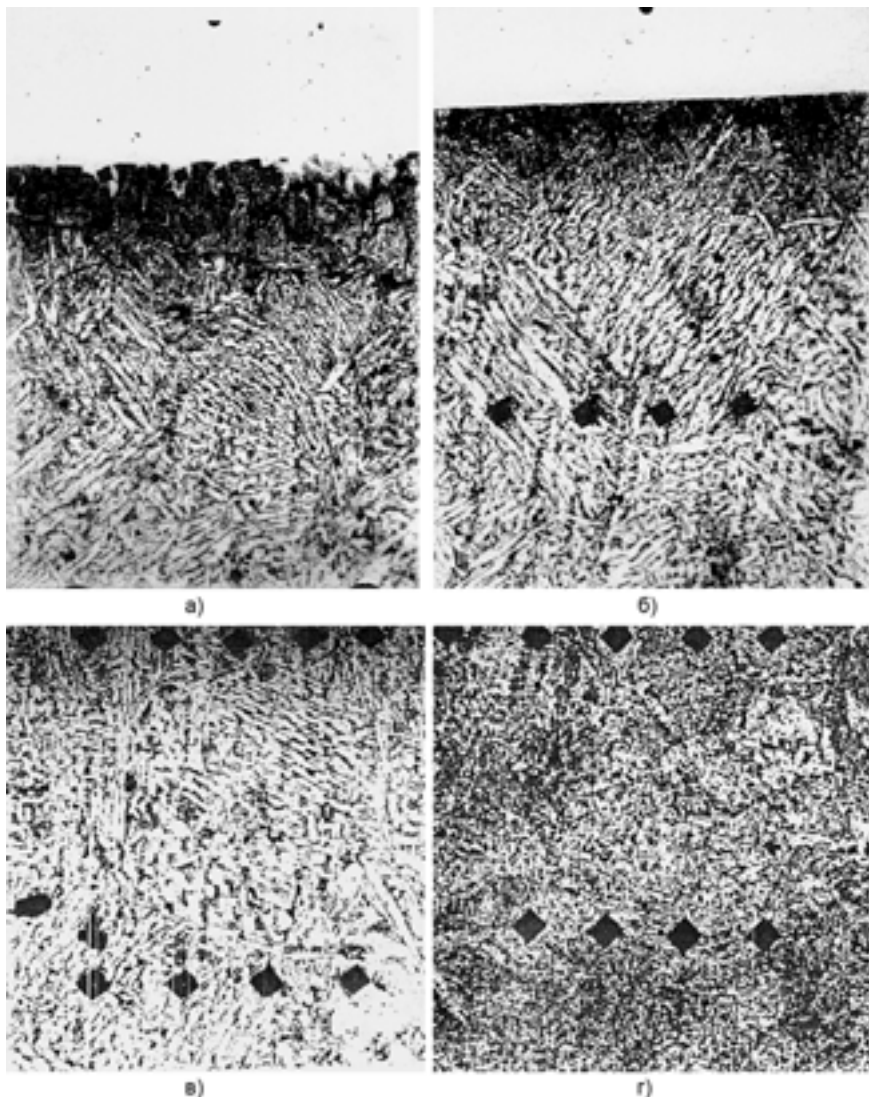


Рис. 6. Структура стали 30ХМА вблизи ЗС: а — после наплавки; б — после отпуска при 600 °С в течение 2 ч; г — то же, 650 °С; д — то же, 720 °С, 1 ч

переход от слоя к подложке, что подтверждается и результатами механических испытаний на растяжение [6] образцов (см. рис. 4). При сопоставлении рис. 2—4 видно, что отпуск в исследованном интервале температур практически не влияет на твердость наплавленного слоя.

С применением микрозондового анализа "по точкам" с шагом 2 мкм установлено, что состав металла КП практически однороден по толщине, за исключением узкого, граничащего с основным металлом участка (рис. 5). По мере удаления от границы содержание кремния постоянное (2—3 %, на рис. 5 не указан), снижение содержания железа (металлографически это обнаруживается по травимости структуры) и интенсивное увеличение

содержания основных легирующих элементов, что согласуется с распределением микротвердости (см. рис. 4). В зависимости от режима наплавки и числа слоев высота области насыщения железом может достигать 2 мм. Отметим, что какого-либо заметного влияния отпуска в исследованном диапазоне температур на состав металла ЗС со стороны наплавки и самого слоя не обнаружено, не установлены также различия по составу между слоями при повторном наложении валика.

Таким образом, КП представляет практически не травящийся гомогенный аустенит с равномерным распределением примесей и дефектов кристаллического строения. При формировании КП влияние в расплаве

основных легирующих элементов на термодинамическую активность углерода и бора существенно. Однако это предположение требует уточняющих исследований и накопления дополнительных сведений.

Анализируя полученные результаты и условия образования КП, следует учитывать технологические особенности процесса ППН. Так, при воздействии дуги происходит неизбежное подплавление металла подложки, его перемешивание с расплавленным порошком и конвективное выравнивание состава расплава в жидком состоянии, когда интенсифицируются обменные процессы и взаимодействия. Вероятно, уже на этой стадии в расплаве происходит расслоение основных легирующих элементов и примесей: растворение и насыщение слоя железом и "вытеснение" диффузионно-подвижных углерода и бора на периферию сварочной ванны (граница сплавления). По мере удаления дуги и снятия тем самым термического и концентрационного переохлаждения сформировавшийся таким образом плоский фронт кристаллизации теряет устойчивость и происходит образование ячеистой структуры, которая появляется не от самой границы, а на некотором расстоянии от нее, когда возникает зона концентрационного переохлаждения [11—13].

Рассматривая строение ЗС со стороны основного металла, отметим, что наиболее важным изменением в этой области является образование ДП, отличающейся по сравнению с КП и подложкой большей микротвердостью (см. рис. 4, область 0—20 мкм). По ДП инициируется разрушение образцов при ударных и механических нагрузках и испытаниях на СКР [6, 7]. Металлографическим анализом она также легко выявляется по повышенной травимости (рис. 6). Видно, что структура стали 30ХМА в процессе наплавки и последующего отпуска вблизи ЗС претерпевает заметные изменения. Как следует из характера распределения микротвердости (см. рис. 4, кривая 1) и повышенной травимости вблизи границы сплавления, ДП формируется уже в условиях термического цикла наплавки (см. рис. 6, а).



Рис. 7. Участок основного металла у ЗС после наплавки с обогащенными границами первичных аустенитных зерен

Очевидно, образование ДП и КП обусловлено взаимосвязанными процессами, протекающими при затвердевании в неравновесных условиях термического цикла ППН. Несмотря на интенсивный теплоотвод вглубь подложки, при перемешивании расплава сварочной ванны какое-то время существует соизмеримый с шириной КП пограничный слой подплавленного жидкого основного металла с более высокой температурой, куда устремляются углерод и бор при расслоении, обедняя тем самым узкий участок расплава ванны, который и фиксируется на металлографических шлифах в виде КП.

Дополнительное изменение состава металла на этом участке может быть вызвано преимущественным плавлением границ рекристаллизованных зерен, выходящих к сварочной ванне, и их обогащением элементами и примесями, что должно влиять на работоспособность наплавленных соединений (рис. 7), так как локализация углерода и бора в узких (один—три зерна) приграничных участках опасна образованием охрупчивающих избыточных фаз в виде боридов и карбидов. На данный фактор следует обратить особое внимание и учитывать его при назначении режи-

мов последующей термической обработки биметаллических деталей.

Таким образом, в ЗС в процессе ППН происходят сложные обменные взаимодействия, проявляющиеся в формировании КП и ДП различной толщины и свойств. В процессе наплавки имеет место оплавление основного металла дугой, происходит контактное взаимодействие в жидкой фазе между расплавленным порошком и металлом подложки, в результате чего углерод и бор переходят в металл основы. Такой характер взаимодействия обусловлен высокой диффузионной подвижностью бора и углерода, которая с повышением температуры значительно увеличивается по сравнению с участвующими в образовании биметалла элементами (в жидком состоянии коэффициент диффузии бора и углерода на несколько порядков выше, чем у других компонентов). В присутствии никеля и кремния активность, например, углерода, повышается, что приводит к его "вытеснению" и образованию безуглеродной зоны, причем кремний при одинаковом содержании по массе повышает активность углерода сильнее, чем никель.

ВЫВОДЫ

1. Зона сплавления при плазменной порошковой наплавке отличается неоднородностью строения и свойств и состоит из кристаллизационной и диффузионной прослоек, которые формируются уже на стадии затвердевания. Наиболее вероятными процессами, определяющими строение и состав металла зоны сплавления, являются насыщение наплавленного слоя металлом подложки (железом) и переход в основной металл углерода и бора. Металлографически это обнаруживается повышенной травимостью структуры, находящейся по обе стороны границы сплавления.

2. Свойства металла кристаллизационной прослойки не изменяются в исследованном диапазоне температур и продолжительности отпуска.

3. Диффузионная прослойка образуется в процессе термического

цикла наплавки, насыщение подложки углеродом и бором возможно на стадии существования сварочной ванны, когда происходит интенсивное перемешивание расплавленных наплавленного и основного металлов. При отпуске происходит выравнивание микротвердости и обеспечивается плавный переход от слоя к основе, однако его режимы необходимо назначать при надежных методах контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рабинович В. И. Плазменная наплавка в энергетическом арматуростроении. М.: НИИинформтяжмаш, 1970. 35 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
3. Бакурская М. А., Комарчева Э. С. Плазменная наплавка и ее промышленное применение зарубежными фирмами. М.: Информэлектро, 1984. Сер. 11. Вып. 1. 24 с.
4. Наплавка деталей затворов фонтанной арматуры / В. Б. Мордынский, В. П. Барсуков, А. Р. Исхаков, Э. С. Комарчева и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1986. № 11. С. 35—36.
5. Ремонт крестовин наплавкой при помощи плазмы / Э. Х. Исакаев, А. Э. Яблонский, А. Г. Коган и др. // Вестник ВНИИЖТ. 1999. № 5. С. 18—20.
6. Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. Стойкость наплавленных самофлюсующих сплавов против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах // Сварочное производство. 2008. № 5. С. 3—7.
7. Гладкий П. В. О применении Ni—Cr—Si—B—C-сплавов для наплавки деталей, работающих при повышенных температурах // Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. С. 78—87.
8. Земзин В. Н. Сварные соединения разнородных сталей. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 232 с.
9. Лифшиц Л. С. Металловедение для сварщиков. М.: Машиностроение, 1979. 253 с.
10. Ощепков Ю. П., Ощепкова Н. В. Металлографические исследования самофлюсующих твердосплавных порошков // Автоматическая сварка. 1976. № 11. С. 32—35.
11. Чернышова Т. А. Границы зерен в металле сварных соединений. М.: Наука, 1986. 126 с.
12. Чалмерс Б. Теория затвердевания. М.: Металлургия, 1968. 288 с.

А. Ю. БОТВИННИКОВ, инж.

(ОАО "Трубодеталь"),

О. И. НЕЙФЕЛЬД, канд. техн. наук

(ЗАО "ВНИИСТ-Диагностика"),

Л. А. ЕФИМЕНКО, д-р техн. наук, О. Е. КАПУСТИН, д-р техн. наук

(РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина)

Влияние термической обработки на структуру и свойства сварных соединений при изготовлении штампосварных деталей из стали 10Г2ФБЮ

При изготовлении штампосварных соединительных деталей трубопроводов наиболее сложной задачей является обеспечение требуемых свойств сварных соединений, которые должны быть не ниже соответствующих характеристик основного металла [1, 2].

При изготовлении соединительных деталей трубопроводов для получения прочностных свойств (не ниже K60) штампосварные изделия подвергают закалке с последующим отпуском, при этом на отдельных плавках возникают проблемы, связанные с обеспечением требуемых значений ударной вязкости.

В данной работе приведены результаты исследования влияния применяемой в настоящее время технологии сварки и последующей термической обработки на структуру и свойства сварных соединений тройников из стали 10Г2ФБЮ.

Схема сборки и сварки тройника приведена на рис. 1.

Корневой шов выполняли механизированной сваркой в защитных газах, заполняющие и подварочный (R) швы — автоматической сваркой под флюсом по режимам, приведенным в табл. 1.

На рис. 2 приведено распределение твердости по сечению сварного соединения до и после его термической обработки. Видно, что процесс сварки не вызвал ни явления подкалки, ни разупрочнения металла. Твердость изменяется в достаточно близком диапазоне значений, разброс которых составляет не более 20 HV. Значения твердости соответствовали скорости охлаждения $W_{8-5} = 40 \div 60$ °C/c (см. рис. 2, а).

Последующая термическая обработка по режиму закалка + отпуск способствовала незначительному (в пределах 20—30 HV) повышению твердости как в металле шва, так и ЗТВ (см. рис. 2, б).

В табл. 2 приведены результаты оценки ударной вязкости металла шва и ЗТВ штампосварного тройника до и после термической обработки. Ударную вязкость определяли на образцах с надрезом KCV в диапазоне температур от 20 до –60 °C.

Видно, что непосредственно после сварки как металл сварного шва, так и околошовный участок ЗТВ характеризуются значениями ударной вязкости, соответствующими нормативным требованиям вплоть до температуры –60 °C (сварной шов) и –40 °C (ОШЗ ЗТВ).

Критическая температура хрупкости составляет –50 и –40 °C для металла шва и ЗТВ соответственно.

Последующую термическую обработку сварных соединений выполняли по режиму закалка + высокий от-

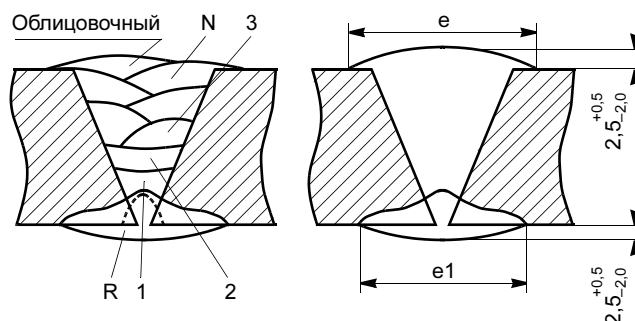


Рис. 1. Схема сварки тройника

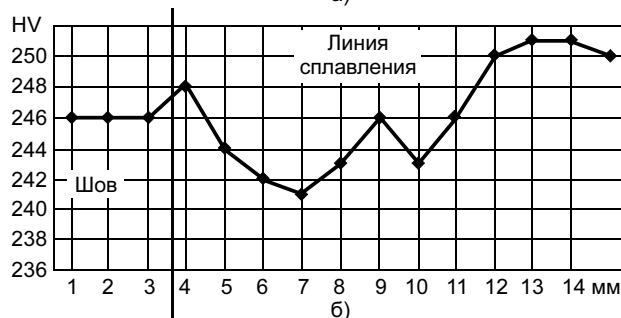


Рис. 2. Распределение твердости в сварном соединении тройника до (а) и после (б) термической обработки

Таблица 1

Шов		Корневой № 1	Заполняющий	№ 3, ..., N, облицовочный	Подварочный
Сварочные материалы	Сварочная проволока Защитный газ Флюс	Механизированная в защитных газах, Св-08Г2С (Ø1,6 мм), 82 % Ar + 18 % CO ₂	Автоматическая под флюсом Bohler EMS2Mo (Ø 4 мм) + Bohler BB-24		
Скорость подачи проволоки, м/ч		380—420	—	—	72
Сварочный ток, А (±20)		300—350	580	550	460—490
Напряжение дуги, В (±1)		30—32	28	30	34 + 2
Скорость сварки, см/мин		23—26	60	60	27
Погонная энергия, кДж/см		24 ± 1	16 ± 1		23 + 2

пуск: температура нагрева под закалку 967—983 °С, время выдержки 20—25 мин, охлаждение в воде с температурой 40—45 °С; температура нагрева при отпуске 300—350 (1-я ступень) и 500—530 °С (2-я ступень), время выдержки при температуре 2-й ступени 60—65 мин. Охлаждение на спокойном воздухе способствовало снижению ударной вязкости металла шва. В этом случае ударная вязкость удовлетворяет нормативным требованиям только до температуры –20 °С, при более низких температурах

наблюдается разрушение практически по хрупкому механизму. Значение KCV_{-40} не превышают 14 Дж/см², а KCV_{-60} — 9 Дж/см². При этом доля вязкой составляющей в изломе менее 5 %. Значение критической температуры хрупкости составляет –5 °С.

Ударная вязкость металла ЗТВ выше нормативных требований во всем температурном диапазоне испытаний. При этом критическая температура хрупкости ЗТВ составляет –25 °С.

На рис. 3 и 4 приведена микроструктура металла шва и ОШЗ ЗТВ. Видно, что структура металла шва непосредственно после сварки преимущественно высокодисперсная ферритно-бейнитная (феррит различной морфологии) с тонкими выделениями полигонального феррита по границам бывшего аустенитного зерна.

Структура металла ЗТВ вблизи заполняющих слоев шва ферритно-бейнитная, подобная структуре основного металла (см. рис. 3).

Последующая термическая обработка по режиму закалка + отпуск способствовала формированию в металле шва крупных игольчатых выделений ферритной фазы, что привело к снижению ударной вязкости (см. рис. 4).

Снижение ударной вязкости металла шва и повышение критической температуры хрупкости в процессе последующей термической обработки свидетельствуют о

Таблица 2

Сварное соединение	Температура испытания, T _{исп} , °С	Ударная вязкость*, Дж/см ²	Доля волокна в изломе В, %	Критическая температура хрупкости T ₅₀ , °С
Металл шва после сварки	20	$\frac{195-207}{201}$	100	–50
	–20	$\frac{158-190}{174}$	80	
	–40	140	70	
	–60	$\frac{66-75}{71}$	17	
ОШЗ ЗТВ после сварки	20	$\frac{257-257}{257}$	100	–40
	–20	$\frac{220-243}{231}$	90	
	–40	$\frac{103-225}{162}$	50	
	–60	—	—	
Металл шва после сварки и термической обработки по режиму: закалка с высоким отпуском	20	$\frac{143-144}{144}$	60	–5
	–20	$\frac{66-91}{79}$	20	
	–40	13,8—14	<5	
	–60	7,6—8,8	<5	
ОШЗ ЗТВ после сварки и термической обработки	20	$\frac{189-224}{207}$	75	–25
	–20	$\frac{83-181}{140}$	55	
	–40	$\frac{77-85}{81}$	30	
	–60	42—92	20	

* В числителе приведены минимальное и максимальное значения, в знаменателе — среднее.

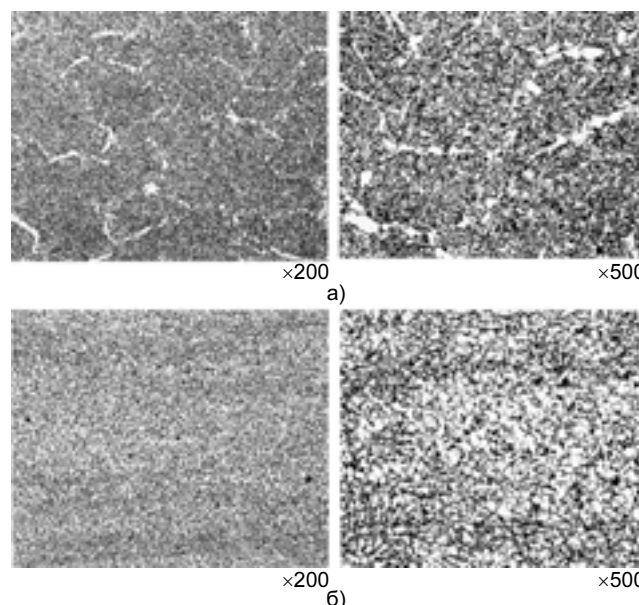


Рис. 3. Микроструктура металла шва (а) и ЗТВ (б) стали 10Г2ФБЮ

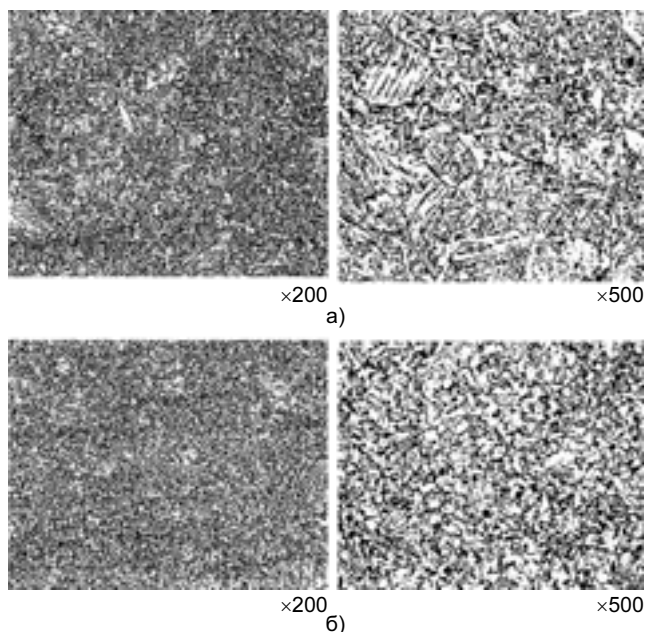


Рис. 4. Микроструктура металла шва (а) и ЗТВ (б) стали 10Г2ФБЮ после термической обработки

том, что распад аустенита после полной перекристаллизации происходил со скоростями охлаждения, не обеспечивающими указанный выше структурно-фазовый состав, близкий основному металлу. С учетом того, что тем-

пература нагрева при термической обработке по режиму закалки значительно ниже максимальной температуры металла шва и ЗТВ при сварке, для получения мелкодисперсной ферритно-бейнитной структуры скорость охлаждения должна быть значительно выше, чем при сварке. В противном случае распад аустенита в ферритной области продолжается параллельно с распадом в бейнитной области во всем интервале скоростей охлаждения, что в сочетании с диссоциацией ферритно-карбидной смеси при нагреве приводит к образованию структуры, имеющей более низкое сопротивление разрушению [3].

Выбор рациональных значений скорости охлаждения при термической обработке штампосварного тройника зависит от химического состава конкретной плавки и может быть сделан по изотермической диаграмме распада аустенита стали 10Г2ФБЮ с учетом химического состава металла шва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефименко Л. А., Прыгаев А. К., Елагина О. Ю. *Металловедение и термическая обработка сварных соединений*. М.: Логос, 2007. 455 с.
2. *Возможность повышения предела текучести листов из высокопрочных трубных сталей X70 и X80* / Ю. И. Матросов, И. В. Ганошенко, О. А. Багмет и др. // *Сталь*. 2005. № 2. С. 74—78.
3. Лившиц Л. С., Хакимов А. Н. *Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений*. М.: Машиностроение, 1989. 334 с.

УДК 621.791:621.793.724

Ю. С. КОРОБОВ, д-р техн. наук. **А. А. БЕЛОЗЕРЦЕВ**, аспирант,
М. А. ФИЛИППОВ, д-р техн. наук
(Уральский государственный технический университет—УПИ),
В. И. ШУМЯКОВ, канд. техн. наук
(ООО "Уральский институт сварки", Екатеринбург)

Модель нагрева порошковой проволоки при дуговой металлизации и анализ структуры покрытия

Применение активированной дуговой металлизации (АДМ) обеспечивает значительный экономический эффект на предприятиях машиностроения, металлургии, строительства, газопереработки [1]. Однако при этом возникает проблема дефицита проволок, применяемых для получения покрытий с заданными свойствами.

В целом для дуговой металлизации (ДМ) перспективно использовать порошковые проволоки (ПП). В этом случае необходимые состав и свойства покрытий обеспечиваются варьированием компонентов шихты и величиной коэффициента заполнения проволоки. Однако особенности процесса не позволяют обеспечить качество покрытий при применении ПП, разработанных применительно к сварке и наплавке.

При ДМ удельная поверхность капель на порядок выше, а время нахождения металла в жидком состоянии на порядок меньше, чем при сварке. Первая особенность облегчает поступление кислорода в металл, вторая — снижает эффективность мер по раскислению из-за ограниченного времени взаимодействия в системе "газ — компоненты ПП". Это приводит к снижению адгезионной и когезионной прочности покрытий, повышению их пористости, уменьшению влияния легирующих компонентов шихты. Кроме того, часть шихты может отделяться от торца электрода в нерасплавленном виде [2]. Эти особенности следует учитывать при определении способов повышения качества покрытий с использованием ПП.

Применительно к проволокам сплошного сечения описаны основные процессы, происходящие при ДМ: по-

ля скоростей, температур в двухфазном потоке, расплавление и срыв распыляемого материала с торца электрода, кинетика межфазного взаимодействия в системе "газ — капли распыляемого металла" [3—5]. Однако ПП отличаются неравномерностью теплофизических свойств по сечению, что резко меняет характер тепловых и физико-химических процессов на торце электрода. Для их изучения предложена модель распространения теплоты в ПП от нагрева электрической дугой при ДМ.

Распределение теплоты в области торца ПП как осесимметричная задача может быть описана дифференциальным уравнением теплопроводности

$$\partial T / \partial t = (\lambda / c \gamma) (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2), \quad (1)$$

где T — температура; t — время; λ — коэффициент теплопроводности; c — удельная теплоемкость; γ — плотность; x, y — координаты по сечению и образующей ПП соответственно.

Задачу решали явно-разностным методом. Рассматриваемую область разбивали по радиусу r координатными линиями $i = \text{const}$ с шагом $\Delta r = r/10$ и по глубине s координатными линиями $j = \text{const}$ с шагом $\Delta s = s/10$ (рис. 1).

В пределах элемента температуру считали постоянной и относили к его середине. Для полученных элементов сетки приняли

$$\partial T / \partial t \cong \Delta T / \Delta t = (T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k) / \Delta t. \quad (2)$$

Дифференциал по r можно выразить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \partial^2 T / \partial r^2 &= \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) \cong \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right) \cong \frac{1}{\Delta r} \left(\left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right)_+ - \left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right)_- \right) = \\ &= \frac{1}{\Delta r} \frac{(T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k) - (T_{i,j}^k - T_{i-1,j}^k)}{\Delta r} = \\ &= (T_{i+1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i-1,j}^k) / \Delta r^2. \end{aligned} \quad (3)$$

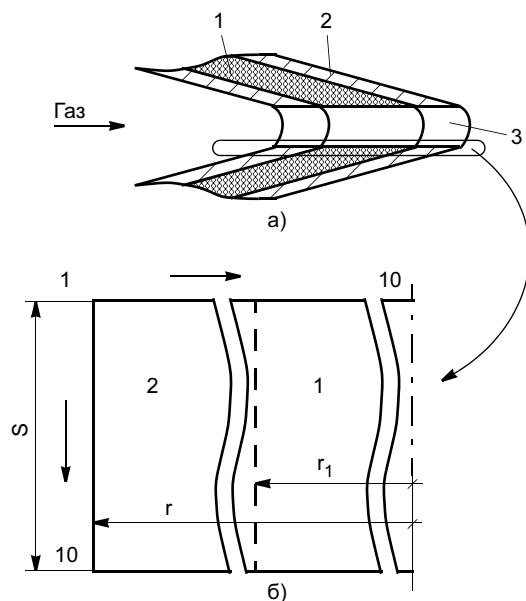


Рис. 1. Эскиз торца электрода при ЭДМ (а) и расчетная схема распространения теплоты на торце электрода (б): 1 — сердечник; 2 — оболочка; 3 — дуга

Дифференциал по s выражается аналогично. Тогда для рассматриваемой сеточной области разностное уравнение, аппроксимирующее дифференциальное уравнение (1), имеет следующий вид:

$$T_{i,j}^{k+1} = T_{i,j}^k + (\lambda / c \gamma) \Delta t (1 / \Delta r^2 B_1 + 1 / \Delta s^2 B_2), \quad (4)$$

где $B_1 = T_{i+1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i-1,j}^k$; $B_2 = T_{i,j+1}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i,j-1}^k$; $k, \Delta t$ — номер шага и шаг по времени; интервал времени разбит на 10^4 шагов.

При решении уравнения (4) накладывали ограничение, вытекающее из условия сходимости по выбранному методу:

$$(\lambda / c \gamma) (1 / \Delta r^2 + 1 / \Delta s^2) < 1/2. \quad (5)$$

Поскольку электропроводность шихты на один—два порядка ниже, чем у оболочки проволоки, принимали, что активные пятна дуги локализованы на торцах оболочек. Температура поверхности оболочки на торце 2500 К. Перегрев торца электрода до такой температуры относительно точки плавления T_m характерен для дуговых процессов [6]. Поверхность шихты получает теплоту от столба дуги за счет излучения и нагревается при этом до 1300 К.

На распространение теплоты от торца вглубь электрода влияет теплообмен между системами "оболочка — газ" и "оболочка — шихта". Нагреваемая дугой оболочка отдает теплоту обтекающему газовому потоку и шихте, что можно представить следующими уравнениями:

$$\lambda_1 (T_{i,j}^k - T_{i-1,j}^k) / \Delta r = \alpha_1 (T_{i-1,j}^k - T_g); \quad (6)$$

$$\lambda_1 (T_{i-1,j}^k - T_{i,j}^k) / \Delta r = \alpha_2 (T_{i,j}^k - T_{i+1,j}^k), \quad (7)$$

где индексы "1", "2" соответствуют металлу оболочки и шихте сердечника; для теплообмена "оболочка — газ" $\alpha_1 = \text{Nu} \lambda / 2r$, $\text{Nu} = 0,245 \text{Re}^{0,6}$, как для поперечного обтекания труб [7].

Согласно проведенным расчетам, при использовании воздуха и пропановоздушной смеси в качестве транспортирующих газов значение α_1 находится в интервале 2000—20 000 Вт/(м² · К) в зависимости от изменения характера переноса и скорости газа. Коэффициент теплоотдачи на границе "оболочка — шихта" $\alpha_2 = 1400$ Вт/(м² · К) [8].

Теплофизические свойства шихты соответствуют интервалу составов, характерных для этих компонентов ПП. Материал оболочки — низкоуглеродистая сталь (0,08 % С). Необходимые для расчета теплофизические характеристики, значения теплопроводности λ , плотности ρ и теплоемкости c взяты из работ [9, 10] и аппроксимированы полиномами (табл. 1).

При расчете по уравнению (1) энтальпию плавления учитывали следующим образом. На каждом шаге сравнивали температуру ячейки расчета с температурой плавления соответственно оболочки или шихты. По достижении последней температуру ячейки в последующие моменты времени сохраняли постоянной, и на всех последующих

точках по времени суммировали теплоту, накопленную в ячейке:

$$\sum_{k=1} q_{ij}^k = \sum_{k=1} c_{ij}^k (T_{ij}^k - T_{ij}^{k-1}). \quad (8)$$

Эту теплоту на каждом шаге сравнивали с удельной энтальпией плавления материала ячейки $h_{пл}$. При выполнении условия $\sum_{k=1} q_{ij}^k > h_{пл}$ на дальнейших шагах расчета учитывали повышение температуры ячейки.

Расчет толщины прослойки на торце электрода, расплавленной теплотой приэлектродного пятна дуги, выполнен согласно решению задачи плавления непрогретого тела ограниченных размеров при непрерывном удалении образующегося расплава с учетом энтальпии плавления [11]. Уравнение теплового баланса в этом случае можно представить в виде

$$q_1 F d \tau = dQ. \quad (9)$$

Левая часть уравнения $q_1 F d \tau$ представляет приход теплоты на торец электрода за счет теплоты приэлектродного пятна дуги (q_1 — удельный тепловой поток от приэлектродного пятна, F — площадь торца электрода). Правая часть уравнения dQ представляет расход теплоты на расплавление слоя металла на торце и на прогрев твердой части оболочки электрода.

Доля тепловой мощности дуги, приходящаяся на каждое приэлектродное пятно, примерно одинакова. Равенство тепловой мощности в анодном и катодном пятнах соответствует данным работы [6] для случая горения сварочной дуги в воздухе. После подстановки и интегрирования, согласно работе [11], получили уравнение, в котором неизвестной является толщина жидкой прослойки s , расплавляемой теплотой приэлектродного пятна дуги:

$$2at/h^2 = (\Psi(N) - \Psi(N_{\infty}))/N^2, \quad (10)$$

где $\Psi(u) = 9u \sqrt{(u+1/3)^2 + 8/9} / 16 + \sqrt{(u+1/3)^2 + 8/9} / 16 + 2 \ln(6(\sqrt{(u+1/3)^2 + 8/9} + u + 1/3)) / 12 - 3u^2/16 - u/4$;

$$N = c_{усл} \Delta T / (2h_{пл}); \quad \omega = (h - s)/h;$$

$$h = 2\lambda(T_n - T_c)/q_1; \quad a = \lambda/(c\rho),$$

где τ — характерный период срыва капель с торца электрода, равный $4 \cdot 10^{-4}$ с [12]; T_c — температура ненагретого металла, равная 300 К; T_n — температура поверхности расплава на торце электрода, равная 2500 К; a — коэффициент температуропроводности; $h_{пл}$ — энтальпия

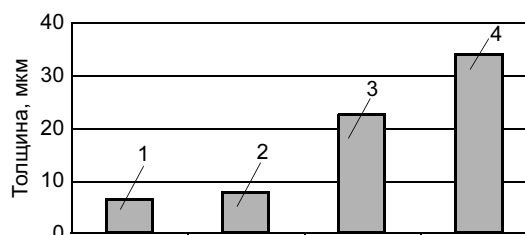


Рис. 2. Результаты эксперимента (1, 3) и расчета (2, 4) толщины срываемой прослойки жидкого металла при ЭДМ для сплошной проволоки (1, 2) и ПП (3, 4) с толщиной оболочки 0,5 (3) и 0,3 (4) мм

плавления жидкого железа, равная 1 319 000 Дж/кг [5]; h — протяженность зоны нагрева от поверхности торца вглубь электрода.

Результаты расчета показали (рис. 2), что в случае ПП в несколько раз возрастает толщина срываемой прослойки жидкого металла по сравнению с проволокой сплошного сечения. Кроме того, с уменьшением толщины оболочки δ толщина жидкой прослойки s увеличивается. Расчеты по уравнению (10) выполняли применительно к сплошной проволоке и ПП. Корректность полученных данных проверяли для сплошной проволоки при ДМ из условия равенства объема прослойки и капли по данным осциллографирования срыва капель (см. рис. 2).

При расчете теплообмена решали обратную задачу относительно теплофизических параметров шихты, обдувающего газа, геометрических размеров сечения ПП. В интервале значений этих параметров производили поиск области, удовлетворяющей благоприятным условиям для формирования капель распыляемого материала. В табл. 2 приведены параметры ПП, принятые для расчетов по различным вариантам, отличающимся от базового варианта 1 теплопроводностью шихты (вариант 2), толщиной оболочки (вариант 3) и условиями теплоотдачи на границе "газ — проволока" (вариант 4).

Из анализа результатов расчетов (рис. 3—5) можно сделать следующие выводы:

— оболочка ПП по всей толщине жидкой прослойки значительно перегрета выше температуры плавления (см. рис. 3);

— уменьшение толщины оболочки ПП наряду с отмеченным ранее ростом высоты жидкого слоя приводит к снижению ее температуры (см. рис. 3);

Таблица 1

Параметр	Температура, К	Коэффициенты полинома $Y = A_1 T^3 + A_2 T^2 + A_3 T + A_4$			
		A_1	A_2	A_3	A_4
λ , Вт/(м · К)	300—2500	$-2 \cdot 10^{-8}$	0,0001	0,1742	123,89
	2500—3500	0	$-3 \cdot 10^{-6}$	0,0175	22,42
ρ , кг/м ³	300—3500		$8 \cdot 10^{-5}$	0,463	7971,1
c , Дж/(кг · К)	323—1073		0,0003	0,0969	409,12
	1073—1273 1273—2473		0	-1,045 0,0658	1987,8 575,03

Таблица 2

Номер варианта	r , мм	r_1 , мм	t , с	a , Вт/(м ² ·К)		T , К			$c_{\text{ших'}}$ $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\lambda_{\text{ших'}}$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	s , мкм
				Оболочка	Шихта	Газ	Оболочка	Шихта			
1	1	0,5	$4 \cdot 10^{-4}$	20 070	1400	300	2500	1300	1600	20	22
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	5	22
3	+	0,3	+	+	+	+	+	+	+	+	33
4	+	+	+	2000	+	+	+	+	+	+	22

Обозначение. "+" соответствует варианту № 1.

— температура поверхности оболочки не превышает температуру плавления вследствие теплообмена с более холодным газом, это замедляет частоту сброса капель;

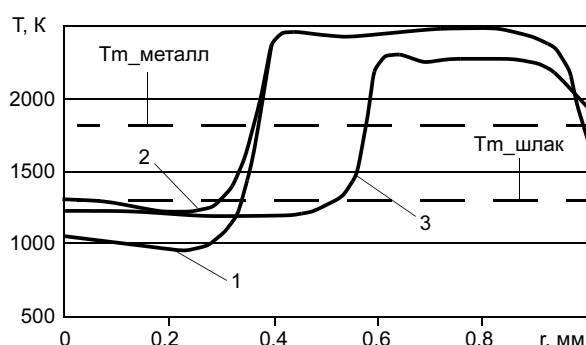


Рис. 3. Распределение температуры по сечению ПП: 1—3 — номер варианта (см. табл. 2)

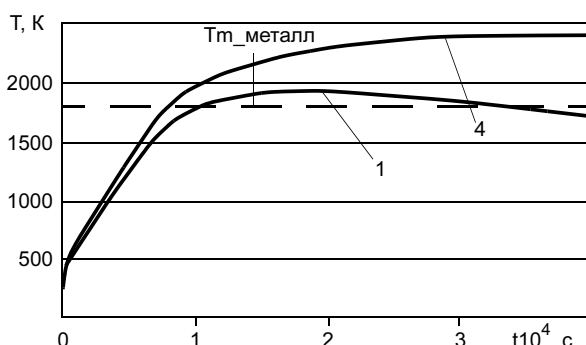


Рис. 4. Зависимость температуры поверхности оболочки ПП от условий теплоотдачи в системе "газ — проволока": 1, 4 — номер варианта (см. табл. 2)

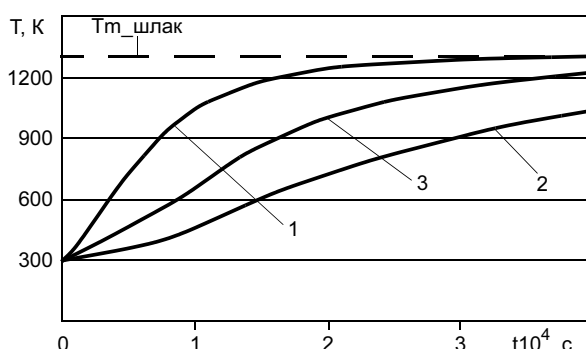


Рис. 5. Зависимость температуры в центре сердечника от теплопроводности шихты и толщины оболочки: 1—3 — см. рис. 3

— температура поверхности оболочки значительно зависит от условий теплоотдачи в системе "газ — проволока" (см. рис. 4);

— неполное расплавление шихты может быть вызвано пониженной теплопроводностью шихты и малой толщиной оболочки (см. рис. 5).

Анализ экспериментальных данных подтверждает результаты расчетов по модели. Для проведения экспериментов в качестве оболочки для изготовления ПП диаметром 2 мм использовали ленту из стали 08кп. В шихту проволоки вводили компоненты для получения сплава системы Fe—C—Cr—Ti, обеспечивающего высокую износостойкость наплавочных проволок за счет образования метастабильного аустенита [2]. Напыление выполняли аппаратом АДМ-10 при токе 180 А, напряжении 30 В, дистанции напыления 100 мм; толщина покрытия составила 1 мм.

Рентгеноспектральный анализ на приборе JCXA-733 показал, что в металле полученных покрытий (типа 150Х8Т2) резко меняется содержание хрома по сравнению с его содержанием в проволоке при различном коэффициенте заполнения (табл. 3). Согласно предложенной модели, при высоком коэффициенте заполнения (тонкая оболочка и массивный сердечник) вследствие более высокой скорости плавления оболочки обнаженный сердечник проволоки подвергается действию высокоскоростного газового потока (рис. 6, а). Поэтому часть порошкового сердечника выдувается в нерасплавленном виде из зоны формирования покрытия.

При малом коэффициенте заполнения изменяются условия плавления из-за пониженной теплопроводности сердечника и ограниченного времени формирования капель (рис. 6, б). Сварочная дуга испаряет часть железа с заостренных концов оболочки проволоки, и его пары уносятся из зоны формирования покрытия. Из-за уменьшения количества железа концентрация легирующих элементов в покрытии возрастает. Таким образом, снижение

Таблица 3

Коэффициент заполнения	Содержание легирующих элементов, %	
	Хром	Титан
0,3—0,4	19,8/7,3	2,3/2,0
0,1—0,2	6,0/7,2	2,1/3,2

Примечание. В числителе приведены значения для проволоки, в знаменателе — для покрытия.

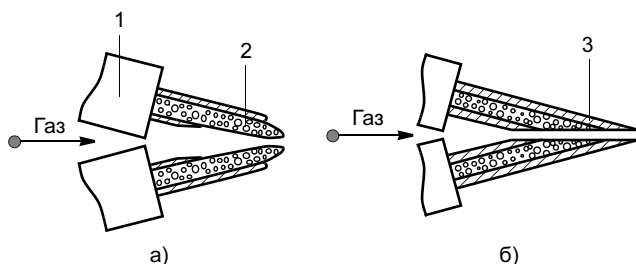


Рис. 6. Схемы плавания ПП при коэффициенте заполнения, равном 0,3—0,4 (а) и 0,1—0,2 (б): 1 — наконечник; 2 — шихта; 3 — оболочка

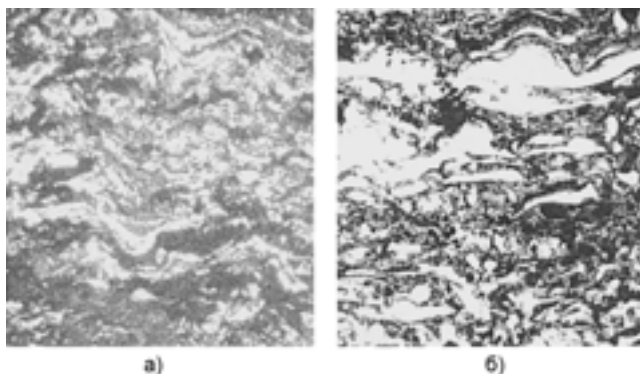


Рис. 7. Структура АДМ-покрытия: а — ПП типа 150Х8Т2 (×200); б — сплошная проволока 20Х13 (×250)

коэффициента заполнения способствует более полному переходу легирующих элементов в покрытие.

Полученные в результате моделирования данные использовали в качестве исходных для описания физико-химических взаимодействий при разработке порошковой проволоки состава типа 150Х8Т2.

Ниже приведены результаты исследования фазового состава и микроструктуры АДМ-покрытий толщиной 1,0—1,3 мм, полученных с применением разработанной ПП. Травление продольных и поперечных шлифов проводили царской водкой, микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,05 и 0,1 Н. Металлографический анализ поперечных шлифов покрытий показал (рис. 7, а), что структура покрытия имеет характерный волнообразный характер расположения структурных составляющих. Травление выявляет несколько типичных цветов и оттенков структурных составляющих: белые полосы чередуются с темно-серыми, серо-голубыми, желтовато-серыми и черными. При напылении произошло достаточно хорошее соединение с основанием, трещины не обнаружены, оксидный слой тонкий, имеются редкие утолщения или пустоты, граница между покрытием и основанием имеет зигзагообразную форму, повторяющую рельеф поверхности после струйно-абразивной обработки. Размеры фрагментов структуры в основном составляют 10—50 мкм. Из сравнения полученных результатов с данными исследований металлизационных покрытий из сплошных проволок следует, что характер структур полученных покрытий из сплошных проволок аналогичен (см. рис. 7).

Рентгеноструктурный анализ показал, что фазовый состав напыленного покрытия представляет совокуп-

ность металлической основы, первичных карбидов титана, карбидов хрома, а также оксидных фаз. Структура металлической основы — мартенсит и остаточный аустенит (около 50 %). Микротвердость покрытия 6,2—8,2 ГПа, причем микротвердость светлых фрагментов 7,2—8,6 ГПа, а желтовато-серых и серо-голубых — 4,5—5,6 ГПа. По-видимому, светлые участки, имеющие характерные темные точки и полосы, представляют неокисленные металлические фрагменты, возникшие при быстрой кристаллизации карбидной эвтектики и металлической аустенитно-мартенситной матрицы. Более сильно травящиеся желтовато-серые участки являются дисперсной смесью металлической и оксидной составляющих, а серые — частицами оксидов. Черные пятна на шлифах могли возникнуть от растравливания частиц оксидов и мелких пор.

Таким образом, структура металлизационного покрытия, полученного АДМ с применением ПП типа 150Х8Т2, представляет гетерогенную дисперсную смесь аустенитно-мартенситной металлической матрицы с включениями первичных и эвтектических карбидов, а также оксидов с высокой исходной микротвердостью.

На следующем этапе исследовали влияние метастабильного аустенита на деформационное упрочнение поверхностного слоя. Покрытия подвергали 40-кратному обкатыванию металлическим шариком диаметром 10 мм из стали ШХ15 при скорости движения 0,158 м/с. Нормальная нагрузка, действующая на образец, 10 Н (удельная нагрузка 0,1 МПа). По завершении испытаний трещины и отколы на обкатанной поверхности не обнаружены. Содержание остаточного аустенита уменьшилось с 50 до 20 %, а мартенсита — соответственно возросло. Это указывает на метастабильность аустенита и его способность при рабочем нагружении к мартенситному $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращению. Замеры показали увеличение микротвердости поверхностного слоя в среднем на 18 % по сравнению с исходным состоянием (рис. 8). Это можно объяснить тем, что в процессе контактного нагружения при обкатывании метастабильный остаточный аустенит в покрытии претерпевает мартенситное превращение, повышающее релаксационную способность структуры в процессе нагружения и увеличивающее ее способность к деформационному упрочнению.

Результаты лабораторных испытаний показали, что износостойкость покрытия, полученного с применением разработанных ПП, в 3—5 раза выше, чем с применением сплошной проволоки 20Х13.

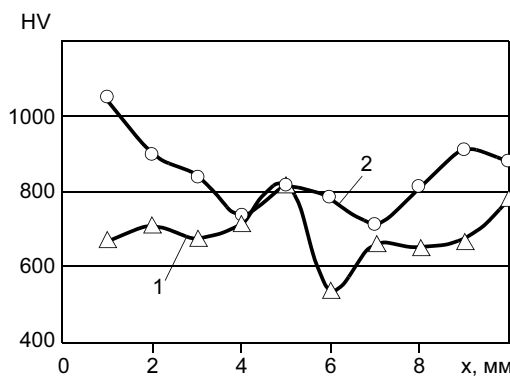


Рис. 8. Микротвердость поверхности покрытия, напыленного проволокой 150Х8Т2 до (1) и после (2) обкатки

На основании проведенных исследований в Уральском институте сварки разработаны технические условия на порошковую проволоку ПП-ПМ-6. В течение 5 лет данная ПП успешно применяется при АДМ-восстановлении тяжело нагруженных деталей оборудования более 80 наименований в металлургии, нефтегазопереработке и машиностроении [13].

ВЫВОД

Разработана модель распространения теплоты в порошковых проволоках при дуговой металлизации, на основании которой разработаны новые порошковые проволоки для металлизации, выполнены прогнозирование свойств получаемых покрытий и проектирование металлизационных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробов Ю. С. Эффективность применения активированной дуговой металлизации для нанесения защитных покрытий // Сварочное производство. 2005. № 2. С. 47—50.
2. Коробов Ю. С., Шумяков В. И. Особенности разработки порошковых проволок для активированной дуговой металлизации // Сварка и контроль. Пермь, 2004. С. 88—90.
3. Коробов Ю. С., Бороненков В. Н. Расчет параметров движения, нагрева и окисления частиц при электродуговой металлизации // Сварочное производство. 1998. № 3. С. 9—13.

4. Коробов Ю. С. Оценка сил, действующих на распыляемый металл при электрометаллизации // Автоматическая сварка. 2004. № 7. С. 23—27.
5. Коробов Ю. С., Бороненков В. Н. Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металлизации // Сварочное производство. 2003. № 7. С. 30—36.
6. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973. 447 с.
7. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.
8. Губин Б. А. Определение коэффициента теплоотдачи от шлака к электродной проволоке при электрошлаковой сварке стали // Автоматическая сварка. 1992. № 6. С. 26—29.
9. Зиновьев В. Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. М.: Металлургия, 1989. 384 с.
10. Масленков С. Б. Стали и сплавы для высоких температур. М.: Металлургия, 1991. Кн. 1. Цветные металлы. 381 с. Кн. 2. Стали. 830 с.
11. Гольдфарб Э. М. Теплотехника металлургических процессов. М.: Металлургия, 1967. 440 с.
12. Вахалин В. А. Процесс плавления и распыления материала электродов при электродуговой металлизации // Физика, химия обработки материалов. 1981. № 3. С. 58—63.
13. Разработка и применение порошковых проволок для активированной дуговой металлизации / Ю. С. Коробов, А. С. Прядко, А. Е. Черепко и др. // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. С.-Петербург, 2006. С. 165—178.

УДК 621.791.72.01

В. К. ДРАГУНОВ, д-р техн. наук, А. Л. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук, А. П. СЛИВА, инж. МЭИ — ТУ

Пространственные параметры электронного пучка при взаимодействии с намагниченной мишенью

Эффективность применения электронно-лучевого нагрева определяется прежде всего физическими процессами, которые протекают при взаимодействии электронного пучка с материалами. К таким процессам при сварке сталей можно отнести формирование электромагнитных полей, которые, взаимодействуя с электронным пучком, отклоняют его из области стыка. При значительных отклонениях пучка и существенном различии теплофизических свойств свариваемых материалов возможно изменение заданной степени проплавления кромок или даже образование дефектов в виде непроваров.

Отклонение пучка в общем случае зависит от всех трех составляющих магнитного поля, направленных вдоль каждой из осей. Однако основной вклад в отклонение пучка поперек стыка вносит продольная к стыку составляющая индукции магнитного поля, под воздействием которой траекторию движения осевого электрона пуч-

ка в магнитном поле над изделием и по его толщине можно описать с помощью следующих уравнений:

$$\theta_y(z) = \sqrt{\frac{e}{2m_e U}} \int_{-s}^z B_x(z) dz; \quad (1)$$

$$\psi_y(z) = \int_{-s}^z \theta_y(z) dz, \quad (2)$$

где $\theta_y(z)$ — угол отклонения электронов, рад; e — заряд электрона, Кл; m_e — масса электрона, кг; U — ускоряющее напряжение, В; $B_x(z)$ — продольная составляющая индукции магнитного поля, Тл; s — расстояние от пушки до изделия, м; $\psi_y(z)$ — отклонение пучка по оси Y , м.

Как правило, при разработке технологии ЭЛС ферромагнитных материалов рассчитывают возможное отклонение пучка вследствие воздействия магнитных полей. Та-

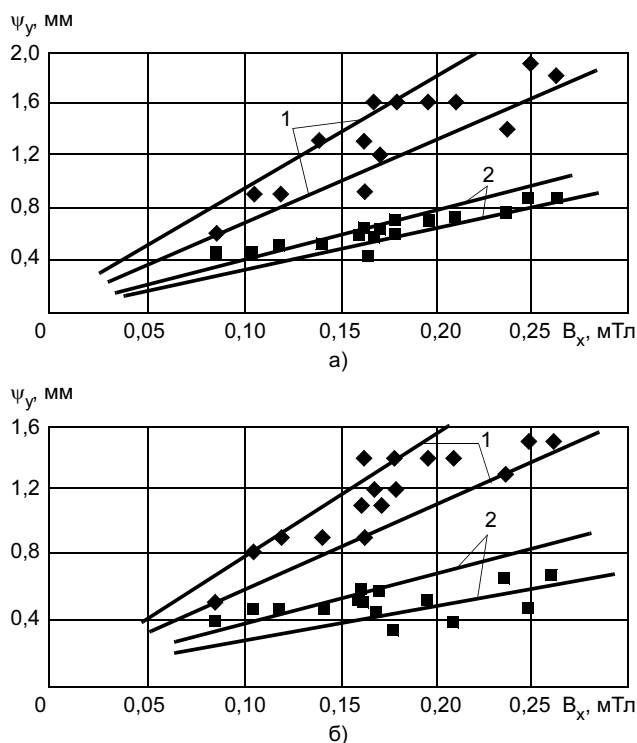


Рис. 1. Экспериментальные (1) и расчетные (2) отклонения электронного пучка в постоянном магнитном поле при ускоряющем напряжении 30 (а) и 40 (б) кВ

кие оценки, проведенные с помощью соотношений (1) и (2), показывают, что расчетные и экспериментальные значения отклонения электронного пучка с энергией 30 кэВ от заданной траектории отличаются практически в 2 раза (рис. 1, а). Аналогичные результаты получены также при использовании ускоряющего напряжения 40 кВ (рис. 1, б) [1]. Возможными причинами несовпадения значений могут быть несовершенство расчетной методики, неверное определение топографии магнитного поля, а также изменение параметров пучка в процессе взаимодействия с материалом.

Исключая методические ошибки, сформулируем три гипотезы, с помощью которых можно объяснить несовпадение расчетных и экспериментальных значений. Во-первых, одной из причин является изменение скорости электронов вдоль оси Z, которая может снижаться в пространстве дрейфа между анодом пушки и свариваемой деталью за счет их взаимодействия с парами металла и остаточными газами в камере. Во-вторых, дополнительное отклонение электронного пучка возможно за счет возникновения поперечной к стыку составляющей электрического поля в результате нарушения квазинейтральности приповерхностной плазмы. В-третьих, в процессе ЭЛС может происходить повышение плотности магнитного потока над изделием, обусловленное изменением концентрации частиц плазмы. Однако эти гипотезы требуют дополнительных теоретических и эмпирических подтверждений.

Цель работы — уточнение расчетных методик определения пространственных параметров электронного пучка при сварке намагниченных изделий.

В соответствии с работой [2] можно считать, что при энергии электронов до 60 кэВ в парогазовом канале ско-

рость независимо от плотности среды определяется только ускоряющим напряжением. Эти результаты хорошо согласуются с данными, полученными при исследовании функций распределения электронов по скоростям до и после проплавления образцов из стали 12Х18Н9Т и сплавов на основе алюминия толщиной до 40 мм [3]. По полученным спектрам установлено, что для электронов пучка, прошедших через парогазовый канал, изменение энергии не превышает 2 %, а общее смещение энергетических спектров в сторону уменьшения энергии электронов сварочного пучка не превышает 100—400 эВ.

Поскольку в процессе ЭЛС абсолютная скорость электронов изменяется незначительно, то наиболее вероятным объяснением несовпадения расчетных и экспериментальных данных является дополнительное (неучтенное) отклонение электронов при взаимодействии пучка с плазмой при наличии продольной к стыку составляющей магнитного поля.

Образование плазмы связано с тем, что в процессе взаимодействия концентрированного электронного пучка с материалом при энергии выше пороговой происходит не только интенсивное испарение вещества, но и его частичная ионизация за счет кинетической энергии первичных и вторичных электронов, термической ионизации, ультрафиолетового и рентгеновского излучения [4].

Физические процессы, связанные с разрушающим действием электронного и лазерного пучков на металлы, во многом подобны. Прежде всего процессы разрушения в одном и другом случаях имеют тепловую природу [5]. При этом характер разрушения поверхности металла зависит от плотности теплового потока. Поэтому, проводя аналогию с лазерным воздействием на металлы, можно считать, что при высокой плотности электронного пучка (10^5 — 10^6 Вт/см²) разрушение сопровождается образованием распространяющихся перпендикулярно поверхности плазменных струй. При давлении ниже 10 Па струя сильно расширяется и ярко светится лишь ядро струи. По данным работы [6], массовая скорость истечения паров из канала при проплавлении электронным пучком мишени из стали 12Х18Н10Т составляет 1,55 км/с, а максимальная скорость — 3,1 км/с. При этом плотность пара в канале $3,3 \cdot 10^{-7}$ г/см³.

Плазма, как и обычный газ, при перепаде давлений не может сохранять равновесие и будет двигаться, выравнивая разность давлений, как в случае расширения газа в вакуум. Из-за квазинейтральности электроны не могут далеко оторваться от медленно движущихся ионов, и поэтому плазма как целое будет распространяться с тепловой скоростью ионов [7].

Если в пространстве, где находится плазма, создается магнитное поле, то свойства плазмы изменяются. В магнитном поле электроны и ионы не могут свободно перемещаться в направлении, перпендикулярном силовым линиям. Поэтому, если при ЭЛС возникает продольное к стыку магнитное поле, то в канале проплавления и над поверхностью свариваемого изделия наблюдается изменение концентрации. Это связано с тем, что под воздействием продольной к стыку составляющей индукции результирующего магнитного поля заряженные частицы приобретают ускорение в поперечном направлении к стыку, причем положительные ионы отклоняются в одну сторону, а электроны и отрицательные ионы — в другую

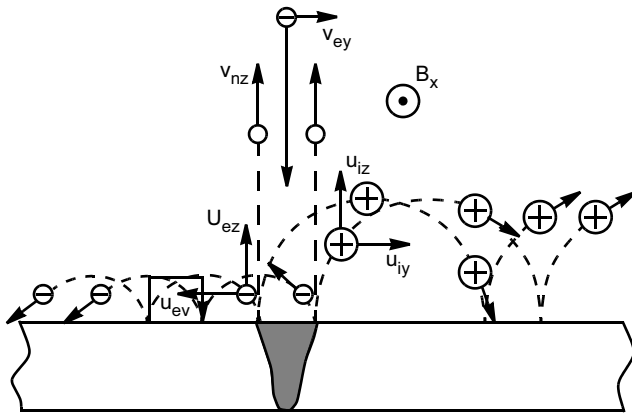


Рис. 2. Траектории движения электронов, ионов и нейтральных атомов при ЭЛС в поперечном магнитном поле

(рис. 2) [7]. В результате происходит нарушение электронейтральности плазмы и над изделием возникает электрический ток. Если пренебречь эффектом Холла (возникновение тока по направлению потока плазмы), то ток будет течь поперек плоскости стыка параллельно вектору индуцированного электрического поля $\vec{u} \times \vec{B}$.

При разомкнутой цепи ток может протекать лишь в течение чрезвычайно короткого промежутка времени, за который создаются объемные заряды и их электрическое поле, направленное противоположно полю $\vec{u} \times \vec{B}$. После того как напряженности этих полей станут равными, на заряды в потоке газа не будет действовать никакая сила и ток в плазме прекратится.

В общем случае, когда внешняя цепь замкнута на сопротивление, имеет место неполное разделение зарядов. Возникающее электрическое поле уже недостаточно для уравнивания поля $\vec{u} \times \vec{B}$. Следовательно, в направлении вектора $\vec{u} \times \vec{B}$ течет ток против электрического поля. При протекании тока на газ действует тормозящая сила, в результате он теряет энергию [8, 9].

Таким образом, при движении плазмы в магнитном поле происходит преобразование кинетической и внутренней энергии плазмы в электрическую, причем на заряженные частицы кроме силы Лоренца действуют силы трения о другие частицы и градиента давления. Для элементарного слоя, где индукция поля имеет постоянное значение, движение электронов плазмы массой m_e со средней скоростью $\vec{u}_e$ и ионов массой m_i со средней скоростью $\vec{u}_i$, в рамках гидродинамической теории плазмы описывается следующими уравнениями [10]:

$$e\vec{E} + e[\vec{u}_e \vec{B}] + m_e v_e \vec{u}_e + kT_e \frac{\vec{\nabla} n_e}{n_e} = 0; \quad (3)$$

$$e\vec{E} + e[\vec{u}_i \vec{B}] + m_i v_i \vec{u}_i + kT_i \frac{\vec{\nabla} n_i}{n_i} = 0, \quad (4)$$

где E — напряженность электрического поля, В/м; v_e, v_i — соответственно средняя электронная и ионная суммарная частоты столкновений с другими частицами, с^{-1} ; k — постоянная Больцмана, Дж/К; T_e, T_i — соответственно электронная и ионная температура, К; n_e, n_i — соответственно концентрация электронов и ионов в плазме, м^{-3} .

Пусть индукция магнитного поля имеет направление вдоль оси X и постоянна по модулю. Поскольку движение

испаряющихся частиц вещества происходит в основном по нормали к поверхности свариваемых изделий, то $\vec{u}_e$ и $\vec{u}_i$ направлены параллельно оси Z , но в противоположную ей сторону. В данном случае дрейф электронов плазмы будет наблюдаться по направлению оси Y со скоростью $\vec{u}_{ey}$. Дрейф положительных ионов будет проходить в противоположную сторону со скоростью $\vec{u}_{iy}$.

При отсутствии внешнего электрического поля ($E \approx 0$) и в предположении, что изначально в пределах поперечного сечения плазменного столба происходит равномерное распределение зарядов ($\frac{\partial n_e}{\partial x} = \frac{\partial n_e}{\partial y} = 0$ и $\frac{\partial n_i}{\partial x} = \frac{\partial n_i}{\partial y} = 0$), а коэффициент диффузии электронов D_e в поперечных полях имеет постоянное значение, из уравнения (3) в проекциях на оси координат получим

$$eE_{ey} - eu_{ez}B_x - m_e v_e u_{ey} = 0; \quad (5)$$

$$\frac{kT_e u_{ez}}{D_e} - eu_{ey}B_x - m_e v_e u_{ez} = 0, \quad (6)$$

где E_{ey} — поперечная стыку составляющая напряженности электрического поля, обусловленная дрейфом электронов, В/м.

Тогда с учетом соотношения Эйнштейна $D_e/\mu_e = kT_e/e$ (μ_e — подвижность электронов, $\text{м}^2/(\text{с} \cdot \text{В})$) и выражения для плотности электронной составляющей тока плазмы $j_e = en_e u_{ez}$ поперечная стыку составляющая напряженности электрического поля, обусловленная дрейфом электронов, определяется из решения уравнений (5) и (6):

$$E_{ey} = u_{ez}B_x. \quad (7)$$

Аналогично из уравнения (4) при условии, что для плазмы, образующейся при ЭЛС ($n_e \approx n_i \approx n$), справедливо равенство $\vec{j}_3 = \vec{j}_e + \vec{j}_i \approx 0$ ($\vec{j}_3$ — плотность эмиссионного тока, А/м^2 ; $\vec{j}_i$ — плотность ионного тока эмиссии, А/м^2), можно получить выражение для ионной компоненты напряженности электрического поля в плазме над поверхностью изделия:

$$E_{iy} = u_{iz}B_x. \quad (8)$$

Для электронного пучка в пределах его диаметра можно считать, что $\nabla n_e \approx 0$. Кроме того, при значительных скоростях электронов их трением о другие частицы можно пренебречь. Тогда уравнение движения центрального электрона пучка, проходящего сквозь плазменный слой, в проекции на ось Y можно представить в виде

$$m_e \frac{dV_{ey}}{d\tau} = -e(E_{эф} + V_{ez}B_x) = -e(u_{ez} + u_{iz} + V_{ez})B_x, \quad (9)$$

где V_{ey} — поперечная стыку составляющая скорости электронов в пучке, м/с; V_{ez} — скорость электронов в пучке в направлении нормали к мишени, м/с; τ — время, с; $E_{эф}$ — эффективная составляющая напряженности электрического поля эмиссионного тока, В/м, равная $E_{ey} + E_{iy}$.

Оценим значения полученных величин применительно к условиям эксперимента, результаты которого приведены на рис. 1. Для эмиссионного тока при средней энергии электронов 1 эВ их скорость $u_{ez} = 5,93 \cdot 10^5$ м/с. Для

ионов железа массой $m_i = 9,3 \cdot 10^{-26}$ кг при температуре кипения $T_i = 2,75 \cdot 10^3$ К скорость $u_{iz} = \sqrt{3kT_i/m_i} = 1,1 \cdot 10^3$ м/с. При ускоряющем напряжении 30 и 40 кВ электроны пучка имеют скорость соответственно $V_{ez} = 1,03 \cdot 10^8$ м/с и $V_{ez} = 1,19 \cdot 10^8$ м/с. Следовательно, $V_{ez} \gg u_{ez} \gg u_{iz}$, что позволяет пренебречь влиянием индуцированного электрического поля на параметры сварочного электронного пучка, а уравнение (9) представить в виде

$$m_e \frac{dV_{ey}}{d\tau} \approx -eV_{ez}B_x. \quad (10)$$

Таким образом, при прохождении плазменного факела, образованного продуктами эрозии мишени и ионизированными газами в камере при ЭЛС, электронный пучок практически не испытывает воздействия электрических полей, обусловленных дрейфом электронов и ионов плазмы в продольном стыку магнитном поле.

Рассмотрим теперь плазму как активный фактор, влияющий на магнитное поле. Воздействие плазмы на поле проявляется в тех случаях, когда плазма как целое быстро движется поперек силовых линий поля. Расширение паргазовой фазы в вакуум и диффузионное расплывание плазмы изменяют ее концентрацию. При этом плазма представляет проводник, в котором при пересечении магнитного поля индуцируется электродвижущая сила, генерирующая электрический ток. Последний создает собственное магнитное поле, вследствие чего начальное распределение индукции магнитного поля изменяется. При процессах достаточно быстрых в плазме с высокой электропроводностью даже незначительное изменение магнитного потока приведет к появлению большого тока, поле которого скомпенсирует увеличение или уменьшение этого потока. Известно [7], что напряженность магнитного поля изменяется пропорционально концентрации частиц, т. е. плотности плазмы. В результате статистической обработки данных [5] по измерению плотности эрозионной плазмы при воздействии на металлы концентрированных потоков энергии установлено, что концентрация частиц при удалении от поверхности испарения снижается и может быть представлена следующим соотношением:

$$n(z) = n(0)e^{\alpha z}, \quad (11)$$

где $n(z)$, $n(0)$ — соответственно концентрация частиц над изделием и на поверхности испарения.

Тогда изменение индукции магнитного поля в плазменном потоке

$$B(z) = \frac{n(z)}{n(0)} B(0) = B(0)\exp \alpha z. \quad (12)$$

Коэффициент α может иметь различные значения в зависимости от условий сварки. Его значения для ЭЛС стальных толщиной до 40 мм были определены по экспериментальным значениям отклонения пучка в магнитном поле. Для этого перед ЭЛС жестко закрепляли маркировочный лист из парамагнитной стали 12Х18Н10Т в технологической оснастке. Над поверхностью листа создавали магнитное поле с индукцией $B(0) = 0,1 \div 2,0$ мТл при помощи намагниченных образцов из инструментальной стали

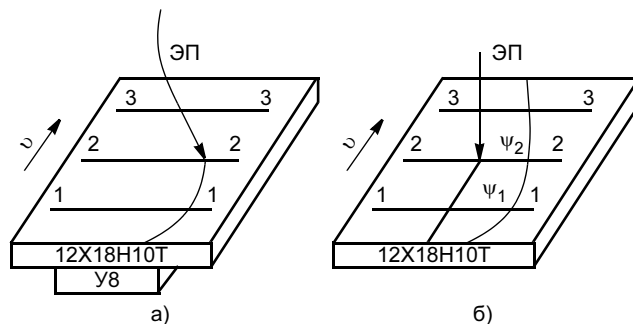


Рис. 3. Схема эксперимента по определению коэффициента α : а — в поле остаточной намагниченности; б — в отсутствие поля

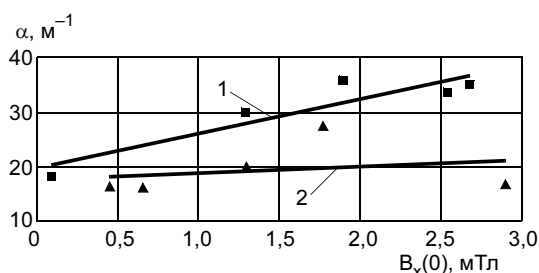


Рис. 4. Зависимость коэффициента α от индукции магнитного поля: 1, 2 — ускоряющее напряжение 30 и 40 кВ соответственно

У8, которые устанавливали под листом (рис. 3). В заданных точках измеряли индукцию над поверхностью листа и при токе сварки 10—15 мА получали след на маркировочном листе. Затем образцы удаляли и получали второй след на том же маркировочном листе. По расстоянию между следами в заданных сечениях определяли отклонение пучка $\psi(0)$ и расчетным путем с использованием численных методов определяли значения α при различной плотности магнитного потока (рис. 4) из соотношения

$$\psi(0) = \alpha^{-2} \left(\frac{e}{2m_e U} \right)^{0,5} B_x(0) [1 - (1 + \alpha s) \exp(-\alpha s)]. \quad (13)$$

При такой методике измерений можно с достаточной степенью точности считать, что индукция магнитного поля на поверхности маркировочного листа остается неизменной как во время измерений, так и во время сварки. Полученные экспериментальные результаты показывают, что коэффициент α практически линейно зависит от индукции магнитного поля, формируемой на поверхности изделий в отсутствие плазменных потоков.

Таким образом, из рассмотренных факторов, ранее не учитывавшихся при определении геометрии пучка, наиболее значимым является изменение в процессе сварки плотности магнитного потока над поверхностью свариваемых изделий, обусловленное возникновением плазменных потоков в пространстве дрейфа электронов пучка.

ВЫВОДЫ

1. Установлены причины расхождения экспериментальных и расчетных оценок изменения параметров электронного пучка при ЭЛС намагниченных материалов. Показано, что в процессе ЭЛС абсолютная скорость

электронов изменяется незначительно. При прохождении плазменного факела, образованного продуктами эрозии мишени и ионизированными газами, электронный пучок практически не испытывает воздействия электрических полей, обусловленных дрейфом электронов и ионов плазмы в продольном стыку магнитном поле. Однако воздействие плазмы на поле проявляется в тех случаях, когда плазма как целое быстро движется поперек силовых линий поля и создает собственное магнитное поле, вследствие чего начальное распределение индукции магнитного поля изменяется.

2. Определены значения поправочных коэффициентов, учитывающих изменение индукции магнитного поля в плазменном потоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгунов В. К., Гончаров А. Л. Методы определения отклонения электронного пучка при сварке намагниченных деталей // Сварочное производство. 2002. № 9. С. 3—9.
2. Драгунов В. К. Соотношение скоростей электронов в пространстве дрейфа и канале проплавления при ЭЛС // Электронно-лучевая сварка. М.: ЦРДЗ, 1993. Вып. 1. С. 79—83.
3. Потери энергии электронов сварочного пучка в парогазовом канале / Е. А. Корнилов, О. А. Металлов, О. К. Назаренко, С. К. Пацора // Физика и химия обработки материалов. 1975. № 2. С. 20—23.
4. Бурмакин В. А., Попов В. К. О некоторых физических явлениях процесса взаимодействия электронного пучка с твердым телом // Физика и химия обработки материалов. 1972. № 6. С. 5—13.
5. Минько Л. Я. Получение и исследование импульсных плазменных потоков. Минск: Наука и техника, 1970. 184 с.
6. Родигин В. Н., Коробов В. М. Прямое измерение реактивной силы, возникающей при электронно-лучевой сварке, и оценка параметров газа в кратере // Физика и химия обработки материалов. 1977. № 4. С. 40—43.
7. Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. М.: Атомиздат, 1969. 191 с.
8. Чанг Ш. Преобразование энергии.: Пер. с англ. / Под ред. Б. А. Ушакова. М.: Атомиздат, 1965. 310 с.
9. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
10. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. М.: Наука, 1971. 543 с.

УДК 621.791.76:621.791.052

Г. А. МЕНЬШИКОВ, д-р техн. наук, В. Г. АНТОНОВ, аспирант
("МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского),
Ю. Х. САГИТОВ, канд. физ.-мат. наук
(Тольяттинский государственный университет)

К вопросу изучения механизма перемешивания жидкого металла в ядре при контактной сварке

Корпусное производство в авиа- и ракетостроении отличается разнообразием методов получения неразъемных соединений. До настоящего времени изделия ответственного назначения изготавливают с применением точечной (рельефной) и шовной контактной сварки (КС). Наиболее проблемными вопросами при КС остаются формирование соединения и выбор методов контроля качества сварных соединений [1, 2].

Перемешивание расплавленного металла в ядре точки решает две основные задачи. Первая относится к изучению образования соединения на этапе разрушения и удаления оксидных поверхностных пленок. Вторая задача связана с перераспределением и сепарацией частиц металлов (рентгеноконтрастных материалов), введенных перед сваркой с целью выполнения неразрушающего контроля качества сварного соединения [3].

В работах [4, 5] основной причиной перемещения неэлектропроводных частиц считается сила, обусловленная градиентом давления в ядре, которая в свою очередь вызвана действием электродинамических сил. Однако не для всех случаев эта гипотеза приемлема. Например, при сварке плакированных алюминиевых сплавов деталей неравной толщины и при ограниченном объеме ядра тонкая плакировка не разрушается и не удаляется из контакта деталей. Аналогичный эффект наблюдается, когда величина проплавления менее 15 % на титановых

сплавов с оксидной пленкой, коррозионно-стойких сталях, подвергавшихся электрополировке и т. п. Также вызывает сомнение существование градиента давления в замкнутом малом объеме жидкости, находящегося под высоким давлением. При этом, согласно основному закону гидромеханики, давление жидкого металла передается во всех направлениях и по всему объему одинаково и отлично от нуля в любых точках. Таким образом, гипотеза по перемешиванию расплавленного металла ядра точечного соединения требует дальнейшего уточнения и развития.

Анализ формирования соединения с позиций современной магнитогидродинамики [6—9] позволяет расширить представления о перемешивании в ядре оксидных пленок, нерастворимых частиц из различных материалов. Рассмотрим некоторые явления и положения, которые ранее недостаточно учитывали.

В цилиндрических токоведущих элементах (ТЭ) существуют только радиальные силы, обусловленные притяжением параллельных линий тока одного направления. Эти силы стремятся сжать ТЭ в радиальном направлении и называются силами пинч-эффекта. Для КС на участке электрод—электрод и, в частности, в зоне образования соединения поперечное сечение ТЭ изменяется. В месте перехода возникают дополнительные электродинамические силы сужения, направленные вдоль оси ТЭ, которые стремятся разорвать контакты [10]. По-

мимо этого при формировании ядра взаимодействие магнитного поля и электрического тока на проводящие металлические и непроводящие составляющие жидкого металла приводит к динамическим эффектам в ядре [6]. Жидкий металл, взаимодействуя с неоднородно нагретой поверхностью, начинает двигаться вдоль поверхности в направлении возрастания температуры. Это явление называется тепловым скольжением. Тепловое скольжение вызывает появление дополнительной силы F_{σ} . Когда величина этой силы становится равной величине силы вязкого сопротивления среды F_{μ} , частица начинает двигаться равномерно. В жидкости движение конкретной частицы определяется как поверхностными явлениями, так и объемными эффектами, возникающими из-за неоднородности распределения гидродинамического и температурных полей [7]. При исследовании и контроле формирования ядра методами акустической эмиссии отмечены специфические магнитогидродинамические волны [9]. Однако решение магнитогидродинамических уравнений с учетом всех сопутствующих явлений (вязкости, теплопроводности, конечной электропроводности, неоднородности среды, неравновесных явлений) являются громоздкими и необозримыми [8].

ных потоков). Характер движения расплава при ЭШС не зависит от направления тока, так как знак $\text{rot} f_e$ не определяется знаком (направлением) магнитного поля B_ϕ из-за квадратичной зависимости от него.

Таким образом, основных причин перемешивания жидкого металла ядра несколько и они могут быть связаны не только с электродинамическими силами, но и геометрическими соотношениями ядра точки и соединения в целом. При формировании ядра точки всегда имеет место скачок проводимости на границе расплава и оболочки твердого металла, следовательно, и вектор плотности тока имеет три составляющие. Магнитогидродинамические силы по трем составляющим формируют вихревые течения при достаточном объеме жидкого металла. Как правило, расплавленный металл движется в сторону уменьшения плотности электрического тока, при этом характер движения зависит и от геометрии ядра точки.

Можно предположить, что перемешивание расплавленного металла обуславливается рядом явлений: объемным расширением металла при нагреве и расплавлении, действием усилия сжатия электродов; диффузионными процессами; конвективными потоками; магнитогидродинамическими силами.

Взаимная деформация листов от увеличения объема металла при нагреве и усилия сжатия приводит к некоторому перемещению слоев металла в высокотемпературной зоне. При этом диффузионные процессы и конвективные перемещения слоев металла должны протекать от некоторой неравномерности нагрева расплава. Однако на первом этапе ими можно пренебречь.

Результаты исследования показали, что главными причинами перемешивания металла являются магнито-гидродинамические силы, возникающие в металле при прохождении сварочного тока. Для анализа природы этих сил рассмотрим сечение точки, через которую проходит ток $I_{ср}$ (рис. 1).

Известно, что вокруг проводника с током образуется поперечное круговое магнитное поле с напряженностью H .

При условии равномерности плотности тока в металле на площади радиусом пластического пояса R напряженность магнитного поля

$$H = j_0 \frac{r}{2}, \quad (1)$$

где j_0 — плотность тока в жидком металле; r — расстояние от центра до точки, в которой определяется H .

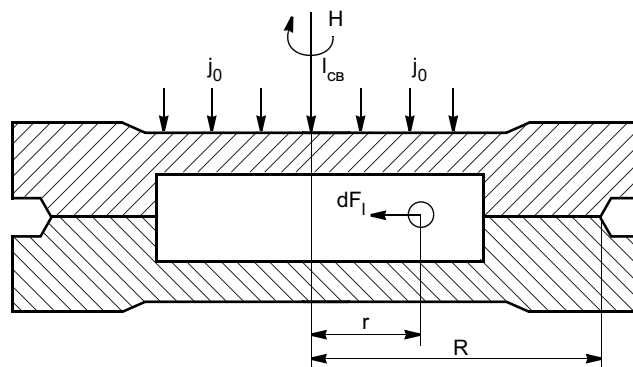


Рис. 1. Схема соединения с условными границами ядра точки и равномерным распределением плотности тока j_0

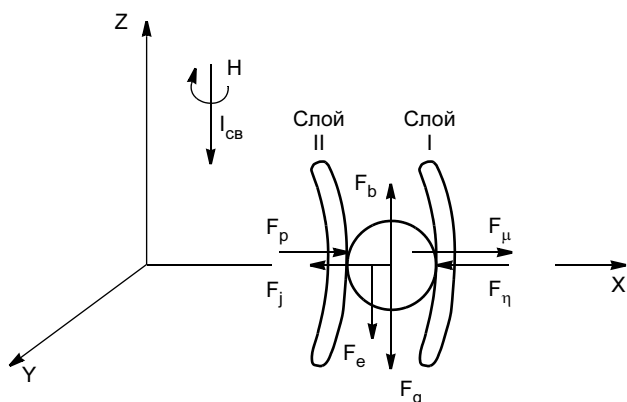


Рис. 2. Схема основных сил, действующих на нерастворимую частицу в жидком металле

Направление силовых линий и вектора напряженности магнитного поля показано на рис. 1.

Результирующая сила, действующая на нерастворимую частицу вольфрама, согласно рис. 2,

$$\vec{F}_{\text{рез}} = \vec{F}_p + \vec{F}_j + \vec{F}_\eta + \vec{F}_g + \vec{F}_{\text{арх}} + \vec{F}_\mu + \vec{F}_{e,1} + \vec{F}_{e,2} + \vec{F}_{\text{grad},1} + \vec{F}_{\text{grad},2} + \vec{F}_{\text{вихр}}, \quad (2)$$

где $\vec{F}_{\text{grad},1}$, $\vec{F}_{\text{grad},2}$ — силы, обусловленные градиентом плотности жидкого алюминия, соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях, который возникает в результате неравномерности температурного поля в жидком металле (распределение температуры в зоне расплава требует отдельного исследования, поэтому влияние этих сил на поведение частицы вольфрама в данной работе не рассмотрено); $\vec{F}_{\text{вихр}}$ — сила, обусловленная вихревым электрическим полем, которое возникает в переходный момент, при прохождении сварочного тока (эта сила из-за своей природы происхождения влияет на поведение частицы на последнем этапе ее движения, поэтому ее также не рассматриваем); $\vec{F}_p$ — сила, обусловленная градиентом давления в жидком металле, возникающим в горизонтальном направлении; $\vec{F}_j$ — сила Ампера, действие которой обусловлено микротоком, проходящим через объем частицы; $\vec{F}_\eta$ — сила вязкого трения, возникающая при движении частицы в жидком металле; $\vec{F}_g$ — сила тяжести; $\vec{F}_{\text{арх}}$ — сила Архимеда (выталкивающая сила); $\vec{F}_\mu$ — сила, обусловленная наличием магнитного момента у частицы, который она приобретает в магнитном поле; $\vec{F}_{e,1}$ — сила электрического взаимодействия частицы с полем, созданным другими заряженными частицами; $\vec{F}_{e,2}$ — сила электрического взаимодействия частицы с полем сварочного тока.

Сила давления

$$\vec{F}_p = \mu_0 [\vec{j}_0, \vec{H}] V,$$

где V — объем частицы.

В силу цилиндрической симметрии представленной модели численное значение силы давления с учетом выражения (1)

$$F_p = \frac{\mu_0 j_0^2 r V}{2}. \quad (3)$$

Для алюминия и вольфрама магнитная проницаемость близка к единице, т.е. $\mu \approx 1$, поэтому ее в дальнейшем не учитываем.

Плотность тока в расплавленном алюминии и частицах вольфрама

$$\begin{cases} \vec{j}_0 = \gamma_0 \vec{E}_0; \\ \vec{j}_1 = \gamma_1 \vec{E}_1. \end{cases}$$

Оба материала не являются диэлектриками, поэтому $\vec{E}_0 = \vec{E}_1$, следовательно, $j_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma_0} j_0$ (γ_0 , γ_1 — удельные электропроводности соответственно жидкого алюминия и вольфрама).

Сила Ампера, действующая на частицу,

$$F_j = \frac{\mu_0 j_0^2 \gamma_1 r V}{2 \gamma_0}. \quad (4)$$

Сила магнитного взаимодействия

$$F_\mu = \mu_0 (\chi_1 - \chi_0) H \text{ grad} H V = \frac{\mu_0 (\chi_1 - \chi_0) j_0^2 r V}{4}, \quad (5)$$

где χ_0 , χ_1 — магнитные восприимчивости жидкого алюминия и вольфрама.

Сила вязкого трения

$$F_\eta = 6\pi\eta Rv = 3\pi\eta dr'(t), \quad (6)$$

где η — коэффициент вязкого трения жидкого алюминия; d — диаметр частицы; v — скорость частицы, равная $r'(t)$.

Сила взаимодействия заряженной частицы с полем частиц $F_{e,1} = q_0 E_0$ (q_0 — заряд частицы, E_0 — напряженность поля частиц). Согласно опытным данным, частицы перемещаются на периферию ядра, поэтому расположение частиц будем рассматривать в виде кругового цилиндра радиусом $0 < r_0 \leq R$ и высотой h_0 , которая равна толщине вольфрамовой прослойки. Для идеального равномерно заряженного цилиндра напряженность на поверхности

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0},$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-15}$ Ф/м; σ — поверхностная плотность заряда, равная $q/2\pi rh_0$; q — заряд всех частиц, равный

Nq_0 (N — число частиц, равное $\frac{V_{\text{цил}}}{V_{\text{част}}} = \frac{6h_0 r^2}{d^3}$, q_0 — заряд одной частицы).

Величину q_0 определяем с учетом следующего. Потенциал ионизации частицы и потенциал поля на ее поверхности, которую считаем идеальным шаром, равны, т.е. $\frac{A_1 - A_0}{e} = k \frac{2q_0}{d}$ (A_0 , A_1 — работа выхода электрона соответственно из алюминия и вольфрама; k — постоянная из закона Кулона; e — заряд электрона по модулю). Откуда

$$q_0 = \frac{(A_1 - A_0)d}{2ke},$$

следовательно,

$$F_{e,1} = \frac{3(A_1 - A_0)^2 r}{4\pi k^2 e^2 \varepsilon_0 d}. \quad (7)$$

Силы, рассчитанные по формулам (3)—(5) и (7), зависят от переменной r , характеризующей удаление частиц от центра ядра, поэтому их можно непосредственно сравнить:

$$F_{\text{рез}, 1} = F_p - F_j = \frac{\mu_0 J_0^2 r V}{2} \left(1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_0} \right). \quad (8)$$

Рассмотрим силы, действующие также в радиальном направлении. Сила F_μ обусловлена наличием магнитного момента у частицы, который она приобретает в магнитном поле.

Рассмотрим силы, действующие в осевом направлении.

Сила тяжести

$$F_g = \rho_1 g V, \quad (9)$$

где ρ_1 — плотность вольфрама.

Сила Архимеда (выталкивающая сила)

$$F_{\text{арх}} = \rho_0 g V, \quad (10)$$

где ρ_0 — плотность жидкого алюминия.

Сила электрического взаимодействия частицы с полем сварочного тока

$$F_e = qE = \frac{q j_0}{\gamma_0}. \quad (11)$$

Для анализа формулы (11) необходимо получить выражение для заряда частицы, вследствие чего можно в окончательном виде записать выражение для сил электрического взаимодействия:

$$F_e = \frac{(A_1 - A_0) d j_0}{2 k e \gamma_0}. \quad (12)$$

Сравнивая выражения (5), (7), (9), (10) и (12), видно, что они являются малыми величинами по отношению силы (4) в пределах ее изменения: $0,01R \leq r \leq R$ и поэтому в порядке допущения на первом этапе их не учитываем.

Для определения силы вязкого трения (6) необходимо установить зависимость скорости частицы от ее координаты r для принятой расчетной температуры.

Запишем II закон Ньютона для рассматриваемой частицы с учетом вышесказанного

$$m \vec{a} = \vec{F}_{\text{рез}, 1} + \vec{F}_\eta \quad (13)$$

или в скалярном виде

$$m r''(t) = \frac{\mu_0 J_0^2 V (\gamma_0 - \gamma_1)}{2 \gamma_0} r(t) - 3 \pi \eta d r'(t). \quad (14)$$

Приведем данное выражение к стандартному виду обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными множителями:

$$\begin{cases} r''(t) + \alpha r'(t) - \beta r(t) = 0; \\ \alpha = \frac{18 \eta}{\rho_1 d^2}; \\ \beta = \frac{\mu_0 J_0^2 (\gamma_0 - \gamma_1)}{2 \rho_1 \gamma_0}. \end{cases} \quad (15)$$

Здесь было использовано выражение для массы частицы

$$m = \rho_1 V = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_1.$$

Решение уравнения с учетом начальных условий

$$\begin{cases} r(0) = r_0; \\ v(0) = v_0 \end{cases} \quad (16)$$

имеет вид

$$\begin{cases} r(t) = \frac{\exp\left(-\frac{\alpha}{2}t\right)}{2\lambda} \left\{ [r_0(\alpha + \lambda) + 2v_0] \exp\left(\frac{\lambda}{2}t\right) - \right. \\ \left. - [r_0(\alpha - \lambda) + 2v_0] \exp\left(-\frac{\lambda}{2}t\right) \right\}. \end{cases} \quad (17)$$

Определим промежуток времени, необходимый для перемещения частиц, находившихся в центре расплавленной зоны ($r = 0$), на ее периферию ($r = R$). Упростим выражение (17)

$$\exp\left(-\frac{\alpha}{2}t\right)_{t \neq 0}, \exp\left(-\frac{\lambda}{2}t\right) \Rightarrow 0. \quad (18)$$

Начальную скорость этих частиц примем равной нулю, что позволит вычислить максимальное время их движения.

В момент разрушения рентгеноконтрастного слоя все образовавшиеся частицы сдвинутся от своего первоначального положения, поэтому $r = 0,01R$.

С учетом вышеприведенного

$$t = \frac{2}{\lambda - \alpha} \ln \left[\frac{2\lambda R}{r_0(\alpha + \lambda)} \right]. \quad (19)$$

Результаты расчетов для частиц диаметром $d = 5 \div 50$ мкм приведены на рис. 3. Видно, что все частицы диаметром $d < 100$ мкм успевают за время существования жидкой фазы в зоне сварки $t_0 = t_{\text{св}}/2 = 0,1$ с ($t_{\text{св}}$ — время сварки, равное 0,2 с) достичь периферии ядра. Достигшие стенки частицы будут испытывать при соударении с ней неупругое взаимодействие и после "отскока" будут взаимодействовать с другими частицами по закону броуновского движения.

В связи с этим рекомендовано применение данного способа напыления с толщиной слоя не более 50 мкм. Рентгенограммы качественных сварных образцов приведены на рис. 4. Сварку выполняли на машине постоянного тока МТВ-8002 на режиме: $I_{\text{св}} = 32 \div 39$ кА; $F_{\text{св}} = 800$ даН; $t_{\text{св}} = 0,1 \div 0,14$ с; $R_{\text{сф}} = 100/50$ мм. Рентгеноконтрастный материал нанесен на поверхность пластины плазменным напылением.

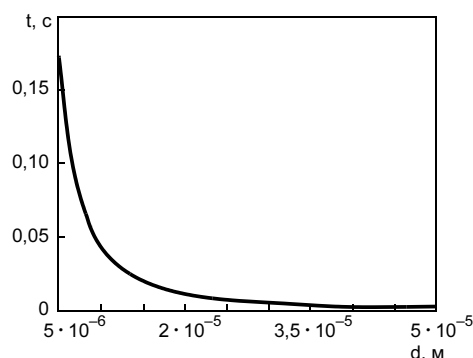


Рис. 3. Зависимость времени перемещения от диаметра нерастворимой частицы в идеальном потоке жидкого металла ядра

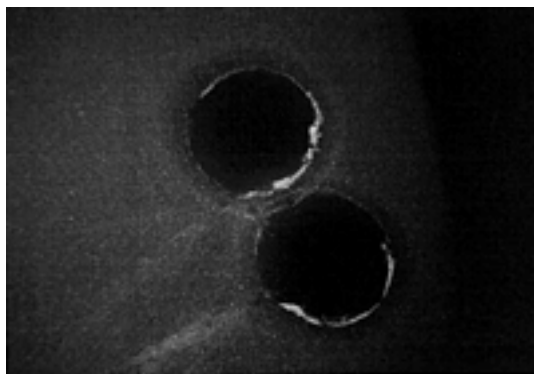


Рис. 4. Рентгенограмма качественного сварного ($d_{\text{я}} = 6,5$ мм) соединения пакета толщиной $(2 + 2)$ мм из АМг6 + МС-порошок ($W_2C + W$, $\delta = 20$ мкм)

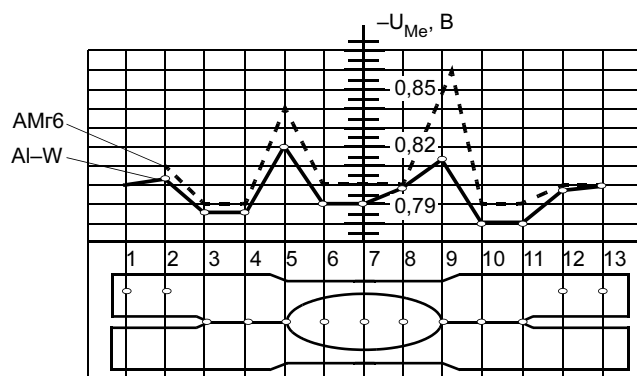


Рис. 5. Стандартные электродные потенциалы в точечном соединении, выполненные с плазменным напылением $W_2C + W$

На рентгенограммах соединений сплава АМг6 с МС-порошком (W_2C , $\delta = 10 \div 20$ мкм) обеспечивается получение темного диска с четкой границей ядра сварной точки (внутреннее светлое кольцо).

Сварные соединения с напыленным слоем прошли коррозионные испытания. На рис. 5 приведены стандартные электродные потенциалы сварных точек сплава АМг6 толщиной $(2 + 2)$ мм и с АМг6 + W_2C + АМг6 (Аl—W) в растворе 3 %-ного раствора NaCl с использованием хлорсеребряного электрода. Видно, что наиболее подвержена коррозии периферийная зона соединения сварной точки, которая несет на себе основную нагрузку всего контакта. Показано, что добавки-модификаторы, регулирующие процесс кристаллизации и вызывающие заметное диспергирование зерен, повышают одновременно и коррозионную стойкость металла. Примеси и добавки, не растворяющиеся в кристаллах, концентрируются на поверхности раздела и образуют межкристаллитную прослойку (МКП).

Использование рентгеноконтрастного напыления МС способствует не только четкому выявлению диаметра точки на рентгенограмме, но и повышает коррозионную стойкость сплава против воздействия в агрессивных средах.

ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных данных и многолетний практический опыт по контактной сварке показали, что гипо-

теза по перемешиванию расплавленного металла ядра точечного соединения требует дальнейшего развития.

2. Подтверждено, что полноценное перемешивание ядра соединения при точечной (рельефной) и шовной контактной сварке является главным процессом при образовании высококачественного соединения.

3. Показано, что определяющими силами при перемешивании расплавленного металла являются магнито-гидродинамические и геометрические особенности формирующегося ядра точки.

4. Расчетным путем для частных случаев сварки установлены траектория движения и интервал времени перемещения нерастворимой частицы в ядре точки.

5. Представленная методика расчета позволяет выбрать рентгеноконтрастный материал-свидетель для неразрушающего контроля качества сварного соединения для принятого режима сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы авиа- и ракетостроения: Учеб. пособие для вузов / А. С. Чумадин, В. И. Ершов, К. А. Макаров и др. М.: Инфо, 2008. 992 с.
2. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов / Под ред. В. П. Мишина, В. К. Карраска. М.: Машиностроение, 1991. 416 с.
3. Технология и оборудование контактной сварки: Учебник для вузов / Под общ. ред. Б. Д. Орлова. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
4. Чакалев А. А. Оптимизация технологического процесса точечной и шовной сварки при изготовлении узлов летательных аппаратов: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: МАТИ им. К. Э. Циолковского, 1982. 496 с.
5. Контроль точечной и роликовой электросварки / Б. Д. Орлов, П. Л. Чулошников, В. Б. Верденский, А. Л. Марченко. М.: Машиностроение, 1973. 304 с.
6. Алхасов Р. М., Дышекова А. Х., Кармоков А. М. Влияние магнитного поля и электрического тока на движение частиц в жидких проводниках // Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии. г. Лермонтов: СевКавГТУ, 2005. 368 с.
7. Малай Н. В., Плесканев А. А., Щукин Е. Р. К вопросу о влиянии внутреннего тепловыделения на движение нагретой твердой частицы в вязкой жидкости // Журнал технической физики. 2006. Том 76. Вып. 3. С. 25—29.
8. Половин Р. В., Черкасов К. П. Магнитогиродинамические волны // Успехи физических наук. 1966. Т. 88. Вып. 4. С. 593—617.
9. Меньшиков Г. А. Разработка технологических основ точечной контактной сварки крупногабаритных изделий: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2006. 362 с.
10. Справочник по расчету и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов / Н. М. Адоньев, В. В. Афанасьев, В. В. Борисов и др. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 384 с.
11. Кочергин К. А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987. 240 с.
12. Трохин Г. А., Трохинская Н. М. О связи тепловых и гидродинамических процессов в ванне при сварке непрерывно горячей дугой тонколистовых материалов // Сварочное производство. 1983. № 4. С. 4—6.
13. Болдырев А. М., Толоконников Н. П., Дорофеев Э. Б. К вопросу о возможности получения устойчивого реверсируемого движения расплава в сварочной ванне при электромагнитном перемешивании // Сварочное производство. 1975. № 11. С. 3—5.
14. Попов В. А. Влияние магнитного поля на формирование соединения при контактной точечной сварке // Сварочное производство. 1992. № 10. С. 28—30.
15. Кузнецов В. Д., Черныш В. П. Выбор параметров режима электромагнитного перемешивания по критериям качества сварных соединений // Сварочное производство. 1975. № 1. С. 1—2.
16. Дудко Д. А., Компан Я. Ю., Щербинин Э. В. К вопросу о физической природе движения расплава при электрошлаковом процессе // Сварочное производство. 1990. № 6. С. 38—39.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.791.753.5.048

**Ю. С. ВОЛОБУЕВ, канд. техн. наук, Н. Н. ПОТАПОВ, д-р техн. наук,
Е. Г. СТАРЧЕНКО, канд. техн. наук, О. С. ВОЛОБУЕВ, инж.
ОАО "НПО "ЦНИИТМАШ"**

Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности

Ситуация в области производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности за последние 15 лет практически не изменилась. Перестройка не вызвала кардинальных изменений в этом сегменте экономики, не увеличились инвестиции на расширение и совершенствование составов и технологий изготовления сварочных флюсов, а напротив, многие производства флюсов в результате общего промышленного спада и соответствующего снижения потребности в сварочных флюсах, а также смены форм собственности сначала снизили объемы производства, а затем некоторые из них были закрыты. В том числе, например, был закрыт и один из лучших современных высокотехнологичных цехов в РФ по производству специальных флюсов для атомного и энергетического машиностроения на ЭМК "Атоммаш" в Волгодонске.

Но российская промышленность, по-прежнему, использует в производстве сварочные флюсы, и необходимость в них, особенно в последнее время, растет. Ориентировочная потребность в настоящее время составляет порядка 20—30 тыс. т сварочных флюсов в год. Их основными потребителями являются трубные заводы, предприятия машиностроительного и нефтегазового комплекса, судостроительные заводы и другие предприятия отечественной промышленности. В настоящее время наиболее широко в отечественной промышленности используют плавные флюсы.

Предприятия МПС России потребляют около 3000 т флюсов в год. Только ОАО "Северсталь" ежегодно использует более 600 т сварочных флюсов. Потребность Волжского трубного завода составляет около 3000 т.

После распада Советского Союза основные производители сварочных плавных флюсов оказались за пределами Российской Федерации. Имеющиеся производственные мощности указанных флюсов не в состоянии удовлетворить потребности отечественной промышленности. В связи с этим основная масса используемых сварочных флюсов закупается за границей, преимущественно

но в Украине. Только Запорожский завод сварочных флюсов поставляет на российский рынок порядка 6—10 тыс. т флюсов ежегодно. Из отечественных предприятий, которые производят плавные флюсы, можно выделить следующие: ООО "Ижорские сварочные материалы" (3 печи по 500 кг); ОАО "Севмашпредприятие" (3 печи по 500 кг); ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" (в настоящее время свернул производство плавных флюсов); ОАО "Красный котельщик" (2 печи по 100 кг).

В последние годы значительно активизировалось проникновение на отечественный рынок керамических (агломерированных) флюсов западного, в основном шведского, производства. Эти флюсы по сравнению с плавными обладают более высокими сварочно-технологическими и металлургическими характеристиками.

В целом состояние дел в области сварочных флюсов в настоящее время характеризуется высокой зависимостью от их поставки из-за рубежа, ориентацией на использование устаревших плавных флюсов, а также нарастающим отставанием от современного мирового уровня сварочных технологий.

Для предотвращения все большего отставания производства сварочных флюсов от западных конкурентов необходимо создание отечественных производственных мощностей по изготовлению современных сварочных флюсов.

Несмотря на то, что плавные флюсы еще долгое время будут находить широкое применение в отечественной промышленности, в особенности из-за ссылок на них в нормативной документации, создавать новые или расширять существующие производства плавных флюсов нецелесообразно и бесперспективно, так как их производство связано с большими энергетическими затратами и экологическими проблемами. Кроме того, с металлургической точки зрения керамические флюсы открывают новые перспективы при изготовлении ответственных конструкций, например, при изготовлении оборудования и трубопроводов, работающих в условиях

Крайнего Севера. Поэтому при решении вопроса о создании производственных мощностей по изготовлению сварочных флюсов необходимо ориентироваться на керамические (агломерированные) флюсы.

Основные преимущества керамических флюсов заключаются в следующем:

- производство керамических флюсов является практически безотходным технологическим процессом, оно экологически значительно чище в результате минимизации выбросов в атмосферу;

- энергетические затраты при производстве керамических флюсов в 4—5 раз ниже по сравнению с плавными флюсами;

- возможности введения в состав керамических флюсов легирующих добавок позволяют создавать корректирующие составы флюсов, улучшающих наплавленный металл при использовании стандартных сварочных материалов и за счет этого получать высококачественные сварные соединения со специальными свойствами, а в ряде случаев отказаться от изготовления дорогостоящих специальных сварочных проволок как сплошного сечения, так и порошковых;

- возможность модифицирующего влияния керамического флюса на структуру металла сварного шва позволяет получать его мелкозернистую структуру, а соответственно, и более высокую пластичность металла шва, в том числе при низких температурах;

- сварочно-технологические характеристики керамических флюсов существенно выше по сравнению с плавными;

- технология изготовления керамических флюсов позволяет использовать отходы ряда производств;

- технологические возможности позволяют изготавливать флюсы с высокой основностью, что в ряде случаев невозможно при изготовлении плавных флюсов из-за их повышенной склонности к гидратации;

- возможность изготовления керамических флюсов с более низкой насыпной плотностью по сравнению с плавными, что особенно важно при сварке на повышенных скоростях, например при многодуговой сварке труб;

- расход керамического флюса на единицу наплавленного металла существенно ниже по сравнению с плавными (на 30—40 %).

Развитие в России производства керамических флюсов обусловлено тем, что мировой опыт в области сварки в настоящее время ориентирован исключительно на использование керамических (агломерированных) флюсов. В отечественной промышленности керамические флюсы до настоящего времени не нашли широкого применения прежде всего из-за отсутствия производственных мощностей по их выпуску в достаточном количестве, а также из-за отсутствия разработанных высокотехнологичных марок керамических флюсов, допущенных к применению нормативными документами. Среди немногих производителей керамических флюсов в РФ можно назвать ОАО "НПО "ЦНИИТМАШ", которое является разработчиком и производителем малых партий специальных флюсов для сварки и наплавки в атомном и энергетическом машиностроении, ООО "Спецфлюсмаш", выпускающее самую широ-

кую гамму флюсов, используемых как для сварки, так и наплавки (более 10 марок, в том числе и для сварки оборудования, эксплуатируемого при низких температурах — ФКС-37, ФКС-39 и др.), НПО "Прометей", специализирующееся по выпуску флюсов для судостроения, ООО "Спецсвармет", выпускающее флюсы преимущественно для наплавки на предприятиях РЖД и др. Самым крупным производителем керамических флюсов в РФ в настоящее время является ОАО "ЧТПЗ", организовавшее производство керамического флюса для сварки труб. Общая производственная мощность перечисленных предприятий составляет не более 7—8 тыс. т в год, что явно недостаточно для отечественной промышленности. Поэтому российские потребители сварочных флюсов, по-прежнему, используют преимущественно плавные флюсы, такие как ОСЦ-45, АН-348, АН-47, АНЦ-1, АН-60, АН-67, АН-67Б, АН-26 и др., поставка которых осуществляется из Украины, что связано с определенными трудностями, а также экономически нецелесообразно для России. Имеющиеся производственные мощности плавных флюсов в России, а тем более керамических, явно не в состоянии удовлетворить потребность отечественной промышленности в сварочных флюсах.

Образовавшуюся нишу на российском рынке сварочных материалов в последнее время успешно заполняют западные поставщики сварочных флюсов, такие фирмы как ESAB, BOHLER, SANDVIK, LINCOLN, OERLICON и др. Это касается прежде всего керамических флюсов для сварки труб, которые выгодно отличаются по своим сварочно-технологическим и металлургическим характеристикам от плавных. Все вышесказанное свидетельствует о необходимости кардинальных инновационных решений в области совершенствования производства сварочных флюсов для нужд отечественных предприятий. Это касается, конечно, не только производства сварочных материалов, но и в целом всей сварочной отрасли.

Создание производственной базы по изготовлению керамических флюсов возможно в двух направлениях:

- организация нескольких мощных производственных баз по типу западных, например фирмы ESAB, с единым исследовательским центром, обеспечивающих отечественную промышленность всем комплексом высококачественных, сертифицированных сварочных материалов, изготавливаемых по единым стандартам;

- организация производств небольшой мощности (300—700 т/год) непосредственно на предприятиях-потребителях сварочных флюсов, изготавливающих две-три марки флюса для своих нужд по единым стандартам.

Реализация предлагаемых мер позволит создать в РФ производственные мощности по выпуску высококачественных керамических флюсов нового поколения, что позволит поднять на новый уровень качество сварных конструкций и их эксплуатационную надежность, а также значительно повысить конкурентоспособность отечественного производителя сварных металлоконструкций, особенно ответственного назначения (заводы атомного и энергетического машиностроения, оборонные предприятия, машиностроительные заводы нефтегазового комплекса, трубные заводы, предприятия транспортного и сельско-

хозяйственного машиностроения и др.) и защитить российский рынок от экспансии зарубежных фирм. Актуальность поставленного вопроса повышается в связи с постоянным ростом потребления сварочных флюсов отечественной промышленностью.

Вместе с тем следует отметить, что создание производственных мощностей по выпуску керамических флюсов не решает проблему повышения качества и надежности изготавливаемого оборудования. Необходимо в первую очередь создать перспективные составы высокотехнологичных флюсов для сварки-наплавки, а также разработать новые технологические процессы и оборудование для их реализации.

Особо следует подчеркнуть необходимость создания высококачественных сварочных материалов для нужд предприятий, изготавливающих высокотехнологичное ответственное оборудование, обеспечивающее жизнедеятельность и безопасность страны. И прежде всего это касается оборудования для атомных и тепловых станций и нефтехимического комплекса.

Эксплуатационная надежность и безопасность оборудования АЭС в определяющей степени зависит от качества выполненных сварных швов при изготовлении указанного оборудования. В свою очередь механические характеристики и качество сварного шва определяются правильным выбором сварочных материалов, в частности, флюса и проволоки и технологии их применения. Поэтому получение сварных швов с более высокими механическими характеристиками и низким содержанием вредных примесей, таких, например, как медь, сера, фосфор и др., является одной из важнейших задач при разработке новых сварочных материалов.

Проблема повышения качества и эксплуатационной надежности атомного энергетического оборудования требует комплексного подхода для решения указанных задач. При совершенствовании существующего оборудования и разработке реакторов нового поколения необходимо параллельное проведение исследований не только по разработке новых сталей, но также сварочных материалов и технологий их изготовления и применения, обеспечивающих высокую надежность энергетического оборудования.

Успешное решение указанных задач позволит получить качественно новый уровень сварных конструкций и обеспечить повышение их надежности при эксплуатации в особо сложных условиях.

Мировой и отечественный опыт в области разработки сварочных материалов для аналогичного оборудования позволяет определить основные направления проводимых исследований.

Новые сварочные материалы и технология их применения должны обеспечивать следующие свойства сварного шва и сварного соединения:

- низкое содержание вредных примесей серы и фосфора и др. в металле сварного шва, что достигается за счет как низкого содержания указанных примесей в сварочной проволоке, так и рафинирующих свойств самого флюса, что в свою очередь обеспечивается физико-химическими характеристиками сварочного флюса;

- низкое содержание газов в металле сварного шва и его высокую чистоту по неметаллическим включениям эндогенного и экзогенного происхождения, что также обеспечивается оптимальным сочетанием состава сварочной проволоки и флюса за счет достижения, по возможности, равновесного состояния в системе сварочная ванна—электродная проволока—керамический флюс, а также за счет оптимизации физических свойств керамического флюса (поверхностное и межфазное натяжение, вязкость, плотность), обеспечивающих очищение границ зерен кристаллизующегося металла;

- мелкозернистую структуру металла шва, которая достигается модифицирующим влиянием керамического флюса при введении в его состав микродобавок компонентов-модификаторов, измельчающих структуру металла шва, а также за счет технологии сварки, оказывающей оптимальное термическое воздействие на металл сварного соединения.

Особо важная роль при решении перечисленных проблем отводится сварочному флюсу. В настоящее время в отечественном атомном машиностроении используют только плавные флюсы, которые в ряде случаев не отвечают современному уровню требований, предъявляемых к изготовлению ответственного оборудования.

За последние годы в ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ»» накоплен значительный опыт в области разработки и применения как плавных, так и керамических флюсов в различных отраслях промышленности. Плавные флюсы ФЦ-11, ФЦ-16, ФЦ-17, ФЦ-18, ФЦ-19, ФЦ-21, ФЦ-22 успешно внедрены при изготовлении оборудования АЭС. Создана серия керамических флюсов (ФЦК-23, ФЦК-27, ФЦК-28, ФЦК-29, ФЦК-30, ФКН-5, ФКН-6, ФКЛ-2) для сварки и наплавки сталей различного класса, в том числе и для атомного машиностроения. Разработаны новые технологичные керамические флюсы с высокой основностью ФКС-37, ФКС-39, обеспечивающие низкое содержание кислорода в наплавленном металле и высокие механические характеристики при сварке в сочетании с низколегированными сварочными проволоками. Завершается разработка керамического флюса общего назначения для сварки-наплавки взамен плавных флюсов, таких как АН-348А, ОСЦ-45, АН-47, АН-42.

Проводятся работы по совершенствованию плавного флюса ФЦ-18, предназначенного для антикоррозионной наплавки реакторного оборудования в электрошлаковом режиме двухленточным электродом и разработке его керамического аналога, а также по разработке керамического флюса для сварки высоколегированных сталей аустенитно-ферритного класса, обеспечивающего процесс саморегулирования содержания ферритной фазы в наплавленном металле.

В ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ»» проводятся исследования по совершенствованию технологии изготовления керамических флюсов, а также модернизации основного технологического оборудования. Среди перспективных направлений в этой области можно выделить следующие:

- разработка флюсов для сварки ответственного оборудования, эксплуатируемого при низких температурах, вплоть до -60°C ;

— разработка специальных рафинирующих керамических флюсов для сварки и наплавки в атомном и энергетическом машиностроении, обеспечивающих особо чистый металл по сере и фосфору;

— разработка серии керамических флюсов для механизированной наплавки уплотнительных поверхностей арматуры различного назначения;

— разработка флюса для износостойких наплавочных горнодобывающего, строительного и дорожного оборудования, позволяющего увеличить межремонтный срок эксплуатации оборудования;

— разработка керамических флюсов общего назначения взамен широко используемых плавящихся флюсов;

— определение новых сырьевых источников для производства керамических флюсов;

— разработка комплекса мероприятий, обеспечивающих снижение исходной концентрации серы и фосфора и других вредных примесей в сырье для производства керамических флюсов;

— разработка технологических приемов, обеспечивающих снижение перехода серы и фосфора в наплавленный металл в процессе выполнения сварных швов;

— разработка серии новых керамических флюсов для сварки оборудования АЭС;

— разработка технологии изготовления нового керамического флюса;

— разработка новых технологических процессов использования керамических флюсов;

— разработка и согласование программы аттестационных испытаний керамического флюса;

— проведение аттестационных испытаний керамического флюса в соответствии с требованиями Ростехнадзора для сварки кольцевых и продольных швов и наплавки корпусного оборудования АЭС;

— разработка нормативно-технической документации на новые керамические флюсы (технические условия и технологические инструкции) и согласование их в установленном порядке.

Необходимо также отметить, что если в области металлургии сварки под флюсом накоплен значительный теоретический и практический опыт, позволяющий с высокой точностью для практических целей оценивать металлургические свойства сварочных флюсов и подбирать составы флюсов для сварки различных материалов в сочетании с определенными сварочными проволоками, то в области прогнозирования сварочно-технологических характеристик флюсов, определяющих такие характеристики, как отделимость шлаковой корки, формирование наплавленного валика в различных пространственных положениях, вероятность образования дефектов и др., которые в свою очередь определяются физико-химическими характеристиками сварочных флюсов (вязкостью, плотностью, межфазным и поверхностным натяжением и т. д.), надежных методов не существует.

Поэтому в этом направлении предстоит проведение фундаментальных исследований, так как сварочно-технологические свойства флюсов наряду с металлургическими

характеристиками могут оказывать решающее влияние на эксплуатационные характеристики сварного соединения.

Кроме перечисленных традиционных задач, которые следует решать для повышения качества сварных конструкций, изготавливаемых сваркой под флюсом, необходимо проводить перспективные исследования по разработке принципиально новых технологических процессов изготовления флюсов нового поколения.

Одним из таких направлений исследований может стать создание принципиально новых технологий изготовления флюсов нового поколения, например, технологии производства термически гранулированных флюсов, получаемых при совмещении процессов плавления (оплавления) или спекания с процессом грануляции, что позволяет исключить технологические операции сушки-прокалки и интенсифицировать процесс изготовления флюсов, уменьшить энергозатраты при их производстве, повысить экологическую безопасность производства, а также существенно улучшить сварочно-технологические и металлургические характеристики флюса. Отсутствие воды в технологическом процессе изготовления флюсов позволит существенно понизить содержание водорода в наплавленном металле и получать более высокий уровень сварочно-технологических и металлургических свойств, а также существенно улучшать эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Таким образом, исследование и разработка флюсов нового поколения, а также оборудования и технологии их изготовления и их внедрение при сварке ответственных конструкций позволит выйти на новый уровень прочностных характеристик сварных соединений, что существенно повысит эксплуатационную надежность и безопасность сварных конструкций.

Важным направлением в области создания новых технологий производства флюсов является использование нанотехнологий при разработке и изготовлении керамических (особенно легирующих) флюсов. Это направление в настоящее время совершенно не исследовано.

Не менее актуальным является также разработка и исследование технологии изготовления керамических флюсов с малой насыпной плотностью, что особенно важно при производстве труб для обеспечения низкой выпуклости сварного шва.

Необходимо также отметить особую важность разработки нормативно-технической документации на керамические флюсы, которая в настоящее время практически отсутствует.

ВЫВОД

В целях повышения эксплуатационной надежности сварных конструкций, предотвращения возможных угроз в связи с высокой зависимостью отечественной промышленности от поставки сварочных материалов, в частности сварочных флюсов, из-за рубежа необходимо принятие срочных инновационных решений по созданию в РФ производств более технологичных и перспективных керамических (агломерированных) флюсов.

Н. МАШРАБОВ, канд. техн. наук
Челябинский государственный аграрный университет

Устройство для подачи вращающейся наплавочной проволоки

Разработано устройство для подачи наплавочной электродной или присадочной проволоки в зону горения электрической дуги (сварочную ванну), может быть использовано при восстановлении изношенных поверхностей цилиндрических деталей, а также при придании поверхности детали особых физико-механических свойств при ее изготовлении.

Принципиальная схема устройства¹ приведена на рис. 1. На валу электродвигателя 1 жестко крепится кассета 2 с запасом проволоки 3. Конец проволоки проходит через центрирующую втулку 4 с отверстием в форме усеченного обратного конуса. За центрирующей втулкой установлены выравнивающие втулки 5, впрессованные во внутренние кольца подшипников качения 6, которые наружным кольцом закреплены в корпусе 7. Коническое отверстие позволяет уменьшить величину усилия прижатия проволоки к втулке 4 в точке m . При такой конструкции давление проволоки от силы ее упругости на втулку 4 более равномерно распределяется на всю ее длину. Втулка впрессована во внутреннее кольцо подшипника качения, который наружным кольцом закреплен в корпусе. При работе устройства проволока, вращаясь, приводит во вращение с той же частотой втулку с внутренним кольцом подшипника и выравнивающие втулки. При этом трение скольжения между втулкой 4 и проволокой заменяется трением качения в подшипнике.

В корпусе проволокоподающего механизма установлены четыре идентичных подающих ролика. Шарикоподшипник 11 напрессован на ось 13, впрессованную в отверстие вилки 12, выполненной в форме цилиндра и размещенной по посадке скольжения в цилиндрическом отверстии корпуса. В торцовую часть вилки упирается пружина 8, постоянно прижимающая шарикоподшипник 11 к проволоке. Степень сжатия пружины регулируют винтом 10 с контргайкой 9. Каждая вилка имеет поводок, входящий в фигурную прорезь диска 16 механизма поворота вилок. Механизм поворота вилок включает в себя диск 16 с четырьмя фигурными вырезами, выполненными по радиусу R . Радиус зависит от конструктивных параметров проволокоподающего механизма: радиус R равен половине расстояния между осями верхней и нижней пар вилок. Ось 17 вращения диска расположена перпендикулярно оси вращения проволоки и симметрично относительно вилок и крепится в корпусе. Винт 18 ввертывается в диск и упирается в корпус, фиксируя тем самым угловое положение диска.

Конец проволоки, пройдя через втулку 4 и выравнивающие втулки 5, зажимается между двумя парами шарикоподшипников 11, выходит из проволокоподающе-

го механизма, проходит через нижние выравнивающие втулки и мундштук 14 наплавочной головки и прижимается к детали 15, где происходит процесс наплавки.

Устройство для подачи вращающейся проволоки работает следующим образом. При включении электродвигателя начинает вращаться кассета с проволокой. Участок проволоки mn выполняет роль поводка, приводящего во вращение проволоку на участке от втулки 4 до детали. Вращающаяся проволока приводит во вращение наружные кольца шарикоподшипников и выравнивающие втулки. Если оси 13 шарикоподшипников параллельны оси вращения проволоки, то протягивающее усилие не создается и механизм подачи проволоки находится в положении "выключено". При повороте диска относительно его оси вращения (вокруг оси O_1) на некоторый угол происходит скольжение поводков вилок по вырезам диска и одновременный поворот вилок в плоскости, параллельной оси вращения проволоки и проходящей через центр O_2 , на определенный угол. Когда оси шарикоподшипников повернуты синхронно на определенный угол относительно оси вращения проволоки в местах контактирования проволоки с наружными кольцами шарикоподшипников возникает протягивающее усилие, способствующее продвижению проволоки вдоль оси в ту или иную сторону в зависимости от знака угла.

Прижатие проволоки с определенным усилием к детали в зоне плавления конца проволоки при ведении процесса наплавки осуществляется следующим образом. При предварительной настройке установки включается вращение проволоки, вилки поворачиваются на определенный угол за счет механизма поворота и в этом положении фиксируются винтом. Величина усилия прижатия проволоки к детали регулируется изменением степени сжатия пружин 8 винтом 10 с контргайкой.

Наплавка детали осуществляется в следующей последовательности. Деталь устанавливается во вращателе под наплавочной установкой и приводится во вращение. Проволока отводится от детали. Механизм поворота устройства ставится в положение "выключено". Включается вращение проволоки. Зажигается электрическая дуга между вольфрамовым электродом и деталью с помощью устройства² [2], и поверхность детали прогревается (разработанная программа расчета³ позволяет для выбранных технологических параметров, теплофизических свойств материала детали и ее геометрических размеров рассчитать время подогрева поверхности детали до заданной температуры). Включается подача проволоки к детали с помощью механизма поворота проволо-

¹ Патент 2266180 (РФ).

² Полезная модель 39850 (U1).

³ Свидетельство о регистрации 2008612210.

коподающего устройства и после наплавки начального валика включается подача наплавочной головки вдоль оси детали. После наплавки всей длины шейки детали выключаются подача наплавочной головки, подача проволоки, электрическая дуга, вращение детали и проволоки.

Скорость подачи проволоки

$$v = \pi d n t g \alpha,$$

где d — диаметр присадочной проволоки; n — частота вращения электродвигателя; α — угол поворота подающих роликов.

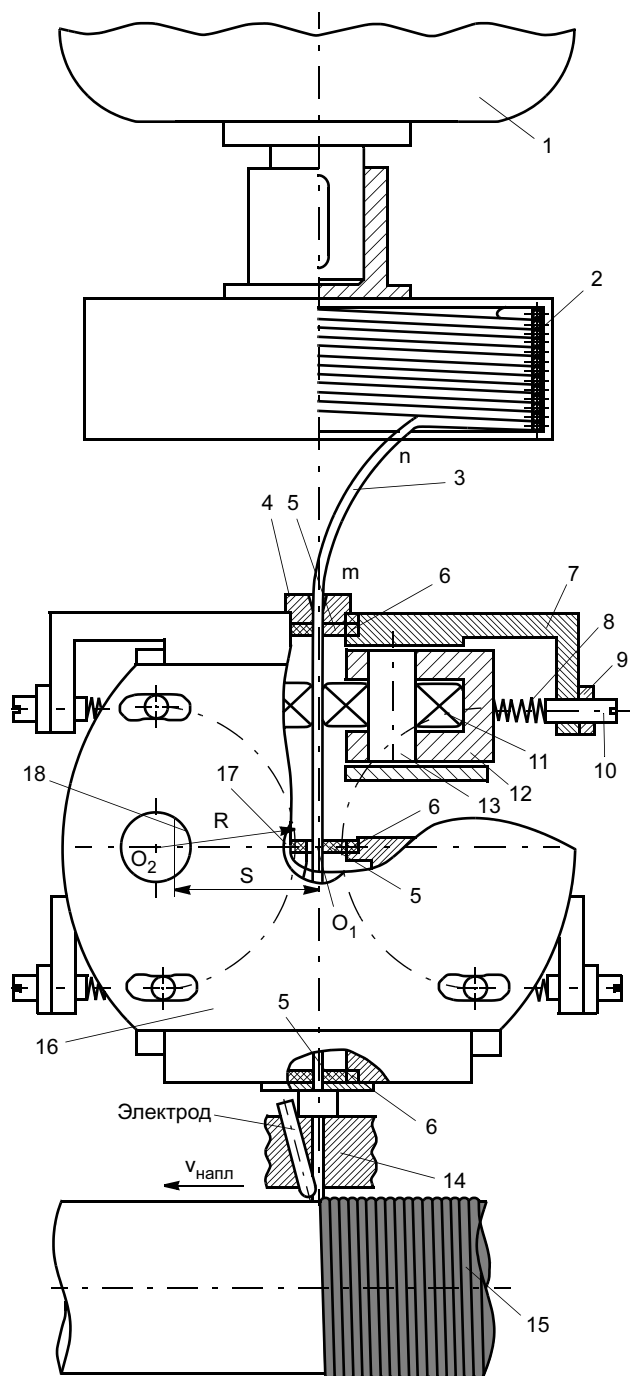


Рис. 1. Схема устройства для подачи наплавочной проволоки

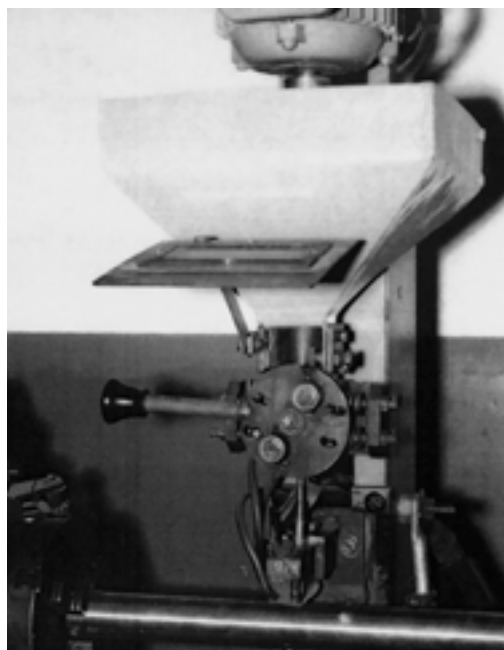


Рис. 2. Общий вид устройства

Для обеспечения бесступенчатого регулирования скорости подачи проволоки необходимы некоторые конструктивные изменения.

Устройство изготовлено в металле (рис. 2), стабильно работает и на нем ведутся исследования процесса высокоскоростной аргонодуговой наплавки⁴. Устройство имеет следующие конструктивные особенности применительно к использованию проволоки диаметром 2 мм: центрирующая втулка длиной 10 мм; диаметр входного отверстия 3,5 мм, выходного — 2 мм; мощность электродвигателя 200 Вт; частота вращения 2800 об/мин; диаметр кассеты 250 мм, диаметр выходного отверстия в точке n 160 мм; ширина кассеты 50 мм; шарикоподшипники № 35—26; диаметр цилиндрической части вилки 20 мм; угол поворота вилок $\alpha = -30 \div 30^\circ$. Вдоль оси проволокоподающего канала расположены три выравнивающие втулки.

Выполнение процесса высокоскоростной аргонодуговой наплавки возможно только с использованием предлагаемого устройства. Устройство обеспечивает повышение производительности по площади поверхности, наплавляемой в единицу времени, в 6—10 раз, снижение энергозатрат на единицу наплавляемой поверхности в 2—3 раза и уменьшение тепловвода в деталь в 2—3 раза по сравнению с обычной аргонодуговой наплавкой. Устройство обеспечивает подачу в зону горения дуги проволоки, вращающейся с частотой до 6000 об/мин, прижатие конца проволоки к детали со стабильным усилием, величину которого можно регулировать, а также равномерную толщину наплавляемого слоя и хорошее сплавление металла присадочной проволоки с металлом детали. Устройство позволяет вести как процесс высокоскоростной аргонодуговой наплавки, так и традиционные процессы сварки и наплавки: под флюсом, в углекислом газе, плазменные и др.

⁴ Патент 2211123, 2215624 (РФ).

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

Сварка линейным трением

Постоянно возрастающие нагрузки, испытываемые конструкцией современных и перспективных изделий разных отраслей машиностроения, требуют использования новых конструкционных материалов со специальными свойствами. Одно из важнейших требований к ним — хорошая свариваемость. Однако новые материалы, получаемые путем сложного легирования и термической обработки, чувствительны к термодформационному циклу сварки плавлением, наиболее широко применяемой в производстве. В связи с этим в последние два десятилетия возрос интерес специалистов разных стран к методу получения неразъемного соединения металлов и сплавов без их расплавления, в частности сварке трением.

Известны [1, 2] разные виды сварки трением. Применение каждого из них обуславливается конструктивными особенностями сварного соединения и изделия. Наиболее широко известен способ сварки трением, при котором тепловая энергия генерируется вращением соединяемых преимущественно осесимметричных деталей (или одной из них) относительно друг друга. В отличие от этого способа сварка линейным трением (или "вибрационная сварка" [1]) предназначена для неразъемного соединения неосесимметричных деталей. Нагрев производится за счет работы сил трения при низкочастотном возвратно-поступательном перемещении соединяемых деталей (или одной из них) относительно друг друга под давлением (рис. 1). При этом поверхности трения нагреваются более равно-

мерно, чем при сварке вращением, при которой окружная скорость, а следовательно, температура нагрева повышается по мере удаления от оси вращения от минимального значения в центре до максимального на периферии. Соответственно, при сварке линейным трением (СЛТ) получают более равномерные структуру и свойства материала в соединении, чем при сварке трением вращением.

Физика процессов сварки линейным трением и трением вращения аналогичны: в результате деформационно-температурного воздействия на контактных поверхностях создаются условия, необходимые для образования металлических связей. Процесс протекает в несколько стадий [2—4] в следующей последовательности:

- в результате сухого трения и нагрева на контактных поверхностях образуются ювенильные участки, увеличивается их площадь и повышается коэффициент трения от 0,25 до 0,55 [4, 5];

- контактные поверхности сближаются до расстояния межатомного взаимодействия, что способствует взаимной диффузии атомов, протеканию других физико-химических процессов (увеличивается количество дислокаций, их плотность, а также число вакансий; измельчается структура, при этом активируется металл в зоне контактных поверхностей, происходит схватывание; образуются металлические связи по всей контактной поверхности);

- с повышением температуры уменьшается упругая и повышается вязкая компонента деформации, особенно при мелкозернистой структуре; снижается сопротивление деформации, материал приближается по свойствам к вязким жидкостям; под действием фрикционного давления пластифицированный материал выдавливается из зоны контактных поверхностей на периферию за пределы этой зоны, образуя грат, выносящий из стыка возможные дефекты;

- после того, как амплитуда колебаний уменьшается до нулевого значения, при котором соединяемые детали занимают заданное положение, производится осадка, окончательно формирующая соединение.

Авторы работы [5] отмечают особую важность начальной стадии процесса, поскольку при этом создаются температурные условия, необходимые для проведения последующих стадий процесса СЛТ. Для определения этих условий авторы выполнили моделирование тепловых и механических процессов: аналитическое — с использованием уравнений теплопроводности твердого тела [6] и численное — методом конечных элементов, а также экспериментальный замер температур на контактной поверхности. Расчет и эксперимент проводили при следующем режиме: частота колебаний 30 Гц; амплитуда 0,92 мм; площадь контактной поверхности 60 мм²; сплав Ti6Al4V.

Показано, что благоприятные для сварки условия создаются, когда контактная поверхность разогревается однородно, что необходимо для обеспечения течения материала поперек всей контактной поверхности. Температура нагрева в середине контактных поверхностей, полученная расчетным и экспериментальным путями [4, 5], составила 900 и 995 °С соответственно.

Авторы работы [4] получили интересные результаты экспериментальных исследований поведения параметров СЛТ на разных стадиях процесса I—III (рис. 2). Варьировали амплитуду (0,92—3,00 мм) и частоту колебания (10—119 Гц). Фиксировали осевое смещение и усилие сдвига в течение всего цикла сварки.

При фрикционном нагреве уменьшается предел текучести материала, что приводит к его пластической деформации, выдавливанию грат и осевому укорочению.

В работе [7] также показано, что сверхпластичность сплава типа Ti6Al4V усиливает пластическое течение при СЛТ. Авторы работы [3] ис-

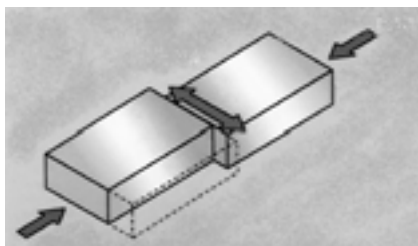


Рис. 1. Схема сварки линейным трением

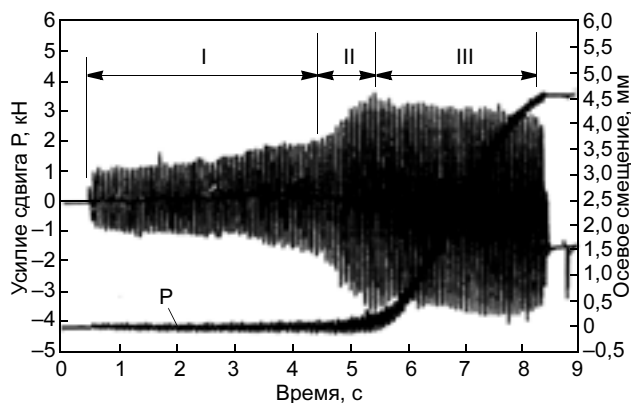


Рис. 2. Зависимость усилия сдвига и осевого смещения от времени [4] (Ti6Al4V, амплитуда колебаний 3 мм, частота 12 Гц, фрикционное давление 42,9 МПа)

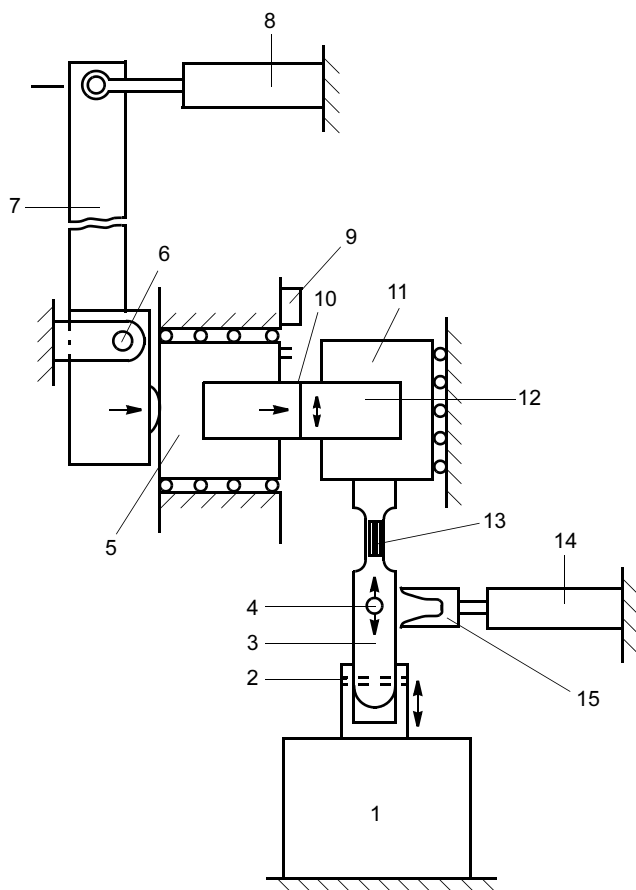


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для СЛТ [9]: 1 — генератор для испытания на усталость; 2 — штифт; 3 — тяга; 4 — установочный штифт; 5 — фиксатор (неподвижный); 6 — ось поворота; 7 — плечо рычага; 8 — пневматический узел для передачи фрикционного и ковочного давления; 9 — выключатель (предохранитель); 10 — стык; 11 — фиксатор (колеблющийся); 12 — стыкуемые образцы; 13 — тензометры; 14 — пневматический узел; 15 — установочная вилка

ходят из того, что существует предел по энергоснабжению, ниже которого невозможно обеспечить получение плотных швов, поскольку при этом на контактной поверхности образуются отдельные горячие пятна, из которых в первую очередь выдавливается пластифицированный материал. При этом формируется прерывистый грат с выступами, свидетельствующий о необходимости повышения энергоснабжения. Авторы рекомендуют для получения плотных швов повышать энергоснабжение путем увеличения частоты колебания. О качественном шве свидетельствует, по данным авторов, однородный непрерывный грат со всех сторон стыка с наибольшей протяженностью его в направлении колебания.

В течение всего цикла СЛТ материал зоны сварки сохраняет твердофазное состояние, чем обусловлен ряд существенных достоинств этого процесса, таких как:

- возможность сварки разнородных материалов, в том числе не свариваемых плавлением. Благодаря этому сочетание материалов и их структура для лопаток и диска могут быть оптимизированы;
- мелкозернистая структура и плотность материала во всех зонах соединения, что способствует получению высоких значений ударной вязкости [4] и усталостных характеристик [8];
- высокая точность сварной конструкции;
- автоматизированный процесс, обеспечивающий высокий уровень контроля процесса и качества соединения;

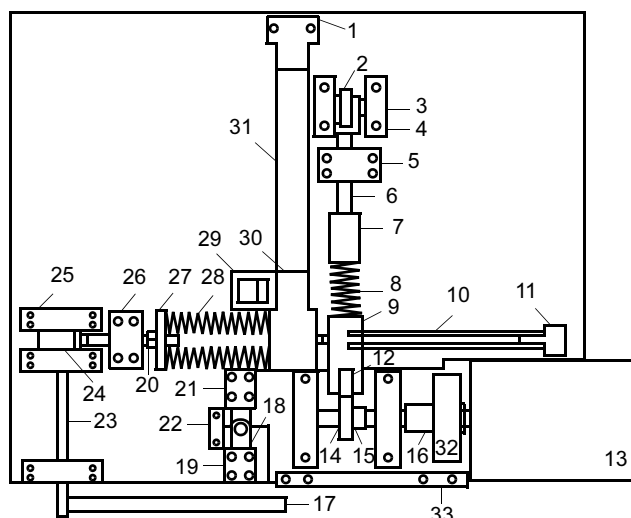


Рис. 4. Схема производственной установки для СЛТ [10]: 1 — узел крепления фиксаторов; 2 — регулятор механизма передаточного рычага; 3 — основной вал; 4 — основные поддерживающие блоки; 5 — блок с ползуном возвратного перемещения; 6 — ползун с тензометром обратной пружины; 7 — локатор; 8 — возвратная пружина; 9 — колеблющийся фиксатор; 10 — параллельные балки; 11 — опора, поддерживающая колеблющийся фиксатор; 12 — кулачковый следящий элемент; 13 — муфта; 14 — вал кулачка; 15 — кулачок; 16 — плечо для приложения осевого усилия; 17 — шарнирный рычаг; 18 — шарнирно-рычажные узлы; 19, 21 — шарнирно-рычажные узлы; 20 — ползун и регулятор осевой пружины; 22 — ограничитель шарнирно-рычажного блока; 23 — вал кулачка, включающего осадку; 24 — устройство для передачи усилияковки; 25 — кулачковый блок; 26 — ползун осевой пружины; 27 — направляющий упор осевой пружины; 28 — осевая пружина; 29 — механизм освобождения фиксатора; 30 — неколеблющийся фиксатор; 31 — балки, параллельные фиксаторам; 32 — маховик; 33 — усиление жесткости плиты двигателя

— отсутствие потребности в сварочном инструменте.

Для реализации процесса СЛТ потребовалось специализированное оборудование с автоматизированным управлением энергетическими и временными параметрами. Однако публикации, преимущественно зарубежные, содержат недостаточно данных об установках для СЛТ. В работе [9] описана установка для сварки пластика, работающая в диапазоне частот 120—240 Гц при амплитуде до 5 мм. На основе опыта, полученного на экспериментальной установке Университета (Бристоль), позволяющей при давлении до 150 МПа, амплитуде до 5 мм и частоте до 25 Гц сваривать образцы с контактной площадью до 120 мм², разработана новая установка [10] с минимальным гистерезисом, способная работать в широком диапазоне частот (10—10 000 Гц) и амплитуд (0,92—5,00 мм). Установка имеет возможность регулирования фрикционного и ковочного давления, отличается высоким ресурсом (10⁷ циклов, т. е. 500 стыков при частоте 1 кГц).

На рис. 3 и 4 приведены схемы экспериментальной установки Университета (Бристоль) [9] и производственной установки [10]. В последней для колебательного движения фиксатора 9 (см. рис. 4) используют дисковый кулачок 16 с синусоидальными выступами, вращающийся от электродвигателя. Набор сменных кулачков с разным числом и высотой выступов позволяет регулировать амплитуду и частоту колебания. Для возвратного движения и прижатия фиксатора с деталью к кулачку 16 используют возвратную пружину высокого сжатия 8. Установка оснащена аппаратурой измерения температуры, усилий и других параметров.

В Британском институте сварки (TWI) работает недорогая установка для СЛТ — LinFric (рис. 5, а), разработанная в рамках европейского проекта "Craft LinFric" [11] и использующая концепцию накопления энергии. Установка имеет гидравлический привод, подобный применяемому в машинах для испытания на усталость, с быстрой передачей энергии в гидравлические аккумуляторы. Габаритные размеры установки позволяют сваривать блиски.

Фирма MTS System Corp. — производитель авиационных двигателей —

сообщает об установке для СЛТ, действующей с 1992 г. до настоящего времени [12]. Установка (рис. 5, б), использующая MTS-технологии, разработана для соединения полых титановых лопаток с ротором вентилятора первой ступени компании Pratt & Whitney (F119), а также сварки различных автомобильных конструкций, соединений пластиковых труб и др. В установке используют технические решения, имеющиеся в MTS-машинах для усталостных испытаний: гидравлические следящие системы приводов; интегральные датчики, система контроля и сбора информации и др. Характеристики установок MTS/СЛТ [11]: усилие до 40 000 кН, частота колебания до 250 Гц с амплитудой до ±4,0 мм, допуск на позиционирование менее 0,25 мм.

Фирма Thompson (Англия) — производитель оборудования для сварки трением — в июне 2008 г. начала работу по проектированию и производству широкого спектра установок для СЛТ [13]. Первой установкой будет модель E100, которая, по утверждению коммерческого директора компании А. Шилтона, позволит соединять обширный диапазон типов деталей как для аэрокосмического сектора, так и нефтяной, газовой и энергетической отраслей промышленности.

При любой технологической схеме процесса СЛТ основными функциональными блоками в комплексе оборудования являются:

— генератор линейных (или угловых) колебаний подвижного элемента в паре трения;

— силовой блок для воздействия на стык усилий трения и осадки;

— устройства жесткой фиксации и точного позиционирования соединяемых элементов с учетом их рабочих движений в условиях ограниченного доступа к зоне сварки;

— система контроля параметров и управления процессом;

— газозащитные устройства (при сварке активных металлов).

В 2001 г. TWI начал работы по групповому проекту [14] для изготовителей и ремонтных производств в области энергетики, авиастроения и промышленных газовых турбин из стали и сплавов на основе титана и никеля, а также из других материалов.

В числе первых преимуществами и техническими возможностями про-

цесса СЛТ воспользовались крупные зарубежные фирмы Rolls-Royce, Pratt & Whitney, MTU Aero Engine, General Electric для решения таких острых проблем, как создание производственных технологий изготовления и ремонта блисков — целиковых рабочих колес, включающих диск с лопатками (рис. 6) — компрессоров и турбин двигателей.

В настоящее время наблюдается растущий спрос рынка на блиски [15], которые используют в тяжелонагруженных компрессорах в военных, а также гражданских газотурбинных авиационных двигателях. Прогноз по рынку блисков приведен на рис. 7. Столь стремительный рост спроса на

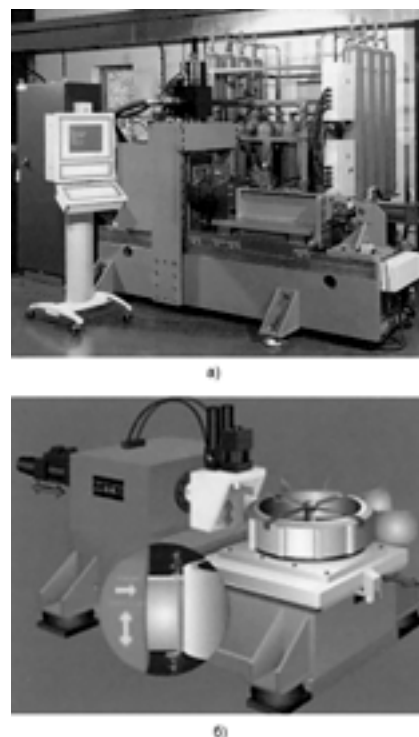


Рис. 5. Установки для СЛТ: а — LinFric®; б — MTS Systems Corporation



Рис. 6. Сварной блиск компрессора

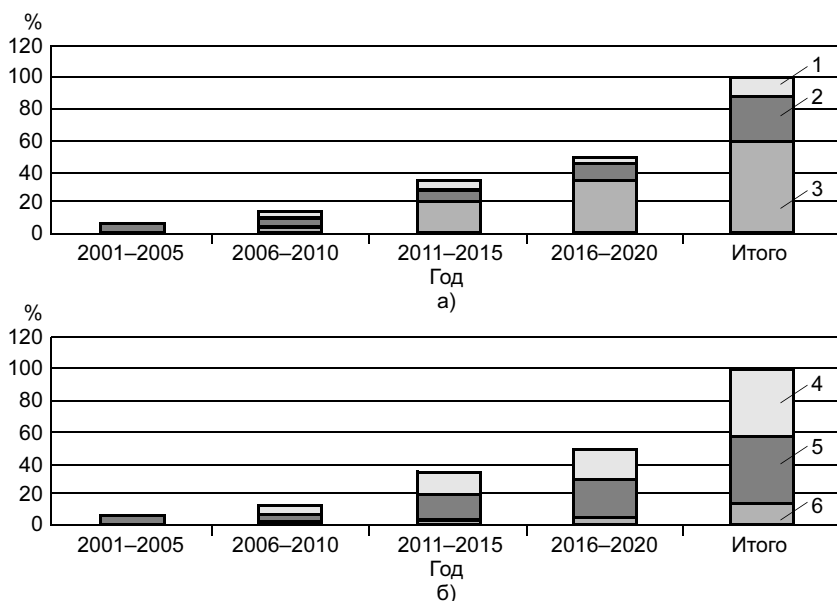


Рис. 7. Прогноз по объему изготовления и ремонта блисков на 2001–2020 гг. (а) и основные процессы профилирования лопатки (б): 1 — Европейский союз (военные); 2 — США (военные); 3 — блиски (гражданские); 4 — электрохимическая обработка; 5 — высокоскоростное фрезерование; 6 — СЛТ

блиски, несмотря на усложнение ремонтных работ по замене изношенных лопаток в блиске по сравнению с заменой лопаток при их разъемном соединении с диском, объясняется резким повышением ресурса двигателя и технико-экономических показателей производства блисков. Необходимость решения проблемы ремонта и стала толчком к разработке технологии СЛТ блиска.

Применение СЛТ в производстве блисков позволило получить ряд важных преимуществ:

- исключение механического соединения лопаток с диском. Это существенно повышает ресурс [8] и снижает массу блиска на 20 %, что способствует уменьшению размеров и массы сопряженных с ними деталей;

- производство блисков большого диаметра не требует штамповки крупных заготовок;

- после приварки лопатки сложной конструкции производится только минимальная финишная механическая обработка в корневой части с точностью расположения аэродинамического профиля и углового положения лопатки не более 0,2 мм и 0,2° соответственно [16];

- новая технология восстановления дефектных и изношенных лопаток существенно повышает срок службы двигателей;

- снижение стоимости производства и ресурса двигателей.

Компания MTU Group в настоящее время производит блиски для двигателей PW6000, TP400, EJ200, F119 [17]. На рис. 8 приведены штампованная лопатка и заготовка диска, подготовленные к СЛТ. Хорошо видны контактные площадки на выступах диска и в основании лопатки, служащие поверхностями трения друг с другом при СЛТ.



Рис. 8. Лопатки (а), полученные точной штамповкой, и диск с выступами (б) для соединения с лопатками

Геометрия контактных поверхностей пары трения существенно влияет на качество соединения. Специалисты продолжают работы по совершенствованию геометрии выступов и поверхности трения. В некоторых патентах содержатся следующие предложения:

- контактные поверхности в паре трения диск—лопатка должны быть по геометрии адекватны друг другу — совмещаться (рис. 9, а)¹;

- предпочтительны колебания при СЛТ в тангенциальном относительно окружности диска направлении²;

- контактные поверхности диска и лопатки должны содержать два или более плоских участка, линии пересечения которых должны быть параллельны направлению колебания (рис. 9, б)³;

- для более интенсивного фрикционного нагрева за счет увеличения поверхности трения взаимно согласованные по геометрии контактные поверхности диска и лопатки имеют форму клина, стороны которого снабжены пазами на диске и согласованными с ними по форме выступами на лопатке (рис. 9, в)⁴.

Предлагаются различные устройства для генерации колебательного движения при СЛТ лопаток с диском⁵; конструкторские решения по закреплению (рис. 10) и фиксации подвижной детали (преимущественно, лопатки)⁶; способы обеспечения более полного контакта поверхностей трения лопатки и диска при их взаимном колебании^{4, 7}, а также способ защиты от повреждения краев выступа при колебании⁸. Фирма Rolls Royce запатентовала способ восстановления аэродинамического профиля пера лопатки заменой лопатки или ее поврежденной части⁹. Китайский Северо-западный политехнический университет получил патент на способ¹⁰ СЛТ алюминия со сталью,

¹ Патент 6095402/200 (US).

² Патент 2005/0006440 (US).

³ Патент 7125227/2006 (US).

⁴ Патент 2271816/2004 (GB).

⁵ Патент 323490/2002 (EP), 10260465/2004 (DE).

⁶ Патент 213088/2001, 0624418/1997, 0404531/1993 (EP).

⁷ Патент 6219916/2001 (US).

⁸ Патент 5865364/1996 (US).

⁹ Патент 1604770/2005 (EP).

¹⁰ Патент 101020275/2007 (CN).

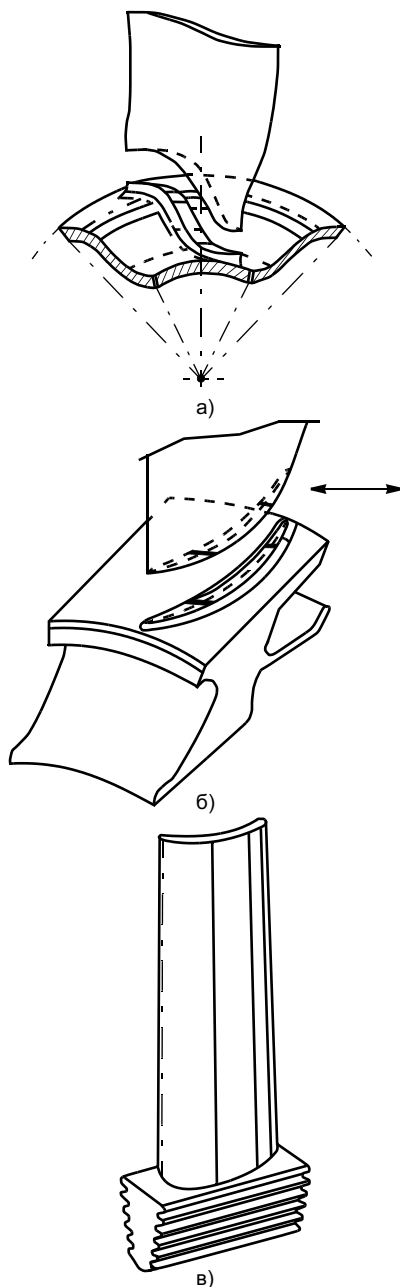


Рис. 9. Геометрия контактной поверхности пары трения диск — лопатка

включающий циклограмму и предельные значения энергетических и временных параметров процесса. Для защиты нагреваемого при сварке металла от воздействия воздуха специалисты компании MTU Motoren und Turbinen — union предложили способ защиты потоком аргона и газозащитное устройство¹¹ для СЛТ лопатки с диском из титанового сплава (рис. 11).

¹¹ Патент 0937531/1998 (EP).

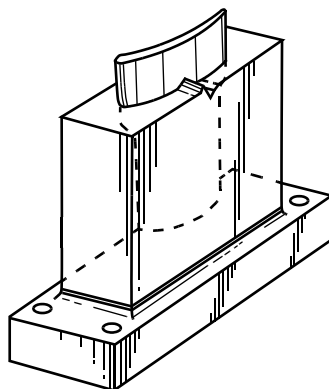


Рис. 10. Схема закрепления лопатки в держателе

Безусловными лидерами по числу изобретений являются компании Rolls Royce, United Technologies Co, MTU Aero Engine.

Анализ научно-технической литературы показывает, что наибольшее развитие получила технология СЛТ для производства больших и средних блисков [17]. Компания MTU Group поставляет блиски для компрессоров авиадвигателей современных военных и гражданских самолетов (рис. 12).

Процесс СЛТ находит промышленное применение и в других областях техники кроме двигателестроения. Известны разработки данного процесса в самолетостроении. Специалисты фирмы Boeing предложили¹² формировать конструктивно сложный узел соединением СЛТ его элементов, одного или последовательно нескольких, с базовой деталью. При этом исключается трудоемкость механической обработки крупногабаритных заготовок.

Предлагаются способы получения конструкций транспортных средств из разных материалов с использованием СЛТ стыков ободов колес¹³, для приварки полки к ребрам тормозной колодки¹⁴.

¹² Патент 2005/0127140, 2007/0090155 (US).

¹³ Патент 97/13814 (PCT/US).

¹⁴ Патент 6237834 (US).

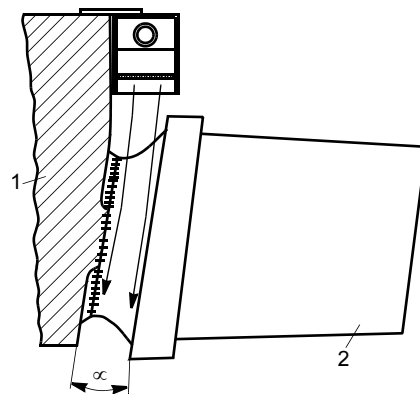


Рис. 11. Схема газозащитного устройства для СЛТ лопатки 2 с диском 1 из титановых сплавов

Процесс СЛТ применяют для соединения деталей из термопластиков [18, 19].

По мнению TWI [20], перспектива промышленного применения процесса СЛТ — производство плоскостных шарнирных цепей, зубчатых колес, медных шин электробуса и других изделий. Для более широкого применения процесса необходимо снижение стоимости оборудования.

В заключение можно отметить, что применение процесса СЛТ в производстве ответственных изделий (двигателей гражданских и военных самолетов) стало возможным благо-



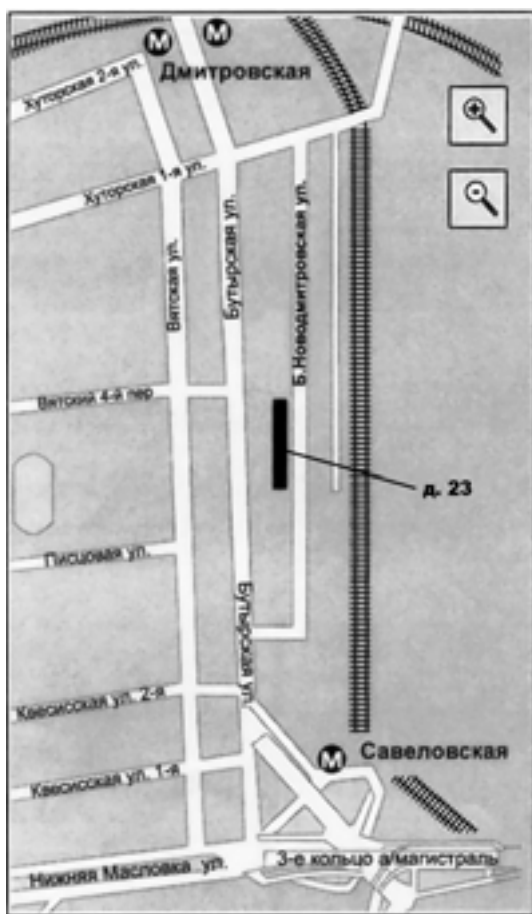
Рис. 12. Самолеты (а) и их авиадвигатели (б), в которых используются блиски, поставляемые MTU Group: 1 — Airbus; 2 — европейский истребитель; 3 — турбовинтовой самолет

даря высокой степени воспроизводимости параметров процесса и качества соединения. Уникальные технические возможности процесса СЛТ позволяют проектировщикам, а также производственным и ремонтным предприятиям использовать его (часто как безальтернативный процесс) для сварки ответственных соединений конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сварка в машиностроении. М.: Машиностроение, 1978. С. 387—400.
2. Вилль В. И. Сварка металлов трением. М.: Машиностроение, 1970. 169 с.
3. Vairis A., Frost M. On the extrusion stage of linear friction welding of Ti6Al4V // Materials Science and Engineering. 1999. A271. P. 477—484.
4. Vairis A., Frost M. High frequency linear friction welding of a titanium alloy // Wear 217. 1998. P. 117—131.
5. Vairis A., Frost M. Modeling the linear friction welding of titanium Blocks // Material Science and Engineering. 2000. A292. P. 8—17.
6. Карслоу Г. С., Егер Д. К. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 560 с.
7. Vairis A. Superplasticity effects and strain rate dependency in a material joining process // Journal of Engineering Science and technology. 2008. Review 1. P. 4—8.
8. Wilhelm H., Furlan R., Moloney K. C. Linear friction bonding of titanium alloys for aero engine application // Proceedings 8th World titanium conference. Birmingham. 1995. October.
9. Stokes V. K. Vibration welding of thermoplastics. Part 1. Phenomenology of the welding process // Polymer engineering and science. 1998. N 28 (11). P. 718—727.
10. Vairis A., Frost M. Design and Commissioning of a Friction Welding Machine // Materials and Manufacturing Processes. 2006. Vol. 21. P. 766—773.
11. LinFric® Consortium: www.linfric.com. 2005. Июнь.
12. www.mts.com/aesd/aerospace_engine.
13. www.manufacturingtalk.com/news/tmp/tmp123.
14. Linear friction welding of blisks for power generation // TWI Ltd, 2001 // www.twi.co.uk.
15. Bußmann M., Kraus J., Bayer E. An Integrated Cost-Effective Approach to Blisk Manufacturing // www.mtu.de/en/technologies/engineering_news/071106_eberlein.pdf (MTU Aero Engines. Germany. Munich).
16. Nunn M. E. Aero engine improvements through linear friction welding // 1st International Conference on Innovation and Integration in Aerospace Sciences. Queen's University Belfast, Northern Ireland, UK. 2005. August.
17. Bußmann M., Bayer E. Market-oriented blisk manufacturing. A challenge for production engineering // www.mtu.de (MTU Aero Engines GmbH).
18. Thermoplastics friction welding process // www.twiprosessional.com/content/jk59.
19. Friction welding, thermoplastics technic // www.en.wikipedia.org/wiki/friction_welding.
20. Wanjara P., Jahazi M. Linear friction welding of Ti—6Al—4V: Processing, microstructure, and mechanical-property inter-relationships // Metallurgy and Material transactions. 2005. Vol. 36A. N 8. P. 2149.

Вниманию читателей!



**Информируем Вас
о новых адресах и телефонах журнала:**

**Издательский центр
"Технология машиностроения":**

Http://www.ic-tm.ru
E-mail: ic@ic-tm.ru

**Адрес редакции журнала
"Сварочное производство":**

127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 23.

Телефоны: (495) **796 2491** — главный редактор;
(495) **748 0142** — редакция.

Факс: (495) **748 0142**.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01.

Бухгалтерия:

8 910 414 9184.

E-mail: svarka@ic-tm.ru

УДК 621.791.338.45

В. А. ДУБРОВСКИЙ, д-р техн. наук, В. В. ЗЕЗЮЛЯ, инж., И. В. СТОЛЯРОВ, инж.
НПП "Велд" (Калуга)

Расчет прямых затрат на электроконтактную наварку проволокой оплавлением

В последние годы электроконтактная наварка проволокой оплавлением (ЭКНПО) находит все более широкое применение в промышленности и занимает достойное место среди других ранее известных способов восстановления изношенных деталей [1—7]. Однако в отличие от традиционных технологий ремонта [8, 9] отсутствуют методики расчета прямых затрат (штучного времени и расхода проволоки) на наварку изношенных деталей при ЭКНПО.

В данной работе приведена методика расчета штучного времени и расхода проволоки на ЭКНПО деталей машин и механизмов, применяемая многие годы в НПП "Велд". Наварку образцов и деталей производили на установке УЭН-01 [10].

На рис. 1 приведена деталь, имеющая износ (обнижение) $\Delta_{\text{изн}}$, которую необходимо восстановить до определенного чертежного размера D_1 .

Штучное время включает основное, вспомогательное, а также время на обслуживание рабочего места и регламентированные перерывы. Технологию ЭКНПО применяют для наварки единичных и небольших серий деталей, поэтому штучное время необходимо определять с

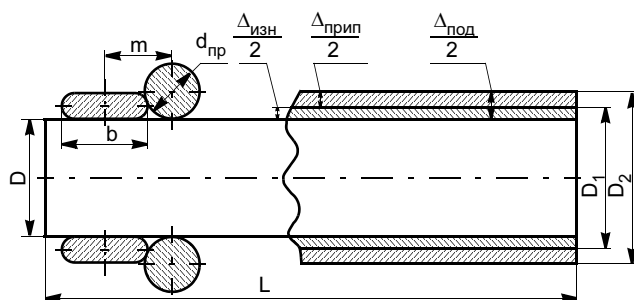


Рис. 1. Деталь, восстанавливаемая ЭКНПО (D — диаметр изношенной детали, мм; D_1 — номинальный (чертежный) диаметр детали, мм; D_2 — диаметр детали после наварки, мм; b — ширина наваренного валика (как правило, равна ширине электрода), мм; $\Delta_{\text{под}}$ — необходимая величина подъема навариваемого металла, мм; $\Delta_{\text{прип}}$ — припуск наваренного металла на механическую обработку, мм; L — длина наварки в один проход, мм; $\Delta_{\text{изн}}$ — износ детали, мм; m — шаг наварки, мм)

учетом подготовительно-заключительного времени и рассчитывать как штучно-калькуляционное [8, 9]:

$$t_{\text{шт.к}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{п}} + \frac{t_{\text{п.з}}}{N}, \quad (1)$$

где $t_{\text{осн}}$ — основное время; $t_{\text{всп}}$ — вспомогательное время; $t_{\text{обс}}$ — время на обслуживание рабочего места; $t_{\text{п}}$ — время на регламентированные перерывы; $t_{\text{п.з}}$ — подготовительно-заключительное время при ЭКНПО, затрачиваемое на инструктаж, получение задания, подготовку машины, установку и регулирование режимов наварки, сдачу работы и др.; N — число восстанавливаемых деталей в партии.

Учитывая сложность выделения составляющих формулы (1), предлагается принимать суммарную величину $t_{\text{всп}}$, $t_{\text{обс}}$, $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{п.з}}/N$ в долевом отношении от основного времени и определять по следующей формуле:

$$t_{\text{шт.к}} = t_{\text{осн}} + E t_{\text{осн}} = (1 + E) t_{\text{осн}}, \quad (2)$$

где E — коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное и вспомогательное время, а также время обслуживания рабочего места, время на отдых и личные надобности (табл. 1).

Основное время на ЭКНПО деталей машин и механизмов предназначено непосредственно для наварки слоя металла на деталь, которое при двухэлектродной наварке проволокой предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$t_{\text{осн}} = \frac{1}{n} \left(\frac{CL}{S} + 2 \right), \quad (3)$$

где C — число проходов наварки, как правило, $C = 1 \div 3$; n — число оборотов детали, об/мин; S — продольная подача роликовых электродов, равная $2m$ (m — шаг наварки, равный $b k_{\text{пер}}$, где $k_{\text{пер}}$ — коэффициент перекрытия соседних валиков наваренного металла, равный $0,3 \div 0,5$).

В формуле (3) переменными параметрами, изменяя которые можно варьировать основное время наварки $t_{\text{осн}}$, являются число оборотов n , шаг наварки m и число проходов C .

Известно, что значительно уменьшить основное время наварки детали за счет увеличения скорости наварки (числа оборотов детали) и шага наварки без ухудшения качества наварки невозможно. Только снижая число проходов C , можно существенно уменьшить основное время наварки. Число проходов наварки зависит от необходи-

мой величины подъема $\Delta_{\text{под}}$ навариваемого металла и подъема металла за один проход Δ_1 , который при двух-проволочной наварке изменяется в зависимости от диаметра присадочной проволоки (табл. 2). Число проходов наварки

$$C = \frac{\Delta_{\text{под}}}{\Delta_1} \quad (4)$$

Необходимая величина подъема навариваемого металла $\Delta_{\text{под}}$ определяется величиной износа $\Delta_{\text{изн}}$ восстанавливаемой детали и необходимого припуска $\Delta_{\text{прип}}$ на последующую механическую обработку. При этом необходимо выполнение следующего соотношения:

$$\Delta_{\text{под}} \geq \Delta_{\text{изн}} + \Delta_{\text{прип}} \quad (5)$$

При наварке в один проход это условие достигается при использовании проволок различного диаметра (см. табл. 2), а при многослойной наварке — необходимым количеством слоев, рассчитываемых по формуле (4). Для ряда деталей, имеющих сложную конструктивную форму, зачастую отсутствует возможность наварки двумя проволоками. В качестве такого примера могут служить шестерни гидropередач [6], при ремонте которых осуществляется многослойная наварка одной проволокой. В этом случае число проходов наварки C определяют по табл. 2. При выборе диаметра проволоки необходимо стремиться наваривать деталь за меньшее число проходов, обеспечивая при этом припуск наваренного металла $\Delta_{\text{прип}} = 0,8 \div 1,0$ мм на диаметр. При таком подходе будет достигнута качественная наварка поверхности при минимальных затратах времени на последующую механическую обработку.

В формуле (3) неизвестным параметром, связанным с диаметром детали, является число оборотов детали. Качественное соединение проволоки с деталью (при наварке проволоками Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, Нп-65Г и Св-04Х19Н11М3) вполне обеспечивается при скорости наварки (число оборотов) детали, при которой происходит постановка пяти точек на 1 см длины и при этом осадка проволоки $\varepsilon \geq 70\%$ [2—6]. Исходя из этого условия для расчета числа оборотов детали в зависимости от ее диаметра при наварке проволоками экспериментально установлена следующая зависимость:

$$n = \frac{85,1}{10^{\lg D}}, \text{ мин}^{-1} \quad (6)$$

При наварке коррозионно-износостойких покрытий часто используют и проволоку Нп-40Х13. Для получения качественного соединения проволоки с деталью наварку необходимо выполнять при более низких оборотах детали [7, 11]. Число оборотов детали при наварке проволокой Нп-40Х13

$$n_1 = k_1 n, \text{ мин}^{-1}, \quad (7)$$

где k_1 — эмпирический коэффициент, равный 0,8.

Применяя формулу (2) можно ориентировочно оценить штучное время наварки.

После выбора диаметра проволоки и числа проходов наварки необходимо определить ее марку. Выбор марки проволоки для ЭКНПО осуществляется в зависимости от

Таблица 1

Соотношение длины наварки к длине детали CL/L_d , %	Перемещение детали	E при $N = 1$	E при $N \geq 2$
До 10	Вручную	0,6	0,35
До 20		0,45	0,27
До 30		0,4	0,21
До 40		0,35	0,19
До 50		0,25	0,1
От 50 до 100		0,15	0,05
Свыше 100		0,05	0,03
До 10	Краном	1,1	0,6
До 20		0,8	0,5
До 30		0,65	0,4
До 40		0,5	0,3
До 50		0,35	0,2
От 50 до 100		0,25	0,1
Свыше 100		0,1	0,05

Таблица 2

Диаметр навариваемой проволоки, мм	Подъем навариваемого металла за один проход двумя присадочными проволоками $\Delta_{\text{под}}^1$, мм	Число проходов C при наварке одной присадочной проволокой	Подъем навариваемого металла при наварке одной присадочной проволокой $\Delta_{\text{под}}^1$, мм
1,4	0,8	2 3	0,8 1,2
1,6	1,0	2 3	1,0 1,5
1,8	1,2	2 3	1,2 1,8
2,0	1,4	2 3	1,4 2,1

Таблица 3

Проволока	Твердость поверхности	Прочие свойства
Нп-65Г Нп-30ХГСА Нп-40Х13	48—63 HRC 44—52 HRC 50—58 HRC	Износостойкость "
Св-08Г2С Св-04Х19Н11М3	21—28 HRC 112—134 HB	Коррозионно- и износостойкость — Коррозионная стойкость

необходимых свойств поверхности (твердости, коррозионной стойкости, износостойкости и др.) после наварки согласно табл. 3.

Для расчета себестоимости восстановления конкретных деталей необходимо также знать расход навариваемой проволоки. В НИИ "Велд" для расчета расхода навариваемой проволоки применяют следующую формулу:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (8)$$

где P_1 — расход проволоки на откусывание двух кусков длиной l в начале наварки, г; P_2 — расход проволоки на

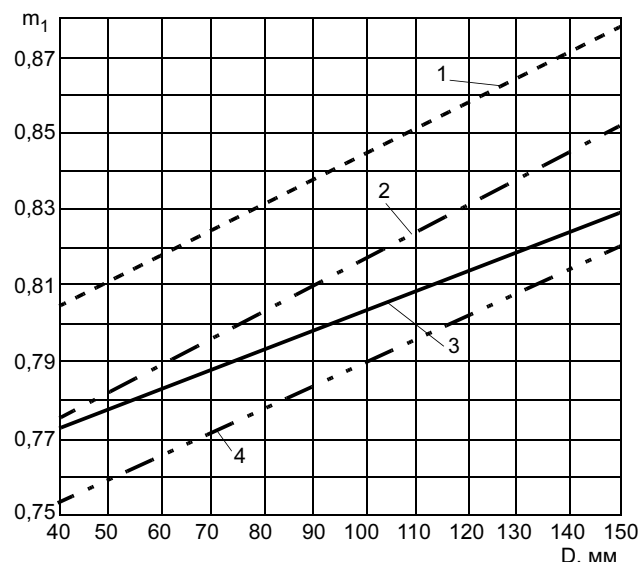


Рис. 2. Значение коэффициента m_1 для проволок Св-04Х19Н1МЗ (1—3) и Нп-40Х13 (4): 1—4 — $d_{пр}$ соответственно равен 1,2, 1,6, 2,0 и 1,8 мм

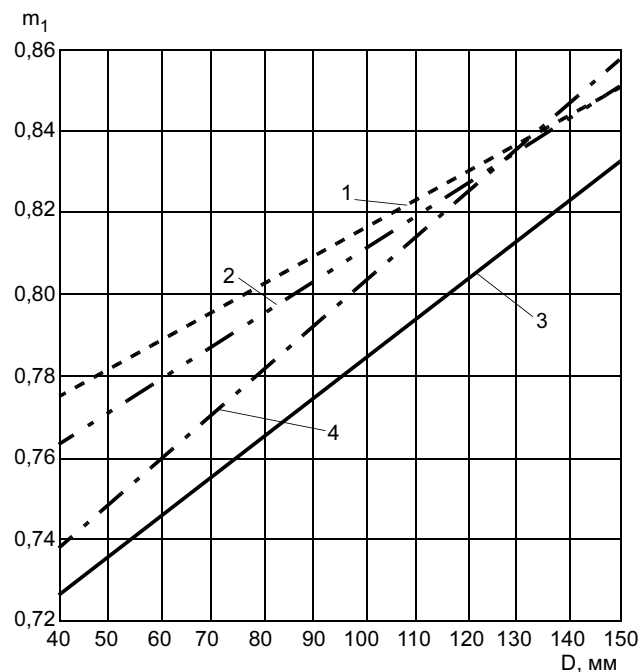


Рис. 3. Значение коэффициента m_1 для проволок Нп-65Г (1—3) и Нп-30ХГСА (4): 1—4 — $d_{пр}$ соответственно равен 1,4, 1,6, 2,0 и 1,6 мм

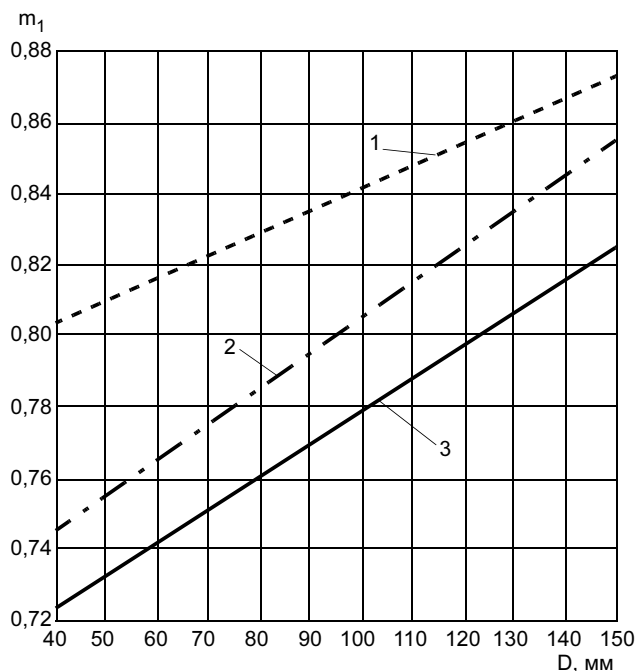


Рис. 4. Значение коэффициента m_1 для проволоки Св-08Г2С: 1—3 — $d_{пр}$ соответственно 1,2, 1,6 и 2,0 мм

наварку двух крайних валиков при условии, что деталь дополнительно делает по 1,0 обороту в начале и конце наварки, г; P_3 — расход проволоки на наварку детали длиной L и диаметром D , г. После выполнения математических преобразований формула (8) приобретает следующий вид:

$$P = \frac{\pi j}{4} d_{пр}^2 \left[al + \pi D m_1 \left(2 + a C \frac{L}{S} \right) \right], \quad (9)$$

где a — число одновременно навариваемых проволок, равное 1—2; l — длина откусываемой проволоки, равная 50 мм; $d_{пр}$ — диаметр навариваемой проволоки, мм; j — плотность стальной проволоки, г/мм³; m_1 — коэффициент, равный $L_f/L_{расч}$ (L_f , $L_{расч}$ — соответственно фактическая и расчетная длина проволоки, необходимая для наварки валика длиной L_0).

Коэффициент m_1 зависит от скорости наварки, диаметра навариваемой детали, а также от марки и диаметра проволоки. Значение коэффициента m_1 при ширине электрода 6 мм приведены на рис. 2—4 в зависимости от диаметра детали, марки проволоки и ее диаметра.

Коэффициент m_1 при диаметре детали менее 40 мм следует принимать равным значению этого коэффициента для диаметра 40 мм. Коэффициент m_1 при диаметре детали более 150 мм необходимо принимать равным значению этого коэффициента для диаметра 150 мм.

Используя формулу (9), можно определить расход навариваемой проволоки при наварке одной или двумя проволоками.

Пример. Необходимо определить прямые затраты на восстановление штока гидроцилиндра со следующими параметрами: длина восстанавливаемого участка $L = 190$ мм, длина детали $L_d = 250$ мм, диаметр до навар-

ки $D_1 = 59,7$ мм, диаметр номинальный $D = 60$ мм, величина износа $\Delta_{\text{изн}} = 0,3$ мм, требуемая твердость восстанавливаемой поверхности не менее 50 HRC, покрытие износо- и коррозионно-стойкое. Расчет выполняли следующим образом.

1. Определяли марку проволоки по табл. 3 в зависимости от необходимой твердости и свойств (стойкости против коррозии) наваренной поверхности — проволока Нп-40Х13 (52—56 HRC).

2. Диаметр присадочной проволоки определяли из условия выполнения соотношения, определяемого по формуле (5), исходя из значения износа и припуска на последующую механическую обработку:

$$\Delta_{\text{под}} = \Delta_{\text{изн}} + \Delta_{\text{мех}} = 1,2 \text{ мм.}$$

Согласно табл. 2, данное значение подъема можно достигнуть при наварке в один слой проволокой диаметром 1,8 мм.

3. Определяли число оборотов восстанавливаемой детали в процессе наварки по формуле (6): $n = 1,425 \text{ мин}^{-1}$. Так как наварку осуществляли проволокой Нп-40Х13, то число оборотов с учетом формулы (7) $n_1 = 1,14 \text{ об/мин}$.

4. Определяли основное время наварки по формуле (3): $t_{\text{осн}} = 29,5 \text{ мин}$.

5. Определяли штучно-калькуляционное время наварки по формуле (2): $t_{\text{шт.к}} = 33,9 \text{ мин}$. Коэффициент $E = 0,15$ определяли по табл. 1 исходя из соотношения $\frac{CL}{L_d} = 76 \%$ при условии, что деталь перемещается к мес-

ту наварки вручную.

6. Определяли расход проволоки для наварки детали по формуле (9): $P = 188 \text{ г}$ ($j = 7,83 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3$, $m_1 = 0,765$ определяли согласно рис. 2, $a = 2$, так как при наварке используют две проволоки).

Таким образом, прямые затраты на наварку штока составили: $t_{\text{шт.к}} = 33,9 \text{ мин}$ и $P = 188 \text{ г}$.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая методика может быть использована для расчета штучного времени наварки и расхода проволоки для электроконтактной наварки проволокой оплавлением деталей машин и механизмов.

2. На основании экспериментальных данных установлена зависимость между числом оборотов и диаметром навариваемой детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловей А. Г., Дубровский В. А. Прогрессивные технологии в производство // Тяжелое машиностроение. 1996. № 10. С. 5—6.
2. Дубровский В. А. Восстановление деталей сельхозмашин двухпроводочной электроконтактной наплавкой // Техника в сельском хозяйстве. 1997. № 5. С. 38—39.
3. Соловей А. Г., Дубровский В. А. Перспективы внедрения технологий электроконтактной наплавки и поверхностной закалки // Тяжелое машиностроение. 1999. № 7. С. 30—33.
4. Восстановление деталей электровозов электроконтактной наплавкой проволокой / К. А. Кочин, В. А. Дубровский, В. В. Булычев и др. // Локомотив. 2000. № 3. С. 32—33.
5. Дубровский В. А., Булычев В. В., Хабаров В. Н. Восстановление деталей путевых машин электроконтактной наплавкой // Путь и путевое хозяйство. 2001. № 2. С. 13—15.
6. Электроконтактная наварка проволокой посадочных поверхностей шестерен / В. А. Дубровский, И. В. Столяров, В. В. Булычев и др. // Тяжелое машиностроение. 2005. № 9. С. 30—31.
7. Электроконтактная наплавка износо- и коррозионно-стойких материалов / В. А. Дубровский, И. В. Столяров, В. В. Булычев и др. // Тяжелое машиностроение. 2000. № 9. С. 19—20.
8. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4 т. / Под ред. В. А. Винокурова. М.: Машиностроение, 1979. Т. 3. 567 с.
9. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2 т. / Под ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. М.: Машиностроение, 2004. Т. 2. 478 с.
10. Дубровский В. А. Установка УЭН-01 для электроконтактной наплавки поверхностной закалки деталей типа вал // Сварочное производство. 1997. № 7. С. 36—37.
11. Дубровский В. А., Булычев В. В., Пономарев А. И. Предотвращение выплесков при электроконтактной наварке проволокой из стали 40Х13 // Сварочное производство. 2003. № 6. С. 12—15.

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Москва, 109147, ул. Марксистская, 5. Тел./факс: (495) 926-47-49



ЭЛСТАТ
16 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

10-я Международная выставка "Металлообработка—2008"



С 26 по 31 мая 2008 г. в ЦВК "Экспоцентр" (Москва) проходила 10-я международная выставка "Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности", представляющая мега-проект в сфере высоких технологий обработки металла.

Организаторы выставки — ЦВК "Экспоцентр" и Российская ассоциация производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент".

На выставке национальные экспозиции представили 10 стран — Белоруссия, Германия, Испания, Италия, Россия, Словакия, Тайвань, Турция, Швейцария, Чехия.

На стендах выставки были показаны интеллектуальные станочные системы, высокотехнологичное оборудование нового поколения, передовой металлорежущий инструмент, прогрессивные системы промышленной автоматизации предприятий машиностроительного комплекса и др. Вместе с тем следует отметить, что ситуация в инновационной сфере оставляет желать лучшего. Технологические инновации осуществляли лишь 9,3 % российских организаций, что совершенно недостаточно.

В статье приведено краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, и предложений предприятий-разработчиков, вызвавших наибольший интерес у специалистов.

Савеловский машиностроительный завод (г. Савелово) демонстрировал на выставке станки различного назначения.

Станок ФП-17ВС3С для высокоскоростного (контурного и объемного) фрезерования по заданной программе деталей типа балок, лонжеронов, кронштейнов, корпусов, штамповой оснастки, мастер-моделей и др. Его применяют для обработки сталей, жа-

ропрочных и титановых сплавов, а в верхнем диапазоне частоты вращения шпинделя — 7000 мин^{-1} — фрезеруют алюминий и его сплавы. В конструкции станка применены литые бронзовые детали повышенной жесткости, комбинированные направляющие, силовая фрезерная головка, высокоточные шариковые винтовые пары в сочетании с высокодинамичными приводами подачи, централизованная смазка, система подачи и сбора СОЖ. Станок оснащен УЧПУ SINUMERIK 8400 и приводом подачи фирмы Siemens, главный привод — электрошпиндель фирмы Bosch Rexroth. Имеется механизм смены инструмента на 12 позиций, механизм уборки стружки, станция микросмазки и охлаждения инструмента, станция смазки подшипников шпинделя и фторопластовые направляющие скольжения. Наибольшая масса устанавливаемой заготовки 2 т. Наибольшее перемещение стола продольное по оси X 1600 мм, ползуна поперечное по оси Y 660 мм, каретки вертикальное по оси Z 480 мм. Мощность привода электрошпинделя 45 кВт, номинальный крутящий момент на шпинделе 480 Н·м. Габаритные размеры станка $5675 \times 4800 \times 3600$ мм, масса 16 т.

Токарный станок AT-600 PC с ЧПУ и автоматической сменой инструмента для обработки в патроне или специальном приспособлении деталей типа фланцев, барабанов, колец, дисков, корпусных деталей и др. из любых сталей и сплавов. На станке можно осуществлять обработку по наружному фасонному и цилиндрическому профилю, расточку отверстий, подрезку торцев и нарезание резьбы. В конструкции станка также применены базовые детали повышенной жесткости, централизованная смазка, частотный управляемый привод для регулирования частоты вращения шпинделя. Он оснащен УЧПУ

"FLEX NC". Привод главного движения — асинхронный электродвигатель 5A225M мощностью 37 кВт. Наибольший диаметр устанавливаемого изделия над станиной 1000 мм, над суппортом — 800 мм. Наибольшая длина устанавливаемого изделия 1150 мм, поперечное по оси X — 550 мм. Мощность приводов подачи: продольного — 3 кВт, поперечного — 3 кВт. Пределы частоты вращения шпинделя $2-710 \text{ мин}^{-1}$. Наибольшее усилие резания 25 кН. Усилие зажима инструмента 50 кН. Число инструментов, устанавливаемых на станке, 17 шт. Параметр шероховатости обрабатываемых поверхностей $Ra = 1,6-1,25 \text{ мкм}$. Габаритные размеры станка $4635 \times 2452 \times 3000$ мм, масса 15,7 т.

Вертикально-фрезерный станок MA-655 A14 с ЧПУ и автоматической сменой инструмента (рис. 1) для обработки по заданной программе деталей сложной криволинейной формы типа дисков, плит, рычагов, корпусных деталей и др. На станке можно производить фрезерование плоскостей, пазов, наружных фасонных кон-

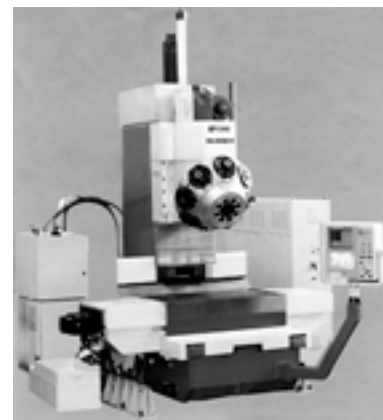


Рис. 1. Вертикально-фрезерный станок MA-655 A14 с ЧПУ и автоматической сменой инструмента

туров и выемок с высокой точностью. В конструкции станка применены базовые литые детали повышенной жесткости, высокоточные шариковые винтовые пары в сочетании с высокодинамичными сервоприводами подачи, централизованная смазка и система подачи СОЖ. Размеры рабочей поверхности: длина 1250 мм, ширина 500 мм. Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола 790—160 мм. Наибольшая масса устанавливаемой заготовки 500 кг. Наибольшее перемещение стола продольное по оси X 1000 мм с точностью позиционирования 0,025 мм, ползуна поперечное по оси Y — 500 мм с точностью позиционирования 0,016 мм, каретки вертикальное по оси Z — 630 мм с точностью позиционирования 0,02 мм. Пределы частоты вращения шпинделя 20–2500 мин⁻¹. Мощность привода главного движения 17 кВт. Максимальный крутящий момент на шпинделе 955 Н·м. Габаритные размеры станка с учетом приставного оборудования 3950 × 3490 × 3650 мм, масса 10 т.

ОАО "Красный пролетарий" (Москва) показал новые токарно-винторезные станки повышенной точности с регулируемым приводом.

Станок МК6046Р для выполнения широкого спектра токарных операций: наружного точения и растачивания внутренних цилиндрических и конических поверхностей, сверления, зенкерования и развертывания, а также нарезания наружных и внутренних метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб. Станок оснащен устройством цифровой индикации в комплекте с регулируемым приводом главного движения мощностью 7,5 кВт. Он имеет главный пуск, торможение и реверсирование, а также режим поддержания постоянной скорости резания. Термообработанные, шлифованные направляющие станины обеспечивают длительный срок службы и повышенную точность обработки. Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, устанавливаемого над станиной, 500 мм, над суппортом — 275 мм, над выемкой в станине — 700 мм, длина обрабатываемого изделия 1500 мм. Число подач суппорта продольных и поперечных 24. Габаритные размеры станка 3380 × 1420 × 1740 мм, масса 3,4 т.

Токарный центр с ЧПУ МК 7702-00 для механической обработки деталей типа тел вращения, начиная от простой двухосевой обработки до

сложной комплексной двухсторонней обработки деталей с применением противопинделя, приводного инструмента, полярной координаты СС и координаты Y. Модульный принцип построения токарного центра позволяет оптимизировать его под конкретные технологические операции. Наклонная компоновка обеспечивает оптимальные условия обработки, сход стружки, доступность и обзор рабочей зоны. Массивная станина из металлобетонного гранитного композита обладает высокой статической и динамической жесткостью. Центр оснащен двенадцатипозиционной серво revolverной головкой со временем смены инструмента 0,14 с. Он может быть укомплектован системой ЧПУ фирмы Siemens или FRANCE с системами цехового программирования "Shop Tom" или "Manual Guide".

Ивановский завод тяжелого машиностроения показал на выставке **тяжелый обрабатывающий центр ИП Р160МФ4**, предназначенный для выполнения следующих технологических операций: растачивания и развертывания отверстий; фрезерования плоскостей, пазов, уступов, в том числе контурного фрезерования поверхностей, объемного фрезерования; сверления, рассверливания, центрования и зенкерования отверстий; нарезания резьбы в отверстиях метчиками и резцом; обточки поверхностей, обработки кольцевых канавок и подрезки торцев при комплектации съемной планшайбой; обработки корпусов с четырех сторон, а при комплектации угловой фрезерной головкой — с пятой стороны. Обрабатывающий центр также оснащен комплектом измерительных головок и щупов фирмы Renishaw для определения износа инструмента, а также для привязки координат детали к координатам станка. Для расширения технологических возможностей станок может быть оснащен угловой головкой, планшайбой, накладным поворотным столом и различными специальными приспособлениями. Диаметр расточного шпинделя станка 160 мм, его частота вращения 2—1600 мин⁻¹. Наибольшие перемещения подвижных узлов: стойки — 3150 мм, шпиндельной бабки — 2500 мм, ползуна — 800 мм, шпинделя — 1000 мм. Мощность главного привода 55 кВт. Допустимые нагрузки: момент на выдвигном шпинделе 2400 Н·м, момент на фрезерном шпинделе 7000 Н·м, уси-

лие подач по осям X, Y, Z, W 30 кН. Габаритные размеры обрабатываемого центра без приставного оборудования 10 800 × 5000 × 6400 мм, масса без приставного оборудования 37 т.

ООО "Завод фрезерных станков" (Нижний Новгород) предложил потребителям свою продукцию.

Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр ГФ5171М (рис. 2) для многооперационной обработки разнообразных деталей сложной формы. Наряду с фрезерными операциями на станке можно производить сверление, зенкерование, развертывание и растачивание точных отверстий, связанных координатами, нарезание резьбы. Мощный привод главного движения, широкий диапазон подач и частот вращения шпинделя позволяют обрабатывать детали из чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов, пластмасс на рациональных режимах с высокой производительностью и точностью. Размер рабочей поверхности стола 500 × 1600 мм при продольном перемещении 1200 мм, поперечном — 510 мм, Вертикальное перемещение шпиндельной бабки по оси Z 510 мм. Частота вращения шпинделя 8000 мин⁻¹, мощность его привода 18 кВт. Вместимость инструментального магазина 24 инструмента, время смены инструмента 4 с. Максимальная скорость перемещения узлов по координатным осям 15 000 мм/мин. Масса обрабатываемых деталей до 1 т. Обрабатывающий центр укомплектован гидростанцией, станциями смазки и охлаждения шпинделя, системой ЧПУ NC-210, шнековым механизмом уборки стружки.

Продольный фрезерно-расточной обрабатывающий центр ГФ3680 для комплексной обработки



Рис. 2. Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр ГФ5171М

различных деталей сложной формы (см. технические характеристики ГФ5171М). Размер рабочей поверхности стола 800×2500 мм. Его максимальное продольное перемещение по оси X 3000 мм, поперечное перемещение шпиндельной бабки по оси Y 2000 мм, вертикальное перемещение ползуна по оси Z 630 мм. Максимальная частота вращения шпинделей: ползуна — 4000 мин⁻¹, накладной угловой головки — 2000 мин⁻¹, накладной поворотной головки — 2000 мин⁻¹. Максимальная масса обрабатываемой детали 6 т. Обрабатывающий центр укомплектован гидростанцией, системой ЧПУ FANUC и механизмом уборки стружки.

ОАО "Астраханский станко-строительный завод" показал на выставке свои новые разработки.

Ленточно-отрезной станок по металлу двухколенного типа "Аллитатор-900" для поперечной распиловки сплошных заготовок сечением до 900 мм (прокат, поковки) круглого и квадратного профилей. Размер пильного полотна 9300×67×1,6 мм. Скорость подачи рамы 1—200 мм/мин. Максимальная величина открытия тисков 920 мм со скоростью 3000 мм/мин, высота рабочего стола 790 мм. Станок обладает жесткой конструкцией и обеспечивает ровный и чистый срез при резке заготовок. Для достижения оптимальной производительности и ресурсов полотна на станке применено независимое гидравлическое управление скоростью и подачей, автоматическое гидравлическое натяжение полотна. Станок оснащен высокоточными линейными направляющими каретками для опускания пильной рамы; регулятором усилия зажима тисков; системой автоматического контроля рабочей высоты пильного полотна и системой быстрого позиционирования; детектором хода с автоматическим отключением станка при обрыве пильного полотна или его заклинивании; щетками механической очистки пильного полотна; конвейером для уборки стружки; подающим и принимающим устройствами. Мощность двигателей привода полотна 11 кВт, гидравлического насоса — 3 кВт, насоса охлаждения — 0,55 кВт. Габаритные размеры станка 4850×1680×3200 мм, масса 8,45 т.

Станок СГА-55М для холодной гибки труб и прутков арматуры железобетонных конструкций на заводах сборного железобетона и на строи-

тельных площадках под навесом в условиях умеренного климата при температуре -15—45 °С и влажности не более 80 %. Диаметр изгибаемой арматуры 9—40 мм, радиус изгиба прутка по внутреннему контуру 12—65 мм. Диаметры изгибаемых труб 21, 26, 33, 42, 48 и 60 мм, угол изгиба до 180°. Частота вращения гибочного диска 5,8 мин⁻¹, точность позиционирования ±2°. Мощность электродвигателя станка 4 кВт. Его габаритные размеры 1400×940×890 мм, масса 700 кг.

ООО "Фактор" (Москва) демонстрировало на выставке новые разработки — машины для термической резки металлов.

Переносную двухкоординатную консольную машину Steel Tailor для термической резки с ЧПУ (рис. 3), представляющую легкий обрабатывающий комплекс. Машина осуществляет вырезку заготовок сложной формы с высокой точностью и качеством поверхности реза. Размеры рабочей зоны резки 1200×2000 мм. Подготовка управляющих программ осуществляется системой автоматизированного устройства САПР "Fast Cam". Эта система подготавливает карты раскроя для вырезки деталей с минимальным количеством отходов металла. Машина может оснащаться любым аппаратом для воздушно-плазменной резки металлов, а также оборудованием для газовой резки. Конструктивное исполнение машины — моноблок (процессор, платы связи с датчиками, энергозависимая оперативная память и энергозависимая постоянная память). Машина оснащена черно-белым жидкокристаллическим дисплеем. Ввод управляющих программ осуществляется через клавиатуру, порт USB. Загрузка и вы-



Рис. 3. Переносная двухкоординатная консольная машина Steel Tailor

грузка осуществляются в диалоговом режиме системного меню. Толщина разрезаемого металла одним резаком: плазменная резка — 1—70 мм, газокислородная резка — 5—150 мм, скорость резания 50—2500 мм/мин. Давление горючего газа не более 0,1 МПа, кислорода — не более 1,1 МПа. Мощность машины 0,18 кВт. Машина проста и удобна в эксплуатации и имеет малую массу, что позволяет легко перемещать ее вдоль раскроечного стола.

Переносную двухкоординатную машину "Магнит-CNC" с ЧПУ для термической резки. Она представляет комплекс для криволинейного раскроя листового металлопроката по заданным чертежам с использованием системы ЧПУ. Аппаратная часть комплекса (модуль ЧПУ) предназначен для управления приводами машины и представляет миниатюрное, мобильное (переносное) микропроцессорное устройство с энергозависимой памятью. Машина оснащена продольной направляющей, по которой движется каретка с установленной на ней поперечной траверсой. Размеры рабочей зоны машины 1000×2000 мм, скорость рабочих подач до 6000 мм/мин. Машина работает одним резаком. Толщина разрезаемого материала: газовая технология — 6—150 мм, плазменная технология — 1—70 мм. Машина удобна в работе и оснащена магнитным держателем для крепления машины к обрабатываемому листу, имеет малую массу, что позволяет легко перемещать ее вдоль раскроечного стола.

Компания "КОНСАР" (Саров, Нижегородская обл.) предложила предприятиям машиностроения свою продукцию.

Передвижной электростатический фильтр ФВУ-1200 для удаления и очистки загрязненного воздуха от сварочного аэрозоля, газов и мелкодисперсной пыли, выделяющихся при различных технологических процессах, удаления неприятных запахов с возвратом очищенного воздуха в рабочее помещение. Фильтр оснащен поворотным устройством с радиусом действия 2,5 м. Фильтр применяется в машиностроении, сварочном производстве, металлообрабатывающей, химической, электротехнической промышленности и приборостроении.

Установку MAXI IPER JET-4 для удаления и очистки воздуха от дымов, образующихся при сварке, плаз-

менной, газовой и лазерной резке, дымов с небольшой примесью металлической пыли с возвратом очищенного воздуха в рабочее помещение. Установка стационарная с четырьмя фильтрами картриджного типа. Очистка картриджей осуществляется сжатым воздухом в автоматическом режиме, степень очистки 99,9 %. Производительность установки 3500 м³/ч, габаритные размеры 950×1120×2920 мм.

Установку УВП-1200А для удаления и очистки загрязненного воздуха от абразивной, металлической пыли, мелкой стружки, образующихся при работе заточных, шлифовальных и отрезных станков с возвратом очищенного воздуха в рабочее помещение. Производительность установки 1200 м³/ч. Она состоит из вентилятора, четырех фильтров рукавного типа и воздуховода длиной 2 м. Габаритные размеры установки 820×540×1670 мм.

Установку OIL STOP/M 6 S/E для очистки воздуха от масляных туманов, аэрозолей, образующихся при различных технологических процессах, с возвратом очищенного воздуха в рабочее пространство. Маслоуловитель стационарный модульного типа оснащен фильтром карманного типа с тремя степенями очистки до 99 %. Производительность установки 24 000 м³/ч, габаритные размеры 4210×1380×1908 мм.

Барановический завод автоматических линий (Республика Беларусь) предложил потребителям свою продукцию.

Токарный патронный станок СБ 5540 с ЧПУ высокоточной обработки деталей типа фланцев, дисков, колец подшипников, тройников, угольников, крестовин различных типов. Отличительной особенностью станка является возможность использования двухкулачковых поворотных патронов и восьмипозиционной револьверной головки с вертикальной осью вращения диска. Наибольший диаметр обрабатываемого изделия: над станиной — 250 мм, над суппортом — 200 мм. Мощность привода главного движения 30 кВт. Продольный ход суппорта 360 мм, поперечный — 250 мм. Точность позиционирования суппорта при продольном перемещении 10 мкм, при поперечном перемещении — 6 мкм. Габаритные размеры станка 2000×3500×2100 мм, масса 3,5 кг.

Специальный токарный станок СБ 5565 с ЧПУ для обработки корпусов подшипника кулака заднего и переднего, а также тел вращения. Станок оснащен шпиндельной бабкой, в конструкции которой предусмотрено охлаждение подшипников шпинделя. Широкие диапазоны скоростей и подач в сочетании с высокой жесткостью узлов обеспечивают эффективное использование резцов. В качестве зажимного приспособления используется трехкулачковый патрон. Зажим детали в патроне — гидравлический. Продольное и поперечное перемещение крестового суппорта осуществляется от отдельных бесступенчато регулируемых приводов подач через шариковинтовые подачи. Для повышения точности и надежности станка применены закаленные и шлифовальные направляющие в паре с накладными из антифрикционной пластмассы. В главном приводе мощностью 7,5 кВт применено бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя. В станке предусмотрены удобный доступ к рабочим органам и простота установки и снятия заготовок; централизованная система смазки направляющих с контролем подачи масла, а также проточная смазка подшипников шпинделя; защита оператора от стружки и эмульсии ограждением зоны обработки; система охлаждения инструмента эмульсией. Максимальный диаметр обработки на станке 200 мм. Диапазон частоты вращения шпинделя 0—1000 мин⁻¹. Перемещение суппорта: продольное — 250 мм, поперечное — 300 мм. Габаритные размеры станка 2800×1200×2200 мм, масса 4,4 т.

Специальный фрезерный станок СБ832 (рис. 4) для обработки подпятникового места в адрессорной балке. Станок горизонтальный односторонний. Обработка заготовок производится рабочей подачей стола и круговой подачей поворотного ротора, фрезерованием двумя комбинированными фрезами с механическим креплением неперетачиваемых пластин. В случае обработки деталей разных наименований обработка производится партиями с переналадкой станка, заключающейся в смене режущего инструмента. Система управления — программируемый контроллер. Проектная производительность станка 6,3 шт/ч, установленная мощность 28,11 кВт, габарит-

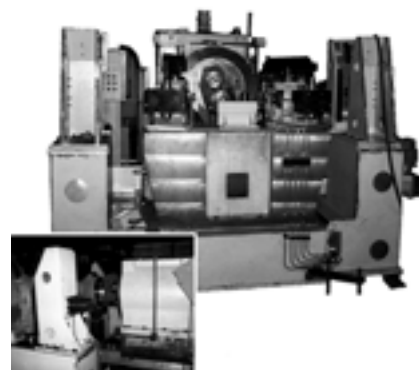


Рис. 4. Специальный фрезерный станок СБ832

ные размеры 3600×3500×2000 мм, масса 12 т.

Барановический завод автоматических линий проводит восстановление и глубокую модернизацию колесотокарных станков фирмы RAFAMET и станков, выпускаемых заводом "КЗТС", для обточки профиля поверхности качения колесных пар.

ООО "Диамех" (Москва) предложило балансировочные станки различного назначения, разработанные за рубежом.

Балансировочный станок Tool-dyne SV (рис. 5) для балансировки широкого модельного ряда инструмента и держателей инструмента с получением высокоточных результатов балансировки за кратчайший промежуток времени. Пневматическое устройство станка приводит в действие быстрострельное устройство авто-



Рис. 5. Балансировочный станок Tool-dyne SV

матической фиксации инструмента в шпинделе с целью точного моделирования условий работы для обеспечения прецизионной балансировки. Использование балансировочных программ обеспечивает быстрый подсчет дисбаланса. Питающее напряжение станка 30 В, габаритные размеры 500×1500×820 мм, масса ротора станка 30 кг.

Балансировочный станок Туре 400 FBTy для измерения и коррекции дисбаланса якорей электродвигателей различных типоразмеров. Коррекция дисбаланса проводится фрезерованием в одной или двух плоскостях. Корректировочный модуль оснащен системой цифрового контроля фрезерования и позиционирующим устройством. Операционное время при балансировке 20—25 с, пропускная способность 180—240 шт/ч, время перенастройки 5—15 мин, точность балансировки 3 г·мм/кг.

ЗАО "ТОЛЕДО" (С.-Петербург) демонстрировало и предложило потребителям заточные станки различного назначения, разработанные в США.

Станок E 90i для заточки твердосплавных концевых фрез и фрез из быстрорежущей стали. На станке можно затачивать главный задний угол и угол на торце концевых фрез. "Плавающий" пневмошпиндель станка плавно и легко вращается и перемещается на всю длину заточки фрезы. Диаметр затачиваемых фрез 1,5—52 мм. Диаметр хвостовиков фрез 1,5—26 мм (имеется возможность использования переходников

для хвостовиков большего диаметра с точной цанговой системой крепления). Максимальная длина канавок фрез 156 мм при их числе 2—6 шт. Среднее время заточки до 2 мин (для двухканавочной концевой фрезы диаметром 12 мм). Питающее напряжение станка 220 В, габаритные размеры 450×430×280 мм, масса 33 кг.

Станок ХТ-3000 (рис. 6) для стандартной и крестообразной заточки спиральных твердосплавных сверл из быстрорежущей стали. Специальные приспособления станка позволяют затачивать ступенчатые сверла, зенковки, сверла для деревообработки и тонколистового металла. Цикл заточки одного сверла до 1 мин. Профиль заточки сверла регулируется. Предусмотрена вакуумная вытяжка отработанного материала. Станок оснащен двумя кулачковыми зажимными патронами повышенной точности. Диаметр затачиваемых сверл 3—31 мм при длине от 50 мм. Питающее напряжение станка 220 В, частота вращения рабочего органа до

3450 мин⁻¹. Габаритные размеры станка 410×410×260 мм, масса 28 кг.

Станок Micra 10 Integral для заточки твердосплавных сверл и сверл из быстрорежущей стали диаметром 0,5—16 мм. Число режущих кромок станка 2 шт. Углы заточки сверл 80—180°, резания — 0—1°. Сверла крепятся в высокоточном универсальном четырехкулачковом патроне или цанговом патроне с набором из 10 цанг. Правка кругов осуществляется встроенным алмазным приспособлением. Габаритные размеры станка 680×500×520 мм, масса 57 кг.

На выставке "Металлообработка — 2008" специалисты ознакомились с последними достижениями в технологии металлообработки, оборудованием, приборами и инструментами качественно нового уровня. Машиностроители-потребители металлообрабатывающего оборудования получили на выставке полезную информацию экономического, коммерческого и маркетингового характера, расширили партнерские связи.

В рамках выставки прошла научно-практическая конференция "Российское инновационное станкостроение. Комплексные технологии, Наука. Производство", организованная Ассоциацией "Станкоинструмент". На ней ведущие российские и зарубежные специалисты, руководители предприятий и конструкторских бюро предложили новые идеи в различных областях металлообработки и станкостроении.

А. Н. ИВАНОВ, инж.



Рис. 6. Станок ХТ-3000

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

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

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

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

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

**Наш адрес: 129626, Москва, а/я 01,
Тел.: (495) 748 0142, 796 2491.**

Семинар электродчиков

В июне 2008 г. в г. Орле на базе ОАО "Межгосметиз-Мценск" состоялось расширенное отчетное собрание Ассоциации "Электрод" предприятий — стран СНГ с одновременным проведением тематического семинара. В состав ассоциации приняли фирму "Актобе Спецэлектрод" (Актобе, Казахстан), а в Совет ассоциации ввели представителей ООО "Техпром" (Москва) и ЗАО "ЗСМ" (Березовск, Свердловская обл.). В составе ассоциации созданы четыре комиссии: по работе с государственными и общественными организациями; аттестации, сертификации и стандартизации; сырью и информации.

Во вступительном докладе генеральный директор ОАО "Межгосметиз-Мценск" В. П. Костюченко осветил работу и перспективы развития предприятия — одного из флагманов производства сварочных материалов в стране. Предприятие непрерывно расширяет виды выпускаемых материалов и в настоящее время производит не только значительную номенклатуру покрытых металлических электродов диаметром 2,0—5,0 мм для ручной дуговой сварки и наплавки, но и омедненную сварочную проволоку Св-08ГС, Св-08Г2С диаметром 0,8—1,6 мм, полированную сварочную низколегированную проволоку диаметром 0,8—1,6 мм, высоколегированную сварочную проволоку диаметром 0,8—2,0 мм. Проволоку поставляют с рядной последней намоткой на еврокассеты: проволоочную каркасную К-300 (15—18 кг), пластиковую Д-200 (5 кг), а высоколегированную — также на К-415 (25 кг). Для низколегированной проволоки внедрена и упаковка в бочки "Ариадна" (250—300 кг). Более подробные данные о перспективах развития содержались в докладах сотрудников ОАО "Межгосметиз-Мценск" С. А. Шамина (по направлению "сварочные электроды") и Л. В. Богдановой (по направлению "сварочные проволоки").

Во время посещения предприятия участники семинара ознакомились с работой оборудования (в основном импортного), в том числе фирмы SAMP для выпуска полированной сварочной проволоки и высоколегированной проволоки, с функционированием системы менеджмента качества. На предприятии ведутся постоянные работы по энергосбережению и улучшению условий труда работающих.

Основная тематика семинара — сырьевые проблемы производства сварочных материалов. Исполнительный директор ассоциации П. В. Игнатченко в докладе "О насущных проблемах между производителями, потребителями сварочных материалов и поставщиками сырьевых компонентов" отметил, что производство конкурентоспособных по качеству и ценам сварочных материалов требует соответствующей сырьевой базы, положение с которой вызывает нарастающую озабоченность. В докладе также приведены данные ежегодного мониторинга, проводимого ассоциацией, характеризующие выпуск сварочных материалов в странах СНГ в 2007 г. Объемы выпуска и номенклатура продукции возрастают, однако при стабилизации сырьевой базы рост был бы весьма значительной.

Заместитель генерального директора ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей" А. В. Баранов представил обзорный доклад "Минеральное сырье для сварочных материалов. Традиционные и новые виды сырья. Подходы и перспективы", содержащий данные о системных работах, проводимых институтом по данной тематике. Новые подходы к оценке пригодности сырья для электродных покрытий базируются на осмыслении процессов, протекающих при взаимодействии компонентов с жидким стеклом. От механизма и кинетики этих процессов зависит не только технологичность изготовления электродов, но и сварочно-технологические свойства электродов, и характеристики металла шва.

В докладе д-ра техн. наук З. А. Сидлина (ООО "Техпром", Москва) ситуация с сырьевой базой электродного производства рассмотрена с точки зрения общемировых тенденций. Рост объема выпуска металлургической продукции привел к необходимости вовлечения материалов, ранее направлявшихся в отходы. Влияние сырьевой базы на металлургические процессы настолько значимо, что в учебных планах вузов появилась специальная дисциплина. Фактическое положение дел усугубляет

ценовая политика ведущих отечественных металлургических компаний, располагающих собственной сырьевой базой, необоснованно резко повысивших цены. Решение проблемы возможно только на государственном уровне.

В. А. Зыскин (ОАО "Дорогобужкотломаш", п. Верхнеднепровский, Смоленская обл.) сообщил об отработке технологии плазменно-дуговой выплавки на субкритических температурах ферротитана сварочных кондиций. В этом процессе основным сырьем является ильменитовый концентрат импортного производства. Выплавку проводят в специализированных печах, оригинальная футеровка которых исключает засорение выпускаемого продукта. Промышленная апробация ферротитана ФТи35С5 и ФТи35С8 по ГОСТ 4761—91 показала его стабильные свойства.

Выступление канд. техн. наук Н. В. Скорины (ИЭС им. Е. О. Патона) также было посвящено работам по сварочному ферротитану, проводимым на Украине и в России. Испытания материала, производимого ОАО "Дорогобужкотломаш" и ООО "Мет-промсервис" (Запорожье), дали положительные результаты.

А. В. Жолус (ЗАО "Шельф", Таганрог) сообщил о проблемах производителей силикатной глыбы. Армавирский стекольный завод провел значительную модернизацию производства, что позволило освоить наряду с производством комбинированных глыб также выпуск натриевой силикатной глыбы.

Производственным вопросам, связанным с освоением применения готовых порошков мрамора, высокомолекулярных растворов жидкого стекла, полученных безавтоклавным методом, а также апробации технологии плазменной очистки низколегированной проволоки, было посвящено сообщение М. И. Кучеровой (ЗАО "ЭЛЗ", С.-Петербург).

А. В. Давыдов (ЗАО "Мелдис Ферро", Челябинск) доложил об опыте производства дисперсных порошков ферросплавов фракций, пригодных для использования в производстве сварочных материалов без дополнительной подготовки.

В выступлениях С. А. Дорошенко (ГП "ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона") и Н. Г. Селяниной (ЗАО "ЭСЗ "Сибэс", Тюмень) был проанализирован опыт работы представляемых предприятий.

Канд. техн. наук И. Н. Ворновский (ОАО "НПО ЦНИИТМАШ", Москва) представил доклад "Система и методика оценки качества электродов для ручной дуговой сварки", в котором предложено показатели сварочно-технологических свойств электродов разделить на три группы.

Л. И. Тюльпа (ОАО "Уралхиммаш", Екатеринбург) сообщила о проводимой заводом работе по отбору предприятий-поставщиков сварочных материалов. Рассмотрена продукция примерно 25 производителей, из которых главным образом по техническим параметрам электродов определены поставщики.

Доклад, представленный ЗАО "Научприбор" (Орел), позволил ознакомиться с оборудованием для рентгенофлуоресцентного многоэлементного (до 16 химических элементов одновременно) экспресс-анализа (время цикла до 40 с) промышленных и природных материалов. Последняя модель многоканального спектрометра — СРМ-35 представляет полностью автоматизированную систему с использованием многофункционального программного обеспечения. Диапазон определяемых элементов $V_5—U_{92}$, анализируемых концентрацией $1 \cdot 10^{-5} \%$ —100 %, основная погрешность средства измерения $\pm 0,2 \%$. По условиям обеспечения радиационной безопасности для работы на спектрометре не требуется специального разрешения. К характеристикам этой модели приближен модернизированный (2006 г.) спектрометр СРМ-25.

Представитель итальянской фирмы "ИманПаск" В. Г. Кабанев сообщил о технических данных автоматических линий по упаковке сварочных электродов в пленку и картон, обеспечивающих производительность 48 и 12 пятикилограммовых упаковок в минуту.

Семинар прошел при высокой активности участников.

Е. А. ПАЛИЕВСКАЯ, З. А. СИДЛИН, д-р техн. наук
ООО "Техпром"

К 90-летию со дня рождения В. Н. БОГДАНОВА

Валентин Николаевич Богданов родился 22 октября 1918 г. в Сызрани. В 1936 г. поступил в Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина) (ЛЭТИ). В июне 1941 г. он окончил пятый курс, оставалось только подготовить и защитить дипломный проект по программе профессора В. П. Вологодина "Применение токов высокой частоты в промышленности". Но началась Великая Отечественная война и В. Н. Богданов ушел добровольцем в ряды Красной Армии. В конце ноября 1941 г. по инициативе В. П. Вологодина был отозван для окончания образования в ЛЭТИ.

В 1942 г. В. Н. Богданов был эвакуирован из Ленинграда в Куйбышев и поступил в Индустриальный институт им. В. В. Куйбышева. После окончания института в декабре 1942 г. был направлен на работу на завод им. Фрунзе (Пенза). В 1944 г. по решению Министерства и ЦК профсоюза был переведен в Москву для работы председателем Центрального совета спортивного общества "Зенит".

В 1947 г. В. Н. Богданов по приглашению В. П. Вологодина перешел во вновь созданный институт токов высокой частоты (НИИТВЧ), где работал инженером, младшим научным сотрудником, зам. начальника отдела, главным инженером института.

В 1952 г. Валентин Николаевич возглавил лабораторию индукционного сквозного нагрева металлов.

Одной из важнейших работ в этот период во ВНИИТВЧ было создание высокочастотных индукционных установок для нагрева заготовок под штамповку деталей автомобиля "Москвич" в кузнечном цехе Московского завода малолитражных автомобилей им. Ленинского комсомола (МЗМА). За участие в проектировании и наладке оборудования на заводе в 1952 г. В. Н. Богданову была присуждена Государственная премия СССР.

В лаборатории велись также работы по закалке и использованию высокочастотного нагрева для стыковой сварки труб. Впервые в мире был разработан процесс двухчастотной индукционной поверхностной закалки машиностроительных деталей. Работы в области стыковой сварки труб закончились внедрением на котлостроительном заводе "Красный котельщик" в Таганроге.

В 1958 г. Валентин Николаевич возглавил отдел высокочастотной сварки металлов. Под его руководством были проведены исследования и разработано оборудование для стыковой сварки бурильных и котельных труб; продольной, непрерывной сварки линейными индукторами на частоте 10 Гц труб диаметром до 60 мм; продольной одновременной и непрерывной сварки труб большого диаметра до 1020 мм с толщиной стенки до 12 мм; непрерывной высокочастотной сварки прямошовных труб диаметром до 529 мм с толщиной стенки до 10 мм при ис-

пользовании частот 440 и 10 кГц; непрерывного продольного и спирального оребрения котельных труб.

В. Н. Богданов — автор 30 изобретений, большинство из которых использовано при создании технологических процессов и оборудования для индукционного нагрева, термической обработки и высокочастотной сварки.

Им опубликованы более 50 научных трудов в области высокочастотной сварки, индукционного нагрева, термической обработки машиностроительных деталей и др.

В 1964 г. В. Н. Богданов защитил кандидатскую диссертацию.

В этот период Валентин Николаевич был уже крупным специалистом в области сварки и в 1966 г. приказом министра электротехнической промышленности был назначен заместителем директора по научной работе ВНИИЭСО, а в 1967 г. — директором института и проработал в этой должности до июля 1981 г.

Валентин Николаевич большое внимание уделял строительству Псковского завода тяжелого электросварочного оборудования, развитию плазменных методов обработки металлов, организации во ВНИИЭСО лаборатории высокочастотной сварки, технологических отделов, работавших с заводами подотрасли, укреплению научно-технических связей с предприятиями Минэлектропрома.

Поистине неоценим вклад В. Н. Богданова в создание и внедрение новейших образцов сварочной и высокочастотной техники.

Все, кто встречался с Валентином Николаевичем, отмечают его профессиональные знания в области индукционного нагрева и сварки, его исключительную выдержку при обсуждении различных технических и организационных вопросов.

Он всегда старался убедить, но не приказать. Валентин Николаевич был исключительно обаятельным человеком и внешне, и внутренне.

Государство и научно-техническая общественность страны высоко оценили труд В. Н. Богданова. Он лауреат Государственной премии, награжден орденами Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени и многими медалями.

Товарищи, друзья, коллеги ВНИИТВЧ и ВНИИЭСО продолжают дело, которому служил Валентин Николаевич, сохраняя светлую память об этом замечательном человеке и специалисте.

В. В. СМЕРНОВ, д-р техн. наук
(Институт сварки России),
А. Н. ШАМОВ, канд. техн. наук,
В. Н. ИВАНОВ, д-р техн. наук
(ВНИИТВЧ им. В. П. Вологодина)

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA W GLIWICACH

(Рос. 52, N 2, 2008, Польша)

Zeman M. Оценка свариваемости термоулучшенной высокопрочной стали Weldox 110. S. 19—25.

Klimpel A., Czuprynski A., Gorka J., Strykowski P. Плазменная наплавка алюминиевой бронзы порошком на основе никеля. P. 26—30, 33.

Szubert L., Skoczewski P. Многопостовая система активизации параметров процесса точечной сварки, разработанная в Институте сварки. S. 33—36.

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 77, N 2, 2008, Япония)

Kaneko K. Объемная томография с применением просвечивающего электронного микроскопа. P. 5—8.

Специальный выпуск.

Новые разработки в области повышения функциональности сварочного процесса

Результаты анкетирования по новым разработкам в области повышения функциональности сварочного процесса. P. 10—26.

Ueyama T. Сварочные источники. P. 27—32.

Hirota Y. Роботы. P. 33—37.

Koshiishi F. Сварочные материалы. P. 38—43.

Sato T. Защитный газ. P. 44—48.

Nakata K. Новое содержание журнала Японского сварочного общества. P. 49.

Tanaka M. Способы сварки и сварочное оборудование. Ч. 1. Дуговая и ТИГ-сварка. P. 50—60.

Ohata M. Теоретическая механика и расчет сварных конструкций. Ч. 3. Теоретическая механика и прочность материалов. P. 61—71.

Aoki A. Международная выставка роботов в Чикаго. P. 72—73.

PRZEGLAD SPAWALNICTWA (N 4, 2008, Польша)

Nowacki J., Urbański M., Zając P. Дуговая сварка порошковой проволокой дуплексных сталей при изготовлении судов для транспортировки химических веществ. S. 3—10.

Klimpel A., Czupryński A., Górka J., Kik T., Dratwa D. Испытания технологии сваркопайки плазменной дугой прямого действия в процессе выполнения соединений солнечных коллекторов. S. 11—16.

Krawczyk S., Skorupa A. Исследования механических свойств сварных соединений ER-F при повышенных температурах. S. 21—23.

Jezierski G. Компьютерная радиография — непрямая цифровая радиография. S. 24—28.

Wegrzyn T., Szopa R., Miros M. Неметаллические включения в наплавленном металле защитных электродов, используемых для сварки низкоуглеродистой и низколегированной стали. S. 29—32.

Cukrowski P., Pakos R. Оценка размеров отражателя в процессе ультразвуковых испытаний с помощью программы "DGS" (распределенная САПР) — применяемый алгоритм. Ч. 2. S. 33—38.

Krzysztof Luksa K., Klimpel A. Роботизированная сварка стыковых и тавровых швов листового металла толщиной 3,0 мм из алюминиево-магниевых сплавов. S. 3—5.

Ambroziak A. et al. Испытания тонкостенных стальных соединений, выполненных точечной сваркой и электрозаклепками. S. 6—11.

Kaydalov A. Сварка кольцевых швов стальных труб — подготовка кромок. S. 12—16.

Iwaszko J. et al. Модификация поверхностного слоя быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии, благодаря использованию сварочных источников питания. S. 29—35.

Jasiński W., Zawada P. Изменение микроструктуры соединений сварных железных суперсплавов IN 519 и H39WM в процессе эксплуатации. S. 36—42.

RIVISTA ITALIANA DELLA SALDATURA (An. LX., № 2, 2008, Италия)

Fersini M., Matera S. Процесс сварки синхронизированными последовательными дугами конструкционных сталей как альтернативная технология традиционным технологиям дуговой сварки. P. 181—189.

Bresciani F., Peri F. Опыт контроля и техобслуживания участков резервуаров-хранилищ нефтепродуктов. P. 191—200.

Possenti L. et al. Промышленное применение высокопроизводительной наплавки слоя аустенитной стали с высоким содержанием молибдена на внутреннюю поверхность сосудов давления, изготовленных из Cr—Mo- и Cr—Mo—V-сплавов. P. 203—213.

Merlin M. et al. Влияние процесса пайки на микроструктурные характеристики соединений из медных сплавов. P. 217—227.

Barbieri G. et al. Электронно-лучевая сварка при изготовлении ВЧ-контактов для большого адронного коллайдера. P. 231—239.

Piccardo P., Amendola R. Цветная металлография в исследовании остаточных напряжений сварных соединений. P. 243—249.

Замечания об энергетическом КПД сварки. P. 253—256.

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).

Патенты РФ на изобретения в области сварки*

Способ контактной стыковой сварки оплавлением стальных рельсов. 2296655 (C2). Д. И. Беляев (UA), А. В. Бондарук (UA), А. В. Гудков (RU), В. М. Федин (RU), А. И. Николлин (RU).

Способ диффузионной сварки слоистых титановых тонкостенных конструкций сложного профиля. 2296656 (C1). А. В. Пешков (RU), В. Р. Петренко (RU), В. В. Пешков (RU), В. Ф. Селиванов (RU). Воронежский государственный технический университет (RU).

Способ образования стыковых сварных швов на трубах. 2296657 (C2). С. И. Козий (RU), Г. А. Батраев (RU), С. С. Козий (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU), ООО "Ремонтно-механический завод" (RU).

Способ образования стыковых сварных швов на трубах. 2296658 (C2). С. И. Козий (RU), Г. А. Батраев (RU), С. С. Козий (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU), ООО "Ремонтно-механический завод" (RU).

Способ пайки литого инструментального сплава с конструкционной сталью. 2297307 (C1). А. Г. Багинский (RU), Ю. П. Егоров (RU), А. Г. Мельников (RU), О. М. Утьев (RU). Томский политехнический университет (RU).

Устройство для индукционной пайки соединительной муфты волновода. 2297308 (C2). Ю. М. Тихомиров (RU), А. С. Дегтерев (RU). "Центральное конструкторское бюро "Геофизика" (RU).

Способ управления процессом сварки. 2297309 (C1). О. Г. Брунов (RU). Томский политехнический университет (RU).

Способ нанесения наплавки лучом лазера. 2297310 (C2). А. В. Баранов (RU), В. О. Попов (RU), Л. П. Розовская (RU), И. П. Попова (RU). ЦНИИ КМ "Прометей" (RU).

Состав покрытия для защиты поверхности свариваемого изделия от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением. 2297311 (C1). Д. П. Ильященко (RU), С. Б. Сапожков (RU), Е. А. Зернин (RU). Томский политехнический университет (RU).

Способ производства передельной прямошовной трубной заготовки из сплавов на основе титана для прокатки холоднокатаных труб большого и среднего диаметров с повышенной точностью по стенке. 2297896 (C2). А. В. Сафьянов (RU), А. А. Федоров (RU), В. И. Тазетдинов (RU), И. И. Вольберг (RU), Н. Г. Дановский (RU), Б. С. Литвак (RU), Л. И. Лапин (RU), И. А. Романцов (RU), С. В. Ненахов (RU), В. А. Головинов (RU), С. А. Андрюнин (RU), К. Н. Никитин (RU), А. Ю. Матюшин (RU), В. А. Логовиков (RU). ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" (RU).

Дисковый нож. 2297902 (C1). В. В. Карих (RU), В. В. Неверов (RU). Липецкий государственный технический университет (RU).

Способ пайки. 2297905 (C2). В. И. Биркин (RU), О. Г. Кудашов (RU), И. А. Фролов (RU). Воронежский механический завод (RU).

Способ соединения трубчатых деталей кузнечной сваркой. 2297906 (C2). Р. Э. Олфорд (NL), Э. Т. Коул (NL),

К. Димитриадис (NL). "ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ МААТСХАППИЙ Б. В." (NL).

Припой для пайки алюминиевых сплавов и способ его получения. 2297907 (C1). В. Ю. Конкевич (RU), В. В. Степанов (RU), А. А. Суслов (RU), Н. В. Кургузов (RU), В. А. Фролов (RU), Ю. П. Пименов (RU), В. В. Белоцерковец (RU). ОАО "Всероссийский институт легких сплавов" (RU).

Способ сварки. 2298465 (C1). В. К. Драгунов (RU), Р. М. Голубчик (RU), А. И. Самолетов (RU), А. П. Слива (RU). Московский энергетический институт (технический университет) (RU).

Способ восстановления изношенных поверхностей стальных деталей. 2299115 (C1). М. М. Берзин (RU), А. И. Пурехов (RU), С. А. Бульканов (RU), С. Г. Суслин (RU), И. Т. Можилев (RU), А. Н. Филиппов (RU), М. М. Бульканова (RU).

Установка порошковой лазерной стереолитографии. 2299787 (C2). К. Е. Белявин (BY), Д. В. Минько (BY), О. О. Кузнецик (BY), Ю. А. Чивель (BY), В. К. Павленко (BY). Институт порошковой металлургии (BY), Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Республики Беларусь (BY).

Устройство для ультразвукового лужения изделий. 2299792 (C1). А. А. Новик (RU). ООО "Ультразвуковая техника-инлаб" (RU).

Газосварочная горелка. 2299793 (C1). Г. Л. Хачатрян (RU), Ю. К. Родин (RU), С. В. Соколов (RU).

Однофазный сварочный стабилизатор тока. 2299794 (C1). В. Т. Тарасов (RU).

Устройство для электроконтактной приварки ферромагнитных порошков. 2299795 (C1). Р. Н. Сайфуллин (RU), М. Н. Фархшатов (RU). Башкирский государственный аграрный университет (RU).

Состав сварочной проволоки. 2299796 (C2). А. В. Сурков (RU), В. А. Стародубцев (RU), В. В. Яковлев (RU), Л. А. Бастаков (RU), А. И. Малошенко (RU), А. А. Баргов (RU). ОАО "Уралмашзавод" (RU).

Способ изготовления плакированной фольги прокаткой. 2300450 (C2). В. Ю. Арышенский (RU), Ф. В. Гречников (RU), В. Р. Каргин (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU).

Способ образования стыковых сварных швов на трубах. 2300451 (C2). С. И. Козий (RU), Г. А. Батраев (RU), С. С. Козий (RU). Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU), ООО "Ремонтно-механический завод" (RU).

Порошковая проволока 48ПП-10Т для сварки хладостойких низколегированных сталей. 2300452 (C1). В. А. Малышевский (RU), Р. В. Бишопов (RU), П. В. Мельников (RU), Л. А. Березовская (RU). ЦНИИ КМ "Прометей" (RU).

Устройство для сварки под флюсом толстолистовых мостовых конструкций. 2301135 (C1). В. Г. Гребенчук (RU), И. В. Гребенчук (RU), Д. Н. Парышев (RU), В. И. Копырин (RU), В. К. Сидоров (RU). ЗАО "Курганстальмост" (RU).

Способ контроля глубины проплавления сварных соединений. 2301136 (C2). А. А. Кислицкий (RU), В. И. Васильков (RU), А. М. Лузин (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ электронно-лучевой сварки оболочек тепловыделяющих элементов. 2301137 (C2). А. А. Кислицкий (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Устройство для сборки и сварки труб. 2301138 (C1). В. П. Коняев (RU), Е. Н. Фоминых (RU), Р. Н. Катырева (RU), И. А. Байкова (RU), Н. В. Никитина (RU). ОАО "Электростальский завод тяжелого машиностроения" (RU).

Устройство для сборки штуцеров с цилиндрическими изделиями. 2301139 (C2). Г. М. Буласов (RU), Ю. А. Тенев (RU), В. А. Панов (RU), В. Л. Мирочник (RU), А. А. Павлов (RU), Э. К. Лемякин (RU). ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры" (RU).

А. КАЗАКОВ, инж.

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

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

Алфавитный указатель статей за 2008 г.

- Айрапетян А. Р., Беляков А. В.** — Оценка инновационного потенциала предприятия в современных условиях — № 2.
- Аммосов А. П., Аммосов Г. С.** — Вязкость разрушения в оценке распространения хрупкой трещины в стальных конструкциях при пониженной температуре — № 6.
- Аммосов А. П., Аммосов Г. С., Аминов Т. Ш., Ильин Г. Ю., Антонов А. А.** — Коррозионная повреждаемость сварных соединений резервуаров — № 7.
- Арсеньева Н. В.** — Методика разработки инновационного плана для предприятий машиностроительного комплекса — № 1.
- Архипов В. Е., Москвитин Г. В., Поляков А. Н.** — Структура и свойства покрытий, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза — № 3.
- Бабкин А. С., Голубев В. А., Рошупкин В. Н., Гончаров А. Н.** — Исследование влияния состава газовых смесей на температуру плазмы сварочной дуги — № 7.
- Бажанов А. В., Фролов В. А., Федоров С. А., Степанов В. В.** — Моделирование процесса низкотемпературной светолучевой пайки изделий электронной техники — № 10.
- Барабанова О. А., Могорычный В. И., Набатчиков С. В.** — Создание слоистых композиционных материалов для производства высокоэффективной и компактной теплообменной аппаратуры способом диффузионной сварки — № 10.
- Батов Г. П., Бирюкова Н. П., Ермолаев А. А.** — 1-я Международная школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений" — № 3.
- Борису Евгеньевичу Патону** — 90 лет — № 11.
- Безбородов И. А.** — Совершенствование расчета параметров режима механизированной наплавки — № 1.
- Бендерский Г. П., Федоров В. К., Кислуха А. Е.** — Управление инновационным процессом в условиях действия государственного оборонного заказа — № 4.
- Бербасова Н. Ю., Куликов В. П., Основский В. А., Тарасенко С. И.** — Повышение качества сварных конструкций на основе системно-процессного моделирования — № 3.
- Бернадский В. Н.** — Новые рубежи Института сварки Франции — № 9.
- Болдырев А. М., Биржев В. А., Мартыненко А. И.** — Исследование влияния переменного аксиального магнитного поля на процесс плавления электродной проволоки — № 2.
- Ботвинников А. Ю., Нейфельд О. И., Ефименко Л. А., Капустин О. Е.** — Влияние термической обработки на структуру и свойства сварных соединений штампованных деталей из стали 10Г2ФБЮ — № 12.
- Брунов О. Г., Солодкий С. А.** — Физико-математическое моделирование перехода капли электродного металла в сварочную ванну — № 4.
- Будкин Ю. В.** — Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов в сварочном производстве — № 3.
- Будкин Ю. В.** — Технологичность сварных конструкций на этапах жизненного цикла — № 10.
- Будкин Ю. В.** — Управление процессами в сварочном производстве (на примере инновационных процессов) — № 8.
- Будкин Ю. В., Сивов Е. Н., Казаков В. А., Подольский А. Я.** — Комплекс технологических решений при сварке крупногабаритных конструкций из молибденовых сплавов — № 10.
- Верещаго Е. Н., Квасницкий В. Ф., Костюченко В. И.** — Квазирезонансный источник питания PLASMA 110i HF для плазменной резки — № 6.
- Винклер Ф.** — Эффективное применение порошковых проволок при дуговой сварке — № 1.
- Волков С. С.** — Технологические возможности ультразвуковой сварки капролона — № 8.
- Волков С. С.** — Ультразвуковая контурная сварка тары из полимерных материалов, наполненной пищевыми продуктами — № 1.
- Волков С. С.** — Ультразвуковая сварка синтетических тканей технического назначения — № 2.
- Волобуев Ю. С., Потапов Н. Н., Старченко Е. Г., Волобуев О. С.** — Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности — № 12.
- Волобуев Ю. С., Сурков А. В., Волобуев О. С., Кипиани П. Н., Шестов Д. В., Павлов Н. В., Савченко А. И.** — Разработка и опыт использования керамического флюса ФКН-7 при восстановлении деталей железнодорожного подвижного состава — № 9.
- Волочиенко В. А.** — Выполнение оперативных планов производства в реальном масштабе времени на основе распознавания проблемных ситуаций — № 7.
- Выбойщик Л. М., Лучкин Р. С., Платонов С. Ю.** — Структурный фактор коррозионно-механической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб — № 6.
- Головин С. И., Аверченко В. А., Попович Л. Г., Пузряков А. Ф.** — Математическая модель сверхзвукового воздушно-плазменного напыления покрытий — № 2.
- Гриненко В. И., Рошин В. В., Хаванов В. А., Полосков С. И.** — Автоматизация сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций — № 6.
- Гришагин В. М., Нестерук Д. Н.** — Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ — № 3.
- Гуревич В. И.** — Тепловое взаимодействие сварочной ванны — № 3.
- Демин В. А., Ужва В. В.** — Интегрированная система подготовки специалистов — № 7.
- Демченко А. И., Рафальский А. С.** — Применение контактной точечной и рельефной сварки при изготовлении термозащитных автоматических выключателей — № 8.
- Драгунов В. К., Гончаров А. Л., Слива А. П.** — Пространственные параметры электронного пучка при взаимодействии с намагниченной мишенью — № 12.
- Дубровский В. А., Зезюля В. В., Столяров И. В.** — Расчет прямых затрат на электроконтактную наварку проволокой оплавлением — № 12.
- Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н., Морозкин И. С.** — Прогрессивные технологии восстановления деталей подвижного состава железных дорог — № 1.
- Ежов Г. П.** — Современный производственный менеджмент и перспективы его развития — № 6.
- Ефименко Л. А., Капустин О. Е., Илюхин В. Ю., Коновалова О. В.** — Анализ склонности трубных сталей различной категории прочности к деформационному старению — № 1.
- Журавлев В. В.** — Особенности пайки алмазных резцов — № 6.

Завалихин Д. В., Фролов В. А., Федоров С. А. — Опыт и перспективы разработки оборудования для сварки, пайки и термической обработки световым лучом (обзор) — № 3.

Зубков Н. С., Золотов А. А. — Повышение износостойкости наплавленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы — № 7.

Иванов А. Н. — 10-я Международная выставка "Металлообработка — 2008" — № 12.

Иванов А. Н. — Международный промышленный форум — 2007 — № 4.

Иванов А. Н. — Международный форум "Высокие технологии XXI века" — № 9.

Иванов А. Н. — 7-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации — 2007" — № 2.

Иванов А. Н. — 4-я Международная специализированная выставка "Трубопроводный транспорт — 2008" — № 8.

Ильина И. И. — Семинар "Материалы и оборудование для производства паяных конструкций" — № 7.

Илясов Е. П., Лисичкин С. В. — О методе оценки эффективности работы центров содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников вузов — № 4.

Интервью с зав. кафедрой "Технология сварочного производства" "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского, д-ром техн. наук В. А. Фроловым — № 10.

Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. — Стойкость наплавленных самофлюсующих сплавов против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах — № 5.

Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. — Формирование зоны сплавления при плазменной порошковой наплавке — № 12.

Калашникова И. А., Калашников А. В. — Технология получения порошка на основе базальта, используемого при газотермическом напылении износостойких покрытий — № 9.

Карезин В. В. — Выбор вуза — служба занятости или центр развития карьеры? — № 5.

Кархин В. А., Хомич П. Н., Раямяки П. — Анализ химической макронеоднородности вблизи границы шва при сварке плавлением — № 8.

Кархин В. А., Хомич П. Н., Федотов Б. В., Раямяки П. — Анализ термических циклов при контактной стыковой сварке стали оплавлением — № 1.

К 90-летию В. Н. Богданова — № 12.

Кириян В. И., Кныш В. В. — Высокочастотная механическая проковка сварных соединений металлоконструкций — № 11.

Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И. — Инверторный источник питания для сварки модулированным током — № 5.

Колупаев Ю. Ф. — Новые материалы и технологии в производстве ювелирных изделий — № 10.

Коробов Ю. С., Белозерцев А. А., Филиппов М. А., Шумяков В. И. — Модель нагрева порошковой проволоки при дуговой металлизации и анализ структуры покрытия — № 12.

Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. — Развитие импульсно-дуговых процессов сварки в ЮТИ ТПУ — № 7.

Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я., Мухаметрахимов М. Х., Руденко О. А., Сафиуллин Р. В. — Контактная сварка заготовок из субмикроструктурного титанового сплава ВТ6 для изготовления многослойных ячеистых конструкций — № 3.

Куршаков Л. Е., Мироненко В. В. — Некоторые аспекты возрождения российского машиностроительного комплекса в свете диверсификации отечественной экономики — № 5.

Кучук-Яценко С. И., Швеи В. И., Дидковский А. В., Таранова Т. Г. — Исследование свариваемости контактным способом термоупрочненных рельсов современного производства — № 11.

Лабур Т. М., Ищенко А. Я., Таранова Т. Г., Григоренко Г. М., Костин В. А. — Влияние основных технологических факторов сварки на характер разрушения сплавов В96 и В96с в зоне термического влияния — № 11.

Ланкин Ю. Н., Москаленко А. А., Тюкалов В. Г., Ковтуненко В. А., Куран Р. И., Кузьменко Д. Ю. — Опыт применения электрошлаковой сварки при монтаже металлургического оборудования — № 6.

Лебедев В. А. — Вопросы динамики системы подачи электродной проволоки — № 5.

Лебедев В. А. — Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки — № 7.

Лебедев В. А. — Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке — № 8.

Лебедев В. К., Лебедев А. В., Бушкетт Ю. П., Дубко А. Г., Шелест Н. А., Васильченко В. А., Сидоренко Д. Ф., Сазонов В. Я., Масалов Д. В. — Применение сварки в хирургии — № 11.

Левин Ю. Ю., Ерофеев В. А. — Расчет параметров импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов малой толщины — № 4.

Лобанов Л. М., Пивторак В. А., Савицкий В. В., Ткачук Г. И. — Оперативное определение остаточных напряжений в сварных соединениях и элементах конструкций методом электронной спекл-интерферометрии — № 11.

Лукин В. И., Жегина И. П., Лавренчук В. П., Базескин А. В., Котельникова Л. В. — Влияние методов сварки на прочностные характеристики и характер разрушения сварных соединений сплава системы Al—Mg—Li — № 2.

Лысенко Л. Д., Шабалина Е. В. — Пайка узла из тугоплавких материалов с рабочей температурой до 1800 °С — № 9.

Люшинский А. В., Малинов В. И., Качалин Н. И., Баранов Г. В. — Особенности диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ 95 — № 8.

Макиенко В. М., Баранов Е. М., Романов И. О., Строителей Д. В. — Порошковая проволока для наплавки высокомарганцевой аустенитной стали — № 5.

Макиенко В. М., Романов И. О., Баранов Е. М., Строителей Д. В. — Повышение хладостойкости аустенитной стали при восстановлении изношенных поверхностей электродуговой наплавкой порошковыми проволоками — № 6.

Максимов С. Ю. — Подводная дуговая сварка низколегированных сталей повышенной прочности — № 11.

Малич Н. В. — Основные формы развития сотрудничества Московского энергетического института (ТУ) и предприятий в условиях рыночной экономики — № 6.

Мачнев Е. А., Фролов В. А. — Особенности компьютерного образования в подготовке инженеров-сварщиков — № 10.

Машрабов Н. — Устройство для подачи вращающейся наплавочной проволоки — № 12.

Мейстер Р. А., Мейстер А. Р., Безруких А. А. — Многодуговая наплавка покрытыми электродами — № 8.

Мейстер Р. А., Мейстер А. Р. — Особенности горения дуги при сварке покрытыми электродами на малых токах — № 7.

Меньшиков Г. А., Антонов В. Г. — Применение припоев при точечной контактной сварке соединений из алюминиево-магниевого сплава — № 2.

Меньшиков Г. А., Антонов В. Г., Сагитов Ю. Х. — К вопросу изучения механизма перемешивания жидкого металла в ядре при контактной сварке — № 12.

Меньшиков Г. А., Антонов В. Г., Севрюков О. Н., Федотов В. Т. — Применение припоев для контроля качества соединений из титановых сплавов, выполненных точечной контактной сваркой — № 5.

Меньшиков Г. А., Власенко А. Н., Невровский В. А., Васин В. А. — Повышение работоспособности электродов при точечной контактной сварке сталей — № 10.

Местлицкий В. А., Осин В. В. — Дуговая наплавка слоя износостойкого высокохромистого чугуна — № 4.

Михеев А. А., Прокопьев С. В. — Формирование переходной зоны при диффузионной сварке пьезокерамики с металлами — № 3.

Мосягин А. С., Алексеев И. В., Михнин И. Д. — Технологический процесс изготовления сварных сотовых блоков — № 2.

Муравьев В. И., Долотов Б. И., Демисhev П. Г., Физулаков Р. А. — Формирование структуры металла шва титановых сплавов при электронно-лучевой сварке и сварке погруженным вольфрамовым электродом — № 7.

Мчедлов С. Г. — Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 2. Плазменное напыление — № 5.

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

Назаренко О. К. — Совершенствование электронно-лучевого сварочного оборудования — № 11.

Нафиков М. З. — Методика определения сопротивления пластической деформации присадочной проволоки при электроконтактной наплавке — № 3.

Нафиков М. З., Загиров И. И. — Расчет параметров формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки — № 8.

Негода Е. Н. — Оценка выносливости сварных соединений из стали ВСтЗсп при наличии остаточных напряжений — № 4.

Немова Т. Н., Степанов А. П. — Вихревой механизм возбуждения электрической сварочной дуги — № 6.

Николаев А. И., Петров В. Б., Плешаков Ю. В., Брусицын Ю. Д., Баранов А. В. — Характеристика сырьевой базы Мурманской области, компонентов электродных покрытий и флюсов для сварки — № 5.

Носов В. К., Уваров В. Н., Мамонов С. А. — Повышение профессиональной подготовки выпускников вузов и содействие их трудоустройству — № 8.

Оголихин В. М., Шемелин С. Д. — Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом — № 9.

Палиевская Е. А., Сидлин З. А. — Семинар электродчиков — № 12.

Панфилов В. А., Мурашко В. М., Тарасов А. Н. — Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана — № 6.

Патенты РФ на изобретения в области сварки — № 7, 8, 12.

Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки — № 1—5.

Пашков А. И., Герасимов С. П., Пашков И. Н. — Особенности пайки порошковым припоем системы медь—марганец—никель — № 10.

Пашков А. И., Пашков И. Н., Родин И. В. — Новые способы получения припоев системы медь—марганец—никель — № 7.

Переpletчиков Е. Ф., Рябцев И. А. — Плазменно-порошковая наплавка режущего инструмента — № 11.

Плаунов В. П. — Семинар "Пайка — 2007" — № 2.

Потапов Н. Н., Волобуев Ю. С., Феклистов С. И. — Особенности практики использования ГОСТ Р 52222—2004 "Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки" — № 6.

Потапов Н. Н., Феклистов С. И., Волобуев Ю. С. — Методика выбора плавных флюсов при сварке перлитно-ферритных сталей — № 3.

Потехин Б. А., Измайлов Д. К. — Особенности диффузионной сварки в вакууме без приложения внешнего давления — № 2.

Походня И. К. — К 75-летию ИЭС им. Е. О. Патона — № 11.

Родин М. Е., Семенов А. Н., Плышевский М. И., Ривкин Е. Ю., Суглобова Л. В., Тюрин В. Н. — Исследование механических свойств сварных соединений коррозионно-стойкой стали со сплавами титана — № 6.

Рябцев И. И. — Улучшение отделимости шлаковой корки при дуговой наплавке под флюсом — № 2.

Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Селиванов Ю. В. — Влияние режимов ручной дуговой сварки на характер коррозионного разрушения в кислых средах сварных соединений стали 12X18H10T — № 4.

Семенов А. Н., Плышевский М. И., Ривкин Е. Ю., Новожилов С. Н., Суглобова Л. В., Тюрин В. Н. — Сварка коррозионно-стойкой стали со сплавами титана — № 2.

Сидлин З. А., Гольдинберг П. И., Ветров Д. В. — Автоматизация производства сварочных материалов — повышение стабильности их качества — № 2.

Сидоров В. П. — Методика определения точности поддержания параметров режима при точечной контактной сварке — № 9.

Сидоров В. П., Ковтунов А. И., Чермашенцева Т. В., Селянин П. Н. — Исследование структурной наследственности при пайке алюминиевых сплавов — № 1.

Сидякин В. А. — Компьютерная модель температурного поля в пластине при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом — № 10.

Содержание зарубежных журналов по сварке — № 1—9, 11, 12.

Старостин Н. П., Аммосова О. А. — Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Ч. 2. Исследование процесса охлаждения — № 9.

Суслов Ан. А. — 8-й Международный салон инноваций и инвестиций — № 6.

Суслов Ан. А. — 5-я Международная специализированная выставка "Робототехника — 2007" — № 2.

Суслов Ан. А. — 5-я Международная специализированная выставка и конференция "Покрытия и обработка поверхностей — 2008" — № 7.

Суслов Ан. А. — 7-я Международная специализированная выставка "РОССВАРКА/WELDEX — 2007" — № 1.

Суслов Ан. А. — 4-я Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007" — № 3.

Тарасов А. Н., Панфилов В. А., Павловский Н. Р. — Структура и свойства железокобальтовых пермендюраторов при

изготовлении сварных и паяных магнитопроводов электрических реактивных двигателей малой тяги — № 1.

Тополянский П. А. — 10-я Международная научно-техническая конференция "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки" — № 6.

Троицкий В. А., Радько В. П., Давыдов Е. А., Шевченко И. Я. — Акустический контроль материалов и сварных соединений — № 11.

Трыков Ю. П., Трыков А. Ю., Гуревич Л. М., Гурулев Д. Н., Петров А. Э. — Технология изготовления титаностальных переходников с паяно-сварными стыковыми соединениями — № 7.

Уситаля Ю., Мосягин А. С., Линовский С. А. — Новая технология сварки модифицированной короткой дугой — № 6.

Федоренко Г. А., Андреев Г. М. — Эффективность газовой защиты при сварке соединений с глубокими узкими разделками — № 12.

Фролов В. А., Иванюхин А. Н., Сабанцев А. Н., Диденко С. А., Конкевич В. Ю., Белоцерковец В. В. — Сварка трением с перемешиванием — плюсы и минусы — № 10.

Фролов В. А., Никитина Е. В. — Исследование причин потери герметичности при аргонодуговой сварке сплавов ВAl16 и 1420 — № 1.

Фролов В. А., Никитина Е. В., Троянов И. М. — Повышение пластичности металла шва соединений из вторичных алюминиевых сплавов — № 10.

Фролов В. А., Федоров С. А. — Новые подходы к организации образовательной системы технологического вуза и направления ее развития — № 10.

Фролов В. А., Федоров С. А. — Основные цели и направления реформирования системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля — № 2.

Фролов В. П., Плаунов В. П. — Роль научных школ в решении научно-технических проблем — № 6.

Хорев А. И. — Высокопрочный титановый сплав BT23 и его применение в перспективных сварных и паяных конструкциях — № 9.

Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Зволинский И. В. — Припои на основе системы Ni—Cr—Zr для пайки жаропрочных никелевых сплавов — № 11.

Хромченко Ф. А. — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории — № 4.

Хромченко Ф. А. — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 2. Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий — № 5.

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

Хромченко Ф. А., Федосеенко А. В. — Жаропрочность сварных соединений паропроводов с дефектами в металле шва. Ч. 2. Результаты стендовых испытаний натурных сварных трубных моделей с дефектами — № 9.

Цукуров О. А. — Требования к процессам сварки в технических регламентах. Модель изложения, выполнения и процедуры подтверждения соответствия — № 4.

Черных А. В., Черных В. В. — Расчет температуры электродных капель при дуговой сварке плавящимся электродом с помощью метода конечных элементов — № 3.

Чертов В. М. — Термическая обработка и сварка разнородных сталей — № 9.

Шахматов М. В., Айметов С. Ф., Айметов Ф. Г. — Оценка несущей способности тавровых сварных соединений с непроварами в условиях вязкого разрушения при изгибе — № 4.

Шейнман Е. Л. — Стандарт ASTM на сварку отливок — № 1.

Шекуров А. В., Коротков В. А. — Влияние полярности дуги на глубину и твердость слоя плазменной закалки стали 40 — № 7.

Шехорин В. К. — Экологический подход к проектированию технологических процессов в машиностроении — № 9.

Шибалов М. В., Куфайкин А. Я. — Снижение дефектности паяных швов при изготовлении форсуночной головки — № 3.

Штрикман М. М. — Первая международная конференция и выставка "Соединение алюминиевых конструкций" — № 5.

Штрикман М. М. — Сварка линейным трением — № 12.

Языков Ю. Ф., Алексина И. В. — Преимущества сварки в защитных газовых смесях — № 9.

Г. В. Конюшкову — 70 лет — № 9.

Л. П. Лялякину — 70 лет — № 9.

О. И. Стеклову — 75 лет — № 8.

Аверченко В. А. — № 2.

Айметов С. Ф. — № 4.

Айметов Ф. Г. — № 4.

Айрапетян А. Р. — № 2.

Алексеев И. В. — № 2.

Алексина И. В. — № 9.

Аминов Т. Ш. — № 7.

Аммосов А. П. — № 6, 7.

Аммосов Г. С. — № 6, 7.

Аммосова О. А. — № 9.

Андреев Г. М. — № 12.

Антонов А. А. — № 7.

Антонов В. Г. — № 2, 5, 12.

Арсеньева Н. В. — № 1.

Архипов В. Е. — № 3.

Бабкин А. С. — № 7.

Бажанов А. В. — № 10.

Базескин А. В. — № 2.

Барабанова О. А. — № 10.

Баранов А. В. — № 5.

Баранов Г. В. — № 8.

Баранов Е. М. — № 5, 6.

Батов Г. П. — № 3.

Безбородов В. П. — № 4.

Безбородов И. А. — № 1.

Безруких А. А. — № 8.

Белозерцев А. А. — № 12.

Белоцерковец В. В. — № 10.

Беляков А. В. — № 2.

Бендерский Г. П. — № 4.

Бербасова Н. Ю. — № 3.

Бернадский В. Н. — № 9.

Биржнев В. А. — № 2.

Бирюкова Н. П. — № 3.

Болдырев А. М. — № 2.

Ботвинников А. Ю. — № 12.

Брунов О. Г. — № 4.

Брусницын Ю. Д. — № 5.

Будкин Ю. В. — № 2, 8, 10.

Бушкетт Ю. П. — № 11.

Васильченко В. А. — № 11.

Васин В. А. — № 10.

Верещаго Е. Н. — № 6.

Ветров Д. В. — № 2.

Винклер Ф. — № 1.

Власенко А. Н. — № 10.

Волков С. С. — № 1, 2, 8.

Волобуев О. С. — № 9, 12.

Волобуев Ю. С. — № 3, 6, 9, 12.

Волочийенко В. А. — № 7.

Выбойщик Л. М. — № 6.

Герасимов С. П. — № 10.

Головин С. И. — № 2.

Голубев В. А. — № 7.

Гольдинберг П. И. — № 2.

Гончаров А. Л. — № 12.

Гончаров А. Н. — № 7.

Григоренко Г. М. — № 11.

Гриненко В. И. — № 6.

Гришагин В. М. — № 3.

- Гуревич В. И. — № 3.
Гуревич Л. М. — № 7.
Гурулев Д. Н. — № 7.
- Давыдов Е. А. — № 11.
Деменцев К. И. — № 5.
Демин В. А. — № 7.
Демченко А. И. — № 8.
Демышев П. Г. — № 7.
Диденко С. А. — № 10.
Дидковский А. В. — № 11.
Долотов Б. И. — № 7.
Драгунов В. К. — № 12.
Дубко А. Г. — № 11.
Дубровский В. А. — № 12.
Дюргероу Н. Г. — № 1.
- Ежов Г. П. — № 6.
Ермолаев А. А. — № 3.
Ерофеев В. А. — № 4.
Ефименко Л. А. — № 1, 12.
- Жегина И. П. — № 2.
Журавлев В. В. — № 6.
- Завалихин Д. В. — № 3.
Загиров И. И. — № 8.
Зволинский И. В. — № 11.
Зезюля В. В. — № 12.
Золотов А. А. — № 7.
Зубков Н. С. — № 7.
- Иванов А. Н. — № 2, 4, 8, 9, 12.
- Иванов В. Н. — № 12.
Иванюхин А. Н. — № 10.
Измайлов Д. К. — № 2.
Ильин Г. Ю. — № 7.
Ильина И. И. — № 7.
Илюхин В. Ю. — № 1.
Илясов Е. П. — № 4.
Исакаев Э. Х. — № 5, 12.
Ищенко А. Я. — № 11.
- Казаков А. В. — № 12.
Казаков В. А. — № 10.
Калашников А. В. — № 9.
Калашникова И. А. — № 9.
Капустин О. Е. — № 1, 12.
Карезин В. В. — № 5.
Кархин В. А. — № 1, 8.
Качалин Н. И. — № 8.
Квасницкий В. Ф. — № 6.
Кипиани П. Н. — № 9.
Кириян В. И. — № 11.
Кислуха А. Е. — № 4.
Князьков А. Ф. — № 5.
Князьков С. А. — № 5.
Кныш В. В. — № 11.
Ковтуненко В. А. — № 6.
Ковтуноу А. И. — № 1.
Колупаев Ю. Ф. — № 10.
Конкевич В. Ю. — № 10.
Коновалова О. В. — № 1.
Коробов Ю. С. — № 12.
Коротков В. А. — № 7.
Костин В. А. — № 11.
Костюченко В. И. — № 6.
Котельникова Л. В. — № 2.
- Крампит А. Г. — № 7.
Крампит Н. Ю. — № 7.
Круглов А. А. — № 3.
Кузьменко Д. Ю. — № 6.
Куликов В. П. — № 3.
Куран Р. И. — № 6.
Курдюков А. В. — № 10.
Куршаков Л. Е. — № 5.
Куфайкин А. Я. — № 3.
Кучук-Яценко С. И. — № 11.
- Лабур Т. М. — № 11.
Лавренчук В. П. — № 2.
Ланкин Ю. Н. — № 6.
Лебедев А. В. — № 11.
Лебедев В. А. — № 5, 7, 8.
Лебедев В. К. — № 11.
Левин Ю. Ю. — № 4.
Линовский С. А. — № 6.
Лисичкин С. В. — № 4.
Лобанов Л. М. — № 11.
Лукин В. И. — № 2.
Лутфуллин Р. Я. — № 3.
Лучкин Р. С. — № 6.
Лысенко Л. Д. — № 9.
Люшинский А. В. — № 8.
- Макиенко В. М. — № 5, 6.
Максимов С. Ю. — № 11.
Максимова С. В. — № 11.
Малинов В. И. — № 8.
Малич Н. В. — № 6.
Мамонов С. А. — № 8.
Мартыненко А. И. — № 2.
Масалов Д. В. — № 11.
Мачнев Е. А. — № 10.
Машрабов Н. — № 12.
Мейстер А. Р. — № 7, 8.
Мейстер Р. А. — № 7, 8.
Меньшиков Г. А. — № 2, 5, 10, 12.
- Метлицкий В. А. — № 4.
Мироненко В. В. — № 5.
Михеев А. А. — № 3.
Михнин И. Д. — № 2.
Могорычный В. И. — № 10.
Мордынский В. Б. — № 5, 12.
Морозкин И. С. — № 1.
Москаленко А. А. — № 6.
Москвитин Г. В. — № 3.
Мосягин А. С. — № 2, 6.
Муравьев В. И. — № 7.
Мурашко В. М. — № 1.
Мухаметрахимов М. Х. — № 3.
- Мчедлов С. Г. — № 5, 8.
- Набатчиков С. В. — № 10.
Назаренко О. К. — № 11.
Нафиков М. З. — № 3, 8.
Невровский В. А. — № 10.
Негода Е. Н. — № 4.
Нейфельд О. И. — № 12.
Немова Т. Н. — № 6.
Нестерук Д. Н. — № 3.
Никитина Е. В. — № 1, 10.
Николаев А. И. — № 5.
Новожилов С. Н. — № 2.
- Носов В. К. — № 8.
- Оголихин В. М. — № 9.
Осин В. В. — № 4.
Основский В. А. — № 3.
- Павлов Н. В. — № 9.
Павловский Н. Р. — № 1.
Палиевская Е. А. — № 12.
Панфилов В. А. — № 1, 6.
Пашков А. И. — № 7, 10.
Пашков И. Н. — № 7, 10.
Переплетчиков Е. Ф. — № 11.
- Петров А. Э. — № 7.
Петров В. Б. — № 5.
Пивторак В. А. — № 11.
Платонов С. Ю. — № 6.
Плаунов В. П. — № 2, 6.
Плешаков Ю. В. — № 5.
Плышевский М. И. — № 2, 6.
Подольский А. Я. — № 10.
Полосков С. И. — № 6.
Поляков А. Н. — № 3.
Попович Л. Г. — № 2.
Посметная Н. В. — № 1—5, 7, 8.
- Потапов Н. Н. — № 3, 6, 12.
Потехин Б. А. — № 2.
Походня И. К. — № 11.
Прокопьев С. В. — № 3.
Пузряков А. Ф. — № 2.
- Радько В. П. — № 11.
Рафальский А. С. — № 8.
Раямки П. — № 1, 8.
Ривкин Е. Ю. — № 2, 6.
Родин И. В. — № 7.
Родин М. Е. — № 6.
Романов И. О. — № 5, 6.
Рощин В. В. — № 6.
Рощупкин В. Н. — № 7.
Руденко О. А. — № 3.
Рябенко Б. В. — № 10.
Рябцев И. А. — № 11.
Рябцев И. И. — № 2.
- Сабанцев А. Н. — № 10.
Савицкий В. В. — № 11.
Савченко А. И. — № 9.
Сагиров Х. Н. — № 1.
Сагитов Ю. Х. — № 12.
Сазонов В. Я. — № 11.
Сараев Ю. Н. — № 4.
Сафиуллин Р. В. — № 3.
Севрюков О. Н. — № 5.
Селиванов Ю. В. — № 4.
Селянин П. Н. — № 1.
Семенов А. Н. — № 2, 6.
Сивов Е. Н. — № 10.
Сидлин З. А. — № 2, 12.
Сидоренко Д. Ф. — № 11.
Сидоров В. П. — № 1, 9.
Сидякин В. А. — № 10.
Слива А. П. — № 12.
Смирнов В. В. — № 12.
Солодский С. А. — № 4.
Старостин Н. П. — № 9.
Старченко Е. Г. — № 12.
- Степанов А. П. — № 6.
Степанов В. В. — № 10.
Столяров И. В. — № 12.
Строителей Д. В. — № 5, 6.
Суглобова Л. В. — № 2, 6.
Сурков А. В. — № 9.
Суслов Ан. А. — № 1—3, 6, 7.
- Таранова Т. Г. — № 11.
Тарасенко С. И. — № 3.
Тарасов А. Н. — № 1, 6.
Ткачук Г. И. — № 11.
Тополянский П. А. — № 6.
Троицкий В. А. — № 11.
Троянов И. М. — № 10.
Трыков А. Ю. — № 7.
Трыков Ю. П. — № 7.
Тюкалов В. Г. — № 6.
Тюрин В. Н. — № 2, 6.
- Уваров В. Н. — № 8.
Ужва В. В. — № 7.
Ууситало Ю. — № 6.
- Федоренко Г. А. — № 12.
Федоров В. К. — № 4.
Федоров С. А. — № 2, 3, 10.
Федосеенко А. В. — № 8, 9.
Федотов Б. В. — № 1.
Федотов В. Т. — № 5.
Феклистов С. И. — № 3, 6.
Физулаков Р. А. — № 7.
Филиппов М. А. — № 12.
Фролов В. А. — № 1—3, 10.
Фролов В. П. — № 6.
- Хаванов В. А. — № 6.
Хомич П. Н. — № 1, 8.
Хорев А. И. — № 9.
Хорунов В. Ф. — № 11.
Хромченко Ф. А. — № 4, 5, 8, 9.
- Цукуров О. А. — № 4.
- Чермашенцева Т. В. — № 1.
Черных А. В. — № 3.
Черных В. В. — № 3.
Чертов В. М. — № 9.
- Шабалина Е. В. — № 9.
Шамов А. Н. — № 12.
Шахматов М. В. — № 4.
Швец В. И. — № 11.
Шевченко И. Я. — № 11.
Шейман Е. Л. — № 1.
Шекуров А. В. — № 7.
Шелест Н. А. — № 11.
Шемелин С. Д. — № 9.
Шестов Д. В. — № 9.
Шехорин В. К. — № 9.
Шибалов М. В. — № 3.
Шифрин В. В. — № 10.
Штрикман М. М. — № 5, 12.
Шумяков В. И. — № 12.
- Языков Ю. Ф. — № 9.

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.754

Эффективность газовой защиты при сварке соединений с глубокими узкими разделками. Федоренко Г. А., Андреев Г. М. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 3—8.

Отражены основные этапы решения проблемы эффективности газовой защиты при сварке соединений с глубокими узкими разделками горелками, сопла которых располагаются над кромками разделок, а защитная струя, затекающая в щель, имеет дальноточность до 5,5 длины овального сопла горелки, при размерах зоны газовой защиты, достигающих 1,5 длины овального сопла на дне разделки глубиной до 5 длин сопла и увеличивающихся по мере уменьшения глубины разделки. Ил. 5. Библиогр. 11.

УДК 621.791.927.55

Формирование зоны сплавления при плазменной порошковой наплавке. Исакаев Э. Х., Мордынский В. Б. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 8—12.

Исследовано влияние некоторых технологических параметров плазменной порошковой наплавки углеродистых сталей самофлюсующими порошками и последующей термической обработки на формирование структуры и свойств металла зоны сплавления применительно к работоспособности уплотнительных элементов задвижек фонтанной арматуры для эксплуатации в коррозионных средах, содержащих 25 % сероводорода и углекислого газа, при рабочем давлении 70 МПа. Установлено, что зона сплавления состоит из кристаллизационной и диффузионной прослоек, которые формируются уже на стадии существования сварочной ванны. Свойства кристаллизационной прослойки не изменяются в процессе отпуска при 600—650 °С, а диффузионной прослойки — зависят от его температуры. Ил. 7. Библиогр. 12.

УДК 621.791.052:630.18

Влияние термической обработки на структуру и свойства сварных соединений при изготовлении штампованных деталей из стали 10Г2ФБЮ. Ботвинников А. Ю., Нейфельд О. И., Ефименко Л. А., Капустин О. Е. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 13—15.

Приведены результаты исследования влияния технологии сварки и последующей термической обработки на структуру и свойства сварных соединений тройников из стали 10Г2ФБЮ. Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791: 621.793.724

Модель нагрева порошковой проволоки при дуговой металлизации и анализ структуры покрытия. Коробов Ю. С., Белозерцев А. А., Филиппов М. А., Шумяков В. И. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 15—20.

Предложена модель распространения теплоты в порошковых проволоках при дуговой металлизации. Достоверность подтверждена результатами структурного и фазового анализа покрытий. На основании полученных данных разработаны новые порошковые проволоки для металлизации, выполнены прогнозирование свойств получаемых покрытий и проектирование металлизационных аппаратов. Табл. 3. Ил. 8. Библиогр. 13.

УДК 621.791.72.01

Пространственные параметры электронного пучка при взаимодействии с намагниченной мишенью. Драгунов В. К., Гончаров А. Л., Слива А. П. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 20—24.

Рассмотрены вопросы повышения точности расчетных методов определения пространственных параметров электронного пучка при сварке намагниченных изделий. Установлены причины расхождения экспериментальных и расчетных

значений изменения параметров электронного пучка при ЭЛС намагниченных материалов. Показано, что в процессе ЭЛС абсолютная скорость электронов изменяется незначительно. По экспериментальным значениям отклонения пучка в магнитном поле определены значения поправочных коэффициентов, учитывающих изменение индукции магнитного поля в плазменном потоке. Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 621.791.76:621.791.052

К вопросу изучения механизма перемешивания жидкого металла в ядре при контактной сварке. Меньшиков Г. А., Антонов В. Г., Сагитов Ю. Х. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 24—28.

Рассмотрены вопросы образования соединения при точечной (рельефной) и шовной контактной сварке и перемешивания расплавленного металла ядра точки при введении внахлестку рентгеноконтрастных материалов-свидетелей. Показана необходимость расширения представлений о механизме перемешивания жидкого металла в условиях контактной сварки. Приведен пример расчета перемещения нерастворимой частицы для частного случая сварки. Ил. 5. Библиогр. 16.

УДК 621.791.753.5.048

Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности. Волобуев Ю. С., Потапов Н. Н., Старченко Е. Г., Волобуев О. С. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 29—32.

Рассмотрены вопросы, связанные с состоянием и перспективами развития производства и применения сварочных флюсов. Отечественные производители в основном используют устаревшие плавные флюсы, в то время как мировой опыт ориентирован исключительно на более технологичные керамические (агломерированные) флюсы. Показана высокая степень зависимости отечественных производителей от поставок современных сварочных флюсов зарубежного производства. В целях повышения эксплуатационной надежности сварных конструкций, предотвращения возможных угроз в связи с высокой зависимостью отечественной промышленности от поставок сварочных материалов из-за рубежа (в настоящее время в Россию поставляется 70—80 % потребляемых флюсов) необходимо принятие инновационных решений по созданию в РФ производств более технологичных и перспективных керамических (агломерированных) флюсов.

УДК 621.778.5.62.229.31.85(045)

Устройство для подачи вращающейся наплавочной проволоки. Машрабов Н. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 33—34.

Приведены назначение, описание и конструктивные особенности разработанного устройства для подачи вращающейся наплавочной проволоки. Отличительной особенностью устройства является то, что подаваемая в зону горения дуги (сварочную ванну) присадочная проволока вращается и создает определенное усилие прижатия. Скорость подачи проволоки регулируется плавно или дискретно. Ил. 2.

УДК 621.791.14

Сварка линейным трением. Штрикман М. М. — Сварочное производство. 2008. № 12. С. 35—40.

Рассмотрены основные стадии формирования соединения сваркой линейным трением (СЛТ). Приведены результаты работ зарубежных авторов по созданию оборудования для СЛТ, исследованию условий получения качественного соединения и примеры промышленного применения процесса СЛТ в производстве сварных конструкций, преимущественно блисков авиадвигателей. Ил. 12. Библиогр. 20.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, N 12

Gas protection efficiency at welding deep narrow grooved joints. Fedorenko G. A., Andreyev G. M. P. 3—8.

Main steps of effective gas protection problem solving at welding deep narrow grooved joints by torches are covered. The torch nozzles are over the groove edges, and protective spout, leaking into the chink, has up to 5,5 lengths range of the oval nozzle in the groove bottom deep as up to 5 nozzle lengths and increasing as groove depth is reducing.

Fusion zone forming at plasma-jet powder hard-facing. Isakayev E. Kh., Mordynsky V. B. P. 8—12.

Effect of some process-dependent parameters of carbon steel plasma-jet hard-facing by self-fluxing powders and of the afterbaking on the structure and properties formation of the fusion zone metal is studied with regard to performance of the Christmas-tree valve sealing elements to be run in corrosive environment containing stinkdamp and carbon dioxide up to 25 %, operating pressure is 70 MPa. It is established that fusion zone consists of crystallization and diffused sublayers which are formed already in the stage of the welding bath existence. Crystallization sublayer properties do not change as tempering at the temperature of 600—650 °C, and diffused sublayer properties depend on its temperature.

Thermal treatment effect on structure and properties of the 10Г2ФБЮ steel pressed-and-welded components welds. Botvinnikov A. Yu., Neyfeld O. I., Yefimenko L. A., Kapoostin O. Ye. P. 13—15.

Research results of the welding procedure and afterbaking effect on the structure and properties of the welded tee-joints from the steel 10Г2ФБЮ are given.

Flux cored wire heating model at arc metallization and coating structure analysis. Korobov Yu. S., Belozertsev A. A., Filippov M. A., Shumyakov V. I. P. 15—20.

Heat conduction pattern in flux cored electrodes at arc metallization is offered. Veracity is confirmed by the results of structural and phase analyses of the coverings. On the base of the findings new powder metallizing wires are developed, forecast properties of the obtained coatings and design of metallizing devices are carried out.

Cathode ray spatial characteristic at magnetized target interaction. Dragunov V. K., Goncharov A. L., Sliva A. P. P. 20—24.

Problems of calculation methods improved accuracy for determination spatial parameters of an electron beam at welding magnetized products are considered. Disarrangement causes of the experimental and calculated values of the electron beam parameters changes at the magnetized materials electron-beam

welding are established. It is shown that at the electron-beam welding electron absolute velocity changes insignificantly. Correction factors rates considering magnetic induction changes in plasma stream are determined by the observed values of the beam deflection in the magnetic field.

On the problem of liquid metal nucleus mixing mechanism study at contact welding. Menshikov G. A., Antonov V. G., Sagitov Yu. Kh. P. 24—28.

Problems of the joining formation at spot (projection) and seam contact welding, and of spot nucleus molten metal mixing at the introduction of the roentgen contrasting materials-witnesses into overlap are covered. Necessity for representation expansion on liquid metal mixing mechanism under conditions of resistance welding is shown. A calculation example of non-soluble fraction mixing for a special case of welding is given.

State and prospect of the industry development and welding fluxes application in home industry. Volobuyev Yu. S., Potapov N. N., Starchenko Ye. G., Volobuyev O. S. P. 29—32.

Issues considering state and prospect of production development and welding fluxes application are covered. Domestic producers generally use obsolete fused fluxes; while world experience is oriented exclusively to more manufacturable ceramic (agglomerated) fluxes. High dependence of the domestic manufactures on the up-to-date welding fluxes delivery from abroad is shown. Aimed at welded constructions functional reliability enhancement, at prevention of probable threat arising from high dependence of the domestic industry on the welding materials delivery from abroad (at present Russia imports up to 70—80 per cent of the consumed fluxes), it is required to make innovative decision on developing manufacture of easy to produce and perspective ceramic (agglomerated) fluxes in the Russian Federation.

Revolving surfacing wire feeding device. Mashrabov N. P. 33—34.

Importance, description and design features of the developed revolving surfacing wire supply device are covered. Distinctive feature of the device is that the filler wire fed into the arc burning zone (weld pool) is turning, and generates certain pressure force. Wire feed speed is adjusted smoothly or discretely.

Linear friction welding. Shtrikman M. M. P. 35—40.

Basic stages of joint formation by linear friction welding (LFW) are considered. Foreign authors' working data on LFW equipment designing, on studying conditions of obtaining qualitative joining and LFW process industrial application examples at welding design production, mainly at air engine blades, are described.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 15.10.2008. Подписано в печать 20.11.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага мел. имп. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,53. Уч.-изд. л. 12,63. Заказ 23/08.

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

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

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